

ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

№ 2 (13)

Херсон
2015

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2015. – № 2 (13). – 368 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 6 від 26.11.2015 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ХОДАКОВСЬКИЙ Володимир Федорович, к.і.н., професор, головний редактор;

БАРДАЧОВ Юрій Миколайович, д.т.н., професор, заступник головного редактора;

КУЛІКОВА Лілія Борисівна, д.пед.н., професор, заступник головного редактора;

БЕНЬ Андрій Павлович, к.т.н., доцент, заступник головного редактора

Члени редакційної колегії:

БУКЕТОВ Андрій Вікторович, д.т.н., професор;

ГОЛОБОРОДЬКО Євдокія Петрівна, д.пед.н., професор;

ЄВТУХ Микола Борисович, д.пед.н., професор;

ІСАЄВ Євген Олексійович, д.т.н., професор;

ЛЄОНОВ Валерій Євгенович, д.т.н., професор;

МАЛИГІН Борис Вадимович, д.т.н., професор;

СОКОЛОВА Надія Андріївна, д.т.н., професор;

СЕЛІВАНОВ Станіслав Євгенович, д.т.н., професор;

ХОДАКОВ Віктор Єгорович, д.т.н., професор

Адреса редакційної колегії:

73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20, тел. (0552) 22-35-69

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 18987-7776ПР від 11.05.2012 р.

Журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України (постанова президії ВАК України № 1-05/3 від 30.03.2011 р.)

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова» і представлений у **Науковій електронній бібліотеці Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського**.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази «**Наукова електронна бібліотека E-Library.Ru**» (Російського індексу наукового цитування – РІНЦ) (договір № 732-11/2014 від 24.11.2014 р.).

ISSN 2313-4763

© Науковий вісник Херсонської
державної морської академії, 2015

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ СУДОВЫХ НАСОСОВ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Агеев М.С.

Херсонская государственная морская академия

Кожевникова Е.Е.

Одесская национальная морская академия,

Лопата В.Н.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

Рассмотрены причины выхода из строя судовых насосов, которые являются самыми распространенными механизмами на судах. Исследованиями износа деталей судовых насосов установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространенных и часто выходящих из строя деталей, таких как валы. Для выбора метода восстановления и повышения ресурса валов СН установлены причины и характер их повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Представлена краткая характеристика существующих методов восстановления. Предложено повышать износостойкость и ресурс валов СН путем восстановления их рабочих поверхностей комбинированным способом нанесения защитных покрытий, которые заключается в электроконтактном припекании (ЭКП) предварительно сформованных газопламенным напылением порошковых слоев из самофлюсующихся сплавов на основе никеля.

Ключевые слова: судовые насосы, валы судовых насосов, ресурс, восстановление, износ, комбинированный метод нанесения покрытия, электроконтактное припекание, газопламенное напыление.

Актуальность исследования. Надежность и технико-экономическая эффективность судовых систем (СС) в значительной степени определяются надежностью и эффективностью насосов, являющихся самыми распространенными механизмами на судах [1–3]. Судовые насосы предназначены выполнять следующие функции [4–5]: поддерживать непрерывно работу главной энергетической установки и различных вспомогательных систем; выполнять хозяйственные нужды судна; удалять из судна сточные воды, заполнять балластом специальные цистерны, и удалять его; оказывать помощь при выполнении грузовых операций; обеспечивать безопасность судна.

Надежность и эффективность работы насосов судовых машин и механизмов (СММ) в значительной степени зависит от того, насколько реально можно учитывать негативные последствия внешнего воздействия на детали насосов нагрузок и учитывать воздействия на процесс их изнашивания максимального количества значащих факторов в процессе эксплуатации [4–5]. На долговечность судовых насосов влияет ряд факторов (рис. 1), в частности: его характеристики (давление, напор, скорость вращения и биение вала), свойства герметизирующей среды (ресурс уплотнения, износостойкость пары трения) и др. Ресурс судовых насосов определяется условиями их эксплуатации: диапазоном режимов работы, температуры, давления, нагрузок [4–5]. На основании анализа условий эксплуатации деталей СН сделан вывод, что главной причиной большинства их эксплуатационных отказов, снижения долговечности и ресурса является поверхностное разрушение, и в первую очередь в результате изнашивания и коррозии [4–5]. Преждевременный износ деталей насосов недопустим, так как в этом случае снижается его работоспособность, что, в свою очередь, может создать чрезвычайные обстоятельства для судна, находящегося в автономном плавании. Причины снятия судовых насосов из эксплуатации обусловлены недостаточной прочностью поверхностей деталей и их низкой износостойкостью.

Опыт эксплуатации судов показывает, что срок службы насосов в среднем в 1,5–2 раза меньше нормативного [1]. Увеличение ресурса СН представляет собой

важную проблему, которая неразрывно связана с необходимостью определения повреждений и износов их деталей [1–5]. С целью обеспечения деталей СН требуемыми показателями качества в процессе эксплуатации необходимо своевременно выявить их возможные дефекты, устранить их, и принять меры по их предупреждению. Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям при определении технического состояния насосов в процессе выполнения капитального ремонта на судоремонтных предприятиях показал, что по причине износа и коррозии из строя выбывает до 60%, а по причинам поломок (включая усталостное разрушение) – 20...30 % деталей (рис. 2). Значительное количество продефектованных деталей бракуется по причине недопустимо износа, коррозии и отсутствия технологий их восстановления. Повреждения из-за износа вызваны несовершенством применяемых технологий обработки рабочих поверхностей деталей [6]. Такое положение дел приводит к появлению дефицита запасных частей, увеличению стоимости и продолжительности ремонта СН.

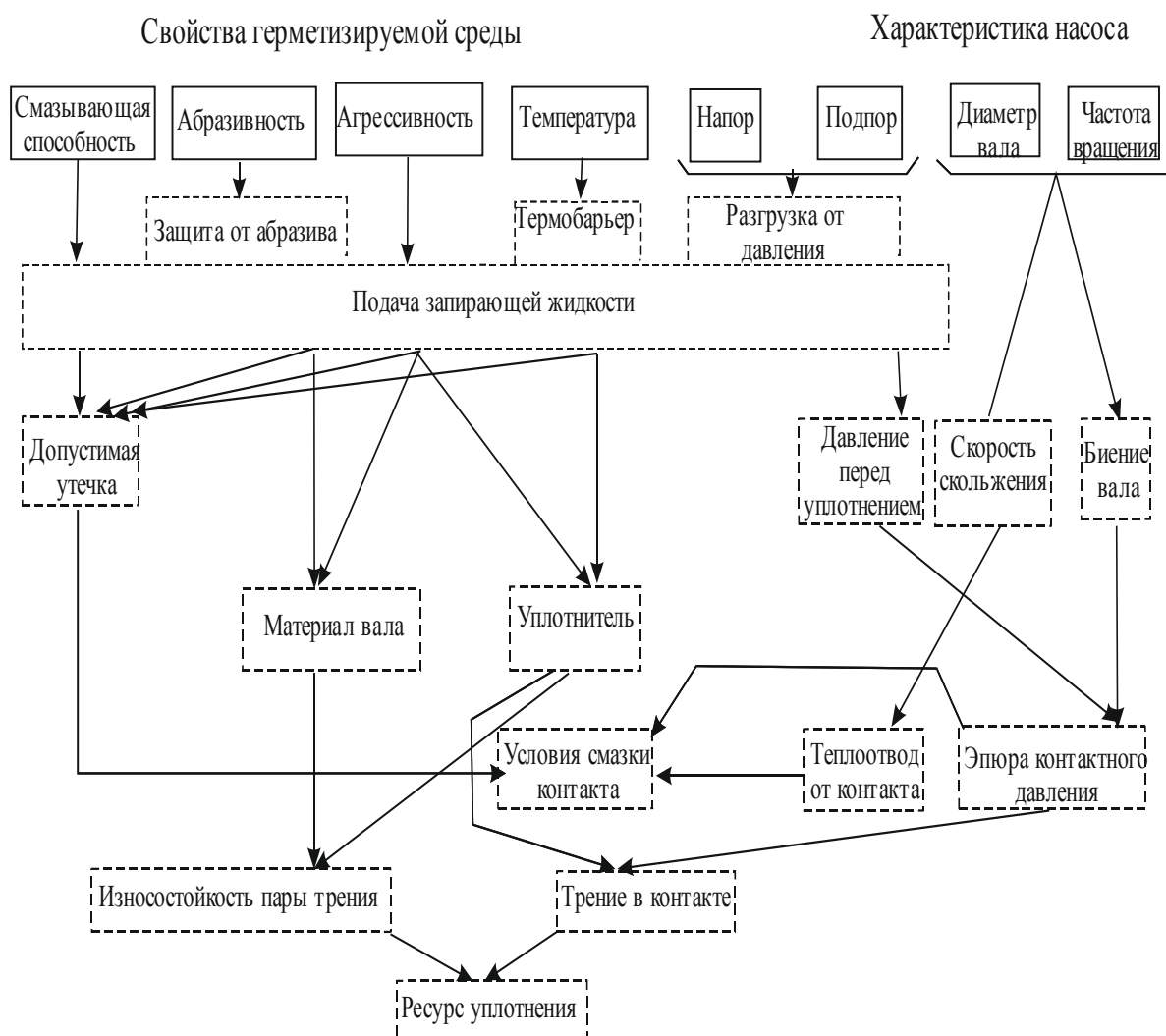


Рисунок 1 – Факторы, влияющих на долговечность судовых насосов

Ремонт судовых насосов (СН) составляет основу эксплуатационного обеспечения их надежности, позволяет повысить ресурс деталей СН и включает комплекс операций по восстановлению их работоспособности (исправности), которая характеризуется структурными (физико-механические свойства материалов деталей) и диагностическими (температура, вибрации, давление и др.) параметрами технического состояния [2–3, 6]. Использование судовых насосов требует их рациональной эксплуатации, умения оценивать износы их деталей, своевременно производить ремонт. Для этого необходимо правильно прогнозировать работоспособность деталей, лимитирующих ресурс СН, поскольку по статистическим данным до 30 % действительного годового фонда времени

работы уходит на их ремонт [2–3, 6]. Исследованием износа деталей судовых насосов [4–6] установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространённых и часто выходящих из строя деталей, таких как валы (рис. 3).

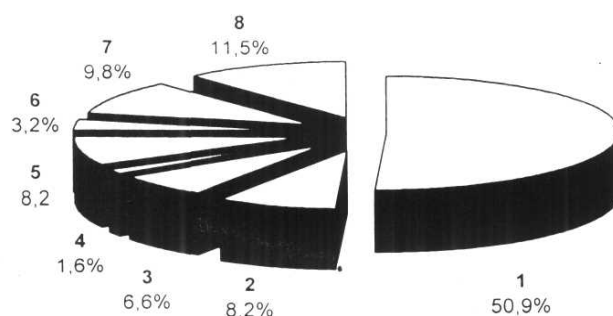


Рисунок 2 – Распределение видов дефектов деталей судовых насосов: 1 – контактные повреждения, износ, коррозия; 2 – забоины, вмятины; 3 – выкрашивание; 4 – деформация; 5 – выпучивание; 6 – повреждения при демонтаже; 7 – трещины; 8 – истощение ресурса

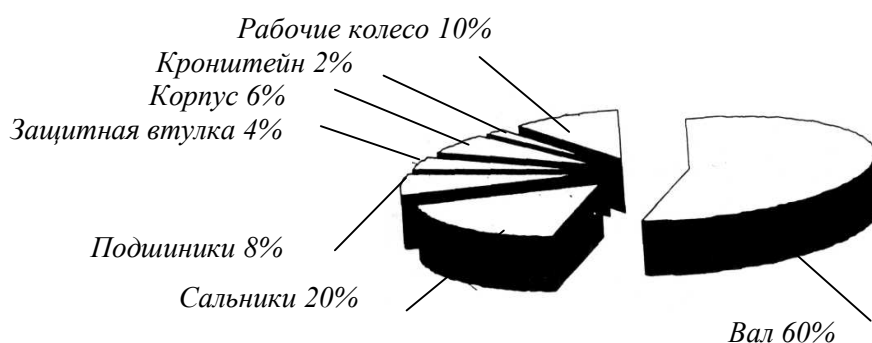


Рисунок 3 – Распределение дефектов по элементам конструкции насоса

Для выбора метода восстановления и повышения ресурса вала СН необходимо установить причины и характер его повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Анализ состояния валов судовых насосов свидетельствует о том, что они выходят из строя по причине различных поверхностных повреждений (табл. 1) [4–6]. Ресурс вала определяется наработкой до достижения предельного износа. Величина предельно допустимого износа вала определяется либо по функциональному критерию, либо по экономическому критерию. Функциональным критерием является нарушение прочности вала. Экономический критерий оценки предельно допустимого износа вала – возможность его восстановления. Восстановление представляет собой отдельно функционирующую систему, в рамках которой выполняются следующие процессы: оценка состояния детали (дефектация), проектирование технологического процесса (ТП) восстановления, непосредственное восстановление детали [7–9]. Большинство валов судовых насосов восстанавливаемые и ремонтируемые. Ремонтируемые валы насосов подлежат восстановлению. Неремонтируемые валы не подлежат восстановлению. Ремонтопригодность вала определяет степень простоты или сложности выполнения ее ремонта. Качественным показателем ремонтопригодности вала является ее восстанавливаемость, обеспечивающая придание валу в процессе ремонта номинальных или ремонтных размеров [7–9].

Таблиця 1 – Классификация повреждений судовых валов

<i>Признак</i>	<i>Варианты</i>
Тип повреждения	Коррозионный, статический, динамический
Вид повреждения	Макротрещины, микротрещины, разрушение
Место расположения дефекта	Место под пошипник, место под уплотнение крышки подшипника, место под рабочее колесо, место под сальниковое уплотнение
Число валов из повреждений	Одиночное (менше 5%); Значительное (10...20%); Массовое (50...60%)
Причины, которые вызвали образование повреждений	Конструктивные (недостатки конструкции, вызывающие повышенный уровень напряжений, температур, неправильный выбор материала вала и покрытия и требований к ним). Технологические (недостатки технологии механической обработки, контроля вала согласно чертежа, технологических процессов нанесения защитных покрытий). Производственные (отклонения от требований чертежа вала по геометрии, по качеству материала, некачественное изготовление конструктивных элементов, что может влиять на уровень статических и динамических напряжений в детали). Эксплуатационные (нарушение режимов эксплуатации, установленных ТУ; наличие посторонних предметов в перекачиваемой жидкости и присутствие среды, вызывающей коррозионный износ детали).
Степень влияния на безопасность дальнейшей эксплуатации вала	Не влияет на ресурс Ограничивает срок дальнейшей эксплуатации Требует срочной замены вала

Одни и те же валы в зависимости от наличия дефектов могут быть невосстанавливаемые, например, вал с трещинами, и восстанавливаемыми – эти же валы без трещин. Чаще всего восстанавливается не весь вал, а его поверхность или отдельные элементы. Виды восстановления классифицируют в соответствии с видами дефектов и их последствиями. Для устранимых дефектов можно выделить следующие виды восстановления [9–15]: различными способами нанесения покрытий, поверхностно-пластическим деформированием; способами механической обработки, балансировкой, правкой; способами сварки, термической и химико-термической обработки; валы чаще всего восстанавливают путем проточки рабочей поверхности в комбинации с предшествующей наплавкой или другим методом нанесения защитного покрытия, или без покрытия. Основным назначением процесса восстановления валов является восстановление их геометрической формы, механической прочности, износостойкости. В судоремонтном производстве валы СН восстанавливают механической и слесарной обработкой, сваркой и наплавкой, пластическим деформированием, электролитическим наращиванием, напылением, электрофизическими способами обработки и т.д. [6, 10–11].

В ремонтном производстве Украины наиболее часто валы восстанавливают способом ремонтных размеров [6–9]. При способе ремонтных размеров с изношенной части вала (например, шейка) снимается минимально необходимый слой металла с целью устранения отклонений от правильной геометрической формы. Полученный после обработки новый размер называется ремонтным. Способ ремонтных размеров наиболее экономичен вследствие простоты (весь ремонт сводится к механической обработке) и широко применяется в ремонтном производстве. Его недостатки: предварительная обработка изношенных поверхностей деталей; окончательная обработка поверхностей; усложнение технологического процесса ремонта из-за многообразия деталей различных ремонтных размеров; увеличение складских запасов деталей.

Сварка – наиболее распространенный способ восстановления деталей на судоремонтных предприятиях [6–11, 16–17]. Сварка служит для восстановления деталей с трещинами, пробоинами, раковинами от коррозии. Выбор способа восстановления или ремонта деталей СН сваркой обусловлен материалом деталей, их конструкцией, размерами восстанавливаемых поверхностей. Все виды сварки подразделяются на сварку плавлением и сварку давлением [16–17]. С помощью сварки плавлением устраняют такие дефекты, как трещины, износы поверхности отверстий, сколы, пробоины. Широко применяются электродуговая и газовая сварка. На их долю приходится 35...65 % общей трудоемкости сварочных работ. В ремонтном производстве используются контактные методы сварки для приварки накладок и при заделке трещин, приварки элементов и частей, компенсирующих износ деталей [16] и сварка трением [17].

В настоящее время существуют различные способы восстановления путем нанесения покрытий [18–20], многообразие которых объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность: каждый способ имеет свою область применения; один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами; большинство способов можно рассматривать как альтернативные. В отечественной практике восстановления изношенных деталей СММ или изготовления новых используют методы нанесения защитных покрытий наплавкой, напылением, припеканием и др. [9, 11, 13, 21–34]. На судоремонтных предприятиях все шире применяется восстановление поверхностей деталей нанесением покрытий электродуговой наплавкой, наплавкой в среде углекислого газа, автоматической наплавкой под слоем флюса, вибродуговой наплавкой, хромированием, железнением, электроконтактной приваркой металлической лентой, газотермическими способами напыления (плазменным, газопламенным, электродуговым) [6, 11, 21].

Наплавочные работы составляют 77 % общего объема работ по нанесению покрытий при восстановлении деталей машин: наплавка под слоем флюса – 41 %, вибродуговая – 15 %, наплавка в среде защитных газов – 26 %, наплавка порошковой проволокой без защитной среды – 13 %, плазменная – 24 %, электрошлаковая – 2 % [6, 11, 20, 22]. Несмотря на разновидность технологических схем наплавки и их распространения в ремонтном производстве, их большинство в полной мере не обеспечивает формирования бездефектной структуры наплавленного слоя из-за большого тепловыделения в деталь. В детали после наплавки возникают закалочные структуры, приводящие к нарушению геометрической формы, возникновению микротрещин и затрудняющие обработку резанием. Наплавка покрытий больших толщин требует снятия значительных припусков при финишной механической обработке. Методы наплавки не обеспечивают сохранение исходных свойств материала покрытий, вносят существенные изменения в структуру материала упрочняемой детали. Связано это с тем, что материал покрытия нагревается до температур, превышающих его температуру плавления. При этом неизбежно выгорает часть легирующих элементов, меняется кристаллическая структура металлов, она становится крупнозернистой. При нанесении покрытий методами наплавки сложно получить слой металла с содержанием легирующих элементов более 35...40 % через разбавление наплавленного металла основным, выгорание легирующих элементов. Высокотемпературное нагревание, присущее большинству методов наплавки, приводит к потере первоначальных свойств компонентов для износостойкой наплавки. Твердость полученных покрытий оказывается значительно ниже, чем у исходных материалов, и в итоге невозможно получение эксплуатационных свойств восстановленных деталей превышающих их исходные свойства. При этом наблюдаются большие деформации наплавленных деталей [29–30]. В работах [27] показано, что восстановление валов наплавкой не обеспечивает их ресурс на уровне новых деталей. Главным недостатком методов наплавки остаются «холодные» и «горячие» трещины в зоне термического влияния, которые резко снижают ресурс восстанавливаемой детали. Наплавка требует

финишной механической обработки посадочных мест для необходимого размера и чистоты поверхности [27].

Наиболее распространенными способами нанесения износостойких покрытий на поверхности деталей является напыление [21–27]. Основные достоинства напыления как способа нанесения покрытий при восстановлении деталей – относительная простота используемого оборудования; возможность нанесения покрытий как на локальные участки поверхности деталей любой формы, так и на большие площади толщиной от 0,03 мм до нескольких миллиметров. С помощью напыления можно восстанавливать изношенные плоские, наружные и внутренние цилиндрические поверхности деталей, включая такие сложные, как валы, заделывать трещины и т.д. [24, 27]. В практике восстановления изношенных деталей применяются методы газотермического напыления покрытий (ГТН): плазменное [20–24], детонационное [25], газопламенное (ГПН) [25, 31–32] и электродуговое (ЭДН) [26–27] напыление (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика методов газотермического напыления

<i>Параметр</i>	<i>Способ напыления</i>			
	<i>Газо-пламенный (ГПП)</i>	<i>Плазменный</i>	<i>Детонационный</i>	<i>Электродуговой (ЭДН)</i>
Производительность процесса, кг/ч	1÷10	0,5÷8,0	0,1÷6,0	3÷36
Стоимость 1 ч работы установки, у.е.	2,60	9,06	8,71	4,24
Коэффициент использования напыляемого материала	0,8÷0,95	0,7÷0,9	0,3÷0,6	0,8÷0,95
Площадь покрытия образца, напыленного за 1 ч работы, м ²	0,45÷1,00	0,20÷0,50	0,10÷0,30	6,00÷8,00
Температура частиц материала, К	До 2000	До 3000	До 3000	до 2000
Скорость частиц материала, м/с	20÷180	50÷600	350÷1000	50÷240
Прочность сцепления $\sigma_{сц}$, Мпа	До 50	До 120	До 200	До 40
Пористость, %	16,0÷35,0	3,0÷4,0	0,5÷1,0	10,0÷30,0

По мнению большинства исследователей [20–27, 31–32] методы ГТН по сравнению с другими методами нанесения покрытий имеют ряд преимуществ, которые способствуют более широкому внедрению их в производство: высокая производительность, управляемость процессов, универсальность используемых материалов (нанесения материалов различных составов), возможность получения слоев в большом диапазоне толщин с широким спектром свойств и другие. Затраты на восстановление деталей составляют 15...20 % по сравнению с вновь изготавливаемыми деталями, а износостойкость повышается в 2,5...3 раза. Они являются одними из наиболее гибких способов восстановления рабочих поверхностей и увеличения срока службы деталей. Методы ГТН – самые массовые технологии, применяемые в ремонте [6, 9, 11, 13–15]. Производимые отечественные и зарубежные установки газотермического напыления (ГТН) и напыляемые материалы, опубликованные рекомендации по ГТН дали возможность решать ряд вопросов, связанных с ремонтом, восстановлением и увеличением срока службы деталей разного назначения. К преимуществам напыления, особо ценным для ремонтного производства, относится возможность осуществления процесса в различных производственных условиях (на ремонтных предприятиях, в ремонтных мастерских).

Для восстановления шеек вала эффективно плазменное напыление [22–24]. Износ валов с плазменным покрытием на 18...24 % меньше, чем валов без покрытий. Недостатки плазменного напыления – шум при работе и интенсивное ультрафиолетовое излучение, высокая стоимость плазмообразующих газов и оборудования. Затраты на восстановление деталей составляют 15...20 % по сравнению с вновь новыми деталями. В условиях сложившейся экономической ситуации в Украине обеспечение ремонтных предприятий недорогими сменно-запасными частями остается проблематичным, и поэтому возрастает востребованность в ремонтных технологиях, особенно, таких как электродуговое напыление (ЭДН) [26–27].

Целесообразность применения ЭДН при восстановлении валов обеспечивается его такими преимуществами [26]: доступностью источника энергии; технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей; высокой производительностью нанесения покрытия (до 20 кг/час стали); получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 и более миллиметров; износостойкостью в 1,5–1,8 раза выше закаленной стали 45; отсутствием значительного термического влияния на деталь (температура нагрева детали 100–150 °С); отсутствием деформации деталей с возможностью нанесения покрытия на поверхности деталей из различных материалов (сталь, чугун, и др.); получением покрытий из различных материалов проволоки с заданными свойствами; низкая себестоимость нанесения покрытия (в 1,4–1,8 раза ниже наплавки). В работе [26–27] приводятся сведения о преимуществе ЭДН перед наплавкой по трудоемкости восстановления изношенных шеек вала и расходу электродного материала: продолжительность наплавки 1 ч 10 мин, расход проволоки 1,3 кг, продолжительность ЭДН – 24 мин, расход проволоки – 0,95 кг. Напыленные шейки валов при капитальном ремонте могут быть перешлифованы под соответствующий ремонтный размер. Этого делать, однако, не рекомендуется, так как напыленный слой в процессе эксплуатации уменьшает свою износостойкость, вследствие того, что его поры оказываются забитыми продуктами износа и другими загрязнениями. Поэтому, необходимо удаление старого слоя и нанесение нового [27]. Использование тепла электрической дуги для плавления электродов позволяет внедрять этот энергосберегающий метод в условиях как ремонтных предприятий, так и небольших мастерских [26]. Электродуговое напыление применяют для ремонта валов судовых насосов [6, 11, 21]. Кроме положительных качеств ЭДН имеет и недостатки [22, 26]: повышенное окисление металла; наличие пористости. недостаточная адгезионно-когезионная прочность покрытия; невысокая твердость покрытий, являющаяся причиной выгорания углерода в процессе напыления, находится в пределах 35–50 HRC₃, что существенно снижает их износостойкость; возможность появления в покрытии трещин и отслоения по причине наличия остаточных внутренних напряжений в результате охлаждения расплавленных частиц металла распыляющим сжатым воздухом. Отмеченные выше недостатки ЭДН ограничивают эффективность и область его применения для повышения ресурса валов СН.

При выборе способа ГТН необходимо учитывать основные условия формирования качественных покрытий [24]: термические воздействия на деталь должны полностью предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле; доля участия основного металла в покрытии должна быть близка к нулю; в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, которые способны изменить ее структуру и фазовый состав. С позиции этих условий перспективно использование газопламенного напыления.

Газопламенным (ГПН) напылением наносится более 75 % покрытий [31–32]. Это связано с тем, что среди способов газотермического напыления, оно является самым дешевым и простым методом нанесения покрытий, которые не требуют применения высокостойкого оборудования и обладают технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей. Этот метод наиболее эффективен и экономичен для

восстановления деталей в условиях, как ремонтных предприятий, так и небольших мастерских. К недостаткам ГПН следует отнести: недостаточно высокую прочность сцепления покрытия с металлом восстанавливаемой детали, значительную пористость слоя, значительные потери металла при распылении, особенно при восстановлении малогабаритных деталей [31–32].

При выборе процессов восстановления необходимо снижать температуру нанесения покрытий [24] и необходимо учитывать следующие положения: во-первых, расплавление основы и покрытия в процессе восстановления нежелательно, так как приводит к изменению химического состава и свойств материалов покрытия и детали, и в результате, определяет необходимость использования ряда технологических мер; во-вторых, протекание процессов кристаллизации наплавленного металла в свободных условиях без использования внешнего формирующего механического фактора обуславливает образование в покрытии сварочных дефектов; в-третьих, тепловой режим нанесения покрытий на восстанавливаемые поверхности деталей различных размеров и форм должен обеспечивать благоприятный характер распределения остаточных напряжений. В частности, в покрытии и в зоне соединения его с восстанавливаемой поверхностью детали желательно образование сжимающих остаточных напряжений, которые способствуют повышению сопротивления усталости; в-четвертых, длительность процесса нанесения покрытий должна быть минимальной, чтобы его структура не претерпевала нежелательных изменений.

Вышеприведенным положениям отвечают электроконтактные методы восстановления (наварка и припекание), к достоинствам которых следует отнести минимальные тепловложения и незначительное расплавление материала, что исключает термическое деформирование восстанавливаемых деталей [28–30]. В табл. 3 приведены характеристики (энергоемкость, зона термического влияния и др.) этих методов в сравнении с другими методами восстановления.

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели процессов восстановления

<i>Технологический процесс</i>	<i>Энерго-емкость, квт·ч/кг</i>	<i>Скорость нагрева, град/с</i>	<i>Зона термического влияния мм</i>	<i>Производительность, кг/час</i>	<i>Себестоимость, грн./кг</i>
Газопламенная наплавка	12–25	до 10	25–30	0,5–1,0	10–15
Электродуговая наплавка под слоем флюса	1,5–2,0		4–10	до 8	7–9
Наплавка в среде CO ₂	1,0–1,5	-	2–8	5–6	6–7
Индукционная наплавка	0,6–0,7	до 10 ²	–	7–8	5–7
Электроконтактное припекание порошков	0,3–0,4	10 ³ –10 ⁴	0,2–2,0	6–9	3–5

Электроконтактные методы восстановления [28–30] позволяют наносить покрытия толщиной до 3мм и более. При этом они обеспечивают получение практически беспористых покрытий с прочностью сцепления 150–220 МПа. Эти методы характеризуются высокой производительностью и низкой энергоемкостью процесса нанесения покрытия, отсутствием необходимости в использовании защитной атмосферы, отсутствием светового излучения и газовой выделений. Суть процесса заключается в формировании покрытия, находящегося под давлением, между роликом-электродом и деталью, через которые пропускают электрический ток. Нанесение покрытий в твердой

фазе позволяет сохранить в покрытии основные функциональные свойства, присущие исходному материалу. Использование электроконтактного нагрева вместо технологий напыления и наплавки позволяет значительно повысить качество покрытий, производительность их нанесения, снизить энергоемкость технологий, улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих. Малая зона термического влияния вследствие короткого времени нагрева позволяет использовать электроконтактный нагрев при нанесении покрытий на детали низкой жесткости и с малой толщиной основания (детали типа «вал», трубчатые детали). Технология обеспечивает минимальные припуски на финишную механическую обработку при снижении на порядок энергозатрат в сравнении с традиционной наплавкой [28–30]. Таким образом, в целях повышения ресурса насосов судовых систем путем восстановления их валов нанесением защитных покрытий целесообразно использовать электроконтактные методы с минимальной зоной термического влияния, что позволит исключить термическое деформирование восстанавливаемых валов.

Основной вопрос в технологии восстановления цилиндрических поверхностей деталей типа «вал» электроконтактным методом – это способ доставки материала покрытия к восстанавливаемой поверхности детали, его химическое и физическое состояние. Можно в качестве способа предварительной доставки и предварительного формирования слоя порошка на цилиндрической поверхности восстанавливаемой детали использовать газопламенное напыление как наиболее простой в реализации и дешевый способ нанесения покрытий. Газопламенный метод напыления покрытий отличается: относительной простотой и низкой стоимостью оборудования, небольшими его габаритами; легкостью и простотой обслуживания, что позволяет использовать его там, где требуется соблюдение непрерывности и стабильности технологического процесса, в том числе и для крупногабаритных деталей [31–32]. В процессе ГПН напыляемый материал подают через центральный канал соплового наконечника, снабженного отверстиями для горения рабочей газовой смеси, расположенными вокруг центрального канала. Попадая в кольцевое пламя, материал распыляется потоком сжатого газа (азота, воздуха), истекающего концентрично сопловому наконечнику.

Таким образом, мы для восстановления валов судовых насосов предлагаем комбинированный метод нанесения покрытия, заключающийся в сочетании газопламенного напыления и электроконтактного припекания (рис. 4). Такая комбинированная технология не требует дополнительного дорогостоящего оборудования и операций, что предопределяет снижение стоимости процессов восстановления. Валы СН целесообразно восстанавливать самофлюсующимися твердыми сплавами на основе никеля, так как восстанавливая валы СН нам надо не только повысить их износостойкость, но и коррозионную стойкость.

Для реализации проведенных исследований был разработана комбинированная технология восстановления вала Н13.550.51.150-03 СН ВКС2/26. Насосы вихревые типов ВКС2/26 устанавливаются в машинных и котельных отделениях судов и используются на судах морского флота с неограниченным районом плавания и на судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания. В комплект быстроизнашивающихся деталей насоса ВКС входят: вал Н13.550.51.150-03 (масса 2,32 кг); колесо рабочее Н48.605.01.002 (масса 1,2 кг); два подшипника 306 ГОСТ 8338-75 (масса 0,35 кг); набивка многослойного плетения марки АП-31 8х8 ГОСТ 5152-84 (0,6 м массой 0,35 кг).

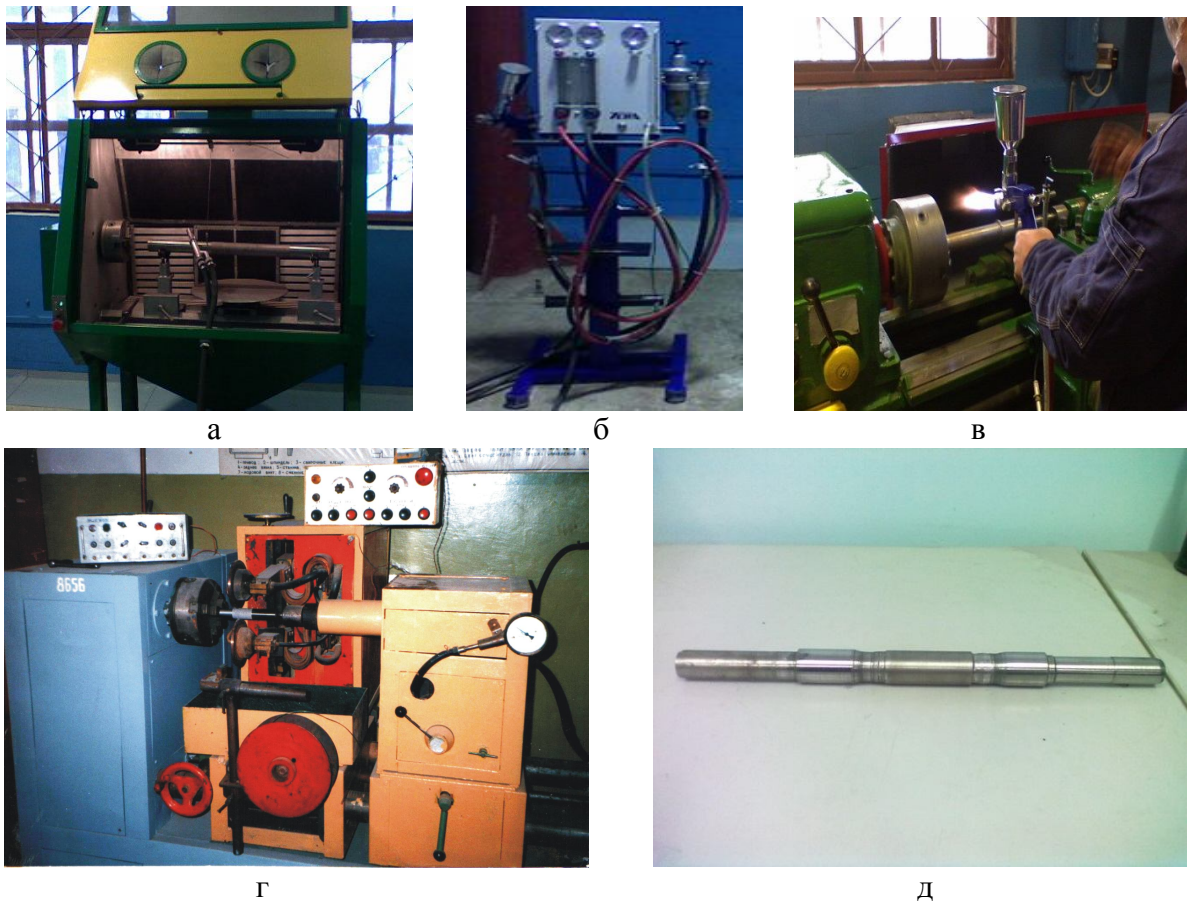


Рисунок 4 – Комбинированный метод восстановления вала судового насоса:

а) предварительная обработка поверхности (дробеструйная); б) оборудование для ГПН (тераспылительный пистолет с блоком управления подачи рабочих газов; в) процесс газопламенное напыление; г) электроконтактное припекание; д) восстановленные поверхности вала с покрытием после обработки

Восстановленные поверхности вала после припекания обкатывают роликами не дав детали остыть (теплое ППД) при давлении не более 20 МПа (рис. 4г) с целью уменьшения припуска на обработку. После термомеханической обработки при необходимости используют операцию чистового шлифования. Трудоемкость работ по обработке восстановленных поверхностей уменьшилась на 30 % по сравнению с наплавкой и напылением. Лабораторные и стендовые испытания валов СН показали, что износостойкость восстановленных поверхностей в 2,5–5 раза выше, чем поверхностей, восстановленные по традиционной технологии газопламенного напыления и в 1,5–1,7 раза – по сравнению с новыми валами. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны: практические рекомендации для восстановления вала Н13.550.51.150-03 судового насоса ВКС 2/26; которые могут быть использованы на судоремонтных предприятиях Украины. Предлагаемый процесс восстановления валов СН позволяет: восстанавливать не только валы судовых насосов, но и детали типа «вал» СММ и любых транспортных средств.

Выводы. В настоящее время в Украине на судоремонтных предприятиях реальный ресурс валов СН после их ремонта составляет 20–25% ресурса новых деталей, хотя должен быть не ниже 50 %. Развитие и внедрение ремонтных технологий СН сдерживается отсутствием специализированного оборудования и материалов для ремонтных работ и низким их качеством. Особое внимание следует уделить оснащению судоремонтного производства методами, технологиями и оборудованием для восстановления деталей. Усовершенствование существующих и разработка простых в эксплуатации и дешевых технологий восстановления деталей судовых насосов (СН),

позволит увеличить их ресурс и в значительной мере уменьшить поставки запасных частей по наиболее дорогостоящим, металлоемким и дефицитным деталям, в том числе, импортного производства, для замены изношенных деталей и потерь от простоев. Предложено повышать износостойкость и ресурс валов СН путем восстановления их рабочих поверхностей комбинированным способом нанесения защитных покрытий, который заключается в электроконтактным припеканием (ЭКП) предварительно сформованных газопламенным напылением порошковых слоев из самофлюсующихся сплавов на основе никеля. Износостойкость восстановленных поверхностей валов СН повысилась в 2,5–5 раза по сравнению с поверхностями, восстановленными технологии газопламенного напыления и в 1,5–1,7 раза – по сравнению с новыми валами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремонт речных судов : справочник / Ю. К. Аристов, Ф. Ф. Бенуа, А. А. Вышеславцев и др.: под ред. А. Ф. Видецкого. – М. : «Транспорт», 1988. – 431 с.
2. Раппопорт Л. И. Техническое обслуживание судов / Л. И. Раппопорт, Д. Т. Чапкис. – М. : Транспорт, 1972. – 168 с.
3. Певзнер Б. М. Насосы судовых установок и систем / Б. М. Певзнер. – Л. : Судостроение, 1971. – 383 с.
4. Будов В. М. Судовые насосы : справочник / В. М. Будов. – Л. : Судостроение, 1988. – 432 с.
5. Сторожев В. П. Восстановление деталей судовых технических средств / В. П. Сторожев // Судоремонт. – Вып. 1 (17). – 1990. – С. 1-60.
6. Тилипалов В. Н. Ремонт машин: технологии, эффективность, прогнозирование / В. Н. Тилипалов, А. Г. Схиртладзе, А. П. Минаков и др. – Калининград : изд-во КГТУ, 2005. – 315 с.
7. Надежность и ремонт машин / [В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др.]. – М. : Колос, 2000. – 776 с.
8. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.
9. Бочкарев В. Н. Технологическая наследственность в управлении качеством судовых машин и механизмов : монография / В. Н. Бочкарев, Н. Я. Яхьяев. – Махачкала : Дагестанский филиал АН СССР, 1990. – 200 с.
10. Половинкин В. Н. Новые высокие технологии на пути к внедрению в судостроении // Успехи ожидаемые и неожиданные : материалы конференции. – СПб. : «Моринтех», 2001. – С. 9-10.
11. Нахимович Е. Комплексный подход к решению задач по повышению долговечности и износостойкости материалов и деталей машин / Е. Нахимович // Трение, износ и смазка. – 2003. – 5, № 4. – С. 61-64.
12. Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях // Производство и ремонт машин [Сб. матер. междун. науч-техн. конф. (28 февр.-6 марта 2005, Ставрополь)]. – Ставрополь : Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – С. 58-63.
13. Семькин В. Н. Обзор современных способов восстановления деталей машин. / В. Н. Семькин, Ю. С. Золототрубова, В. Н. Проценко // Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении : меж. вуз. сб. науч. трудов. – Воронеж. гос. тех. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2004, С. 82-86.
14. Кондратьев В. А. Классификация видов технологических процессов восстановления деталей / В. А. Кондратьев, М. В. Кондратьев // Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса : меж. сб. науч. трудов. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2005. – Вып. 4. – С. 32-34.
15. Кочергин К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 272 с.

16. Сварка трением : справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко и др. – Л. : Машиностроение, 1987. – 236 с.
17. Борисов Ю. С. Современные достижения в области нанесения защитных и упрочняющих покрытий / Ю. С. Борисов // Порош. металлургия. – 1993. – № 7. – С. 5-14.
18. Интегрированный банк данных по защитным покрытиям / [Борисов Ю. С., Бернадский В. Н., Овсиенко А. В., Соляник Т. Н., Пашина Н. В.] // Соврем. достиж. в обл. техн. и применения газотерм. и вакуум. покрытий. АН УССР. Ин-т электросварки. – Киев, 1991. – С. 102-107.
19. Черновол М. И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями : учеб. пособие / М. И. Черновол. – К. : Вища школа, 1992. – 79 с.
20. Дубчак В. С. Опыт Мурманского СРЗ по восстановлению деталей методами газотермического напыления / В. С. Дубчак // В/О «Мортехинформреклама», серия «Судоремонт». – Москва, 1987. – Вып. 20. – С. 1-10.
21. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Мorigаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.
22. Корнев А. Б. Разработка стратегии ремонта трибосопряжений крупногабаритных деталей с применением газотермического напыления в судоремонтном производстве: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.08.04 / Корнев Андрей Борисович. – Н. Новгород, 2006. – 23 с.
23. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 10-13.
24. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Обзор. Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление. Мчедлов С.Г. Свароч. пр-во. 2007, № 10, С. 35-45, 63.
25. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов // Физико-химические закономерности. – Екатеринбург : УрГУ; Екатеринбург : Унив. изд-во, 2012. – 267 с.
26. Лопата Л. А. Дослідження відновлення автомобільних деталей типу «вал» електродуговою металізацією / Л. А. Лопата, В. М. Лопата, Н. А. Медведєва, Т. М. Тунік // Конструирование и технология производства с/х машин. – Кировоград : КНТУ, 2005. – Вип. № 35 – С. 409-416.
27. Пономарев А.И. Разработка технологии восстановления поверхностей качения электроконтактной наваркой проволокой : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Пономарев А.И. – Москва : Моск. гос. техн. ун-т, 2004. – 16 с.
28. Черновол М. И. Получение износостойких покрытий электроимпульсным припеканием композиционных порошков / М. И. Черновол, Л. А. Лопата, М. В. Красота // Композиционные материалы в промышленности : тезисы докладов конференции. – Киев : Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, 1999. – С. 194.
29. Лопата Л. А. Спосіб зміцнення поверхонь електроімпульсним припінанням композиційних зносостійких покриттів / Л. А. Лопата, Ф. Й. Златопольський, М. В. Красота // Проблеми підвищення надійності та довговічності машин : збірник наукових праць. – Кировоград : КІСМ, 1996. – С. 32-38.
30. Витязь П. А. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, Е. Д. Манойло и др. // Наука и техника. – Минск, 1993. – 294 с.
31. Smolka K. Instandsetzen einer Pumpenwelle durch Flammspitzen // Praktiker. – 1985. – № 9. – S. 471, 474, 479.
32. Дорожкин Н. Н. Теоретические и технологические перспективы создания новых комбинированных способов нанесения защитных покрытий / Н. Н. Дорожкин. – Минск, 1990. – С. 3.

33. Лопата Л. А. Поєднання процесів електроконтактного припикання порошків і теплового пластичного деформування / Л. А. Лопата, М. В. Красота // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – Вип. 12. – С. 79-86.

REFERENCES

1. Remont rechnikkh sudov : spravochnik / Yu. K. Aristov, F. F. Benua, A. A. Vihsheslavcev i dr.: pod red. A. F. Videckogo. – M. : «Transport», 1988. – 431 s.
2. Rappoport L. I. Tekhnicheskoe obsluzhivanie sudov / L. I. Rappoport, D. T. Chapkis. – M. : Transport, 1972. – 168 s.
3. Pevzner B. M. Nasosih sudovihkh ustanovok i sistem / B. M. Pevzner. – L. : Sudostroenie, 1971. – 383 s.
4. Budov V. M. Sudovihe nasosih : spravochnik / V. M. Budov. – L. : Sudostroenie, 1988. – 432 s.
5. Storozhev V. P. Vosstanovlenie detaley sudovihkh tekhnicheskikh sredstv / V. P. Storozhev // Sudoremont. – Vihp. 1 (17). – 1990. – S. 1-60.
6. Tilipalov V. N. Remont mashin: tekhnologii, ehffektivnostj, prognozirovanie / V. N. Tilipalov, A. G. Skhirtladze, A. P. Minakov i dr. – Kaliningrad : izd-vo KGTU, 2005. – 315 s.
7. Nadezhnostj i remont mashin / [V. V. Kurchatkin, N. F. Teljnov, K. A. Achkasov i dr.]. – M. : Kolos, 2000. – 776 s.
8. Molodihk N. V. Vosstanovlenie detaley mashin / N. V. Molodihk, A. S. Zenkin. – M. : Mashinostroenie, 1989. – 480 s.
9. Bochkarev V. N. Tekhnologicheskaya nasledstvennostj v upravlennii kachestvom sudovihkh mashin i mekhanizmov : monografiya / V. N. Bochkarev, N. Ya. Yakhjhaev. – Makhachkala : Dagestanskiy filial AN SSSR, 1990. – 200 s.
10. Polovinkin V. N. Novihe vihsokie tekhnologii na puti k vnedreniyu v sudostroenii // Uspekhi ozhidaemihe i neozhidannihe : materialih konferencii. – SPb. : «Morintekh», 2001. – S. 9-10.
11. Nakhimovich E. Kompleksniy podkhod k resheniyu zadach po povysheniyu dolgovechnosti i iznosostoykosti materialov i detaley mashin / E. Nakhimovich // Trenie, iznos i smazka. – 2003. – 5, № 4. – S. 61-64.
12. Panteleenko F. I. Novoe v vosstanoviteljno-uprochnyayuthikh tekhnologiyakh // Proizvodstvo i remont mashin [Cb. mater. mezhdun. nauch-tekhn. konf. (28 fevr.-6 marta 2005, Stavropolj)]. – Stavropolj : Izd-vo StGAU «AGRUS», 2005. – S. 58-63.
13. Semihkin V. N. Obzor sovremennihkh sposobov vosstanovleniya detaley mashin. / V. N. Semihkin, Yu. S. Zolototrubova, V. N. Prochenko // Progressivnihe tekhnologii i oborudovanie v ehlektronike i mashinostroenii : mezh. vuz. sb. nauch. trudov. – Voronezh. gos. tekhn. un-t. Voronezh: Izd-vo VGTU. 2004, S. 82-86.
14. Kondratjev V. A. Klassifikaciya vidov tekhnologicheskikh processov vosstanovleniya detaley / V. A. Kondratjev, M. V. Kondratjev // Inovacionnihe tekhnologii i oborudovanie mashinostroiteljnogo kompleksa : mezh. sb. nauch. trudov. – Voronezh : Izd-vo VGTU, 2005. – Vihp. 4. – S. 32-34.
15. Kochergin K. A. Svarka davleniem / K. A. Kochergin. – L. : Mashinostroenie, 1972. – 272 s.
16. Svarka treniem : spravochnik / V. K. Lebedev, I. A. Chernenko i dr. – L. : Mashinostroenie, 1987. – 236 s.
17. Borisov Yu. S. Sovremennihe dostizheniya v oblasti naneseniya zathitnikh i uprochnyayuthikh pokrihtij / Yu. S. Borisov // Porosh. metallurgiya. – 1993. – № 7. – S. 5-14.
18. Integrirovannihy bank dannihkh po zathitnihm pokrihtiyam / [Borisov Yu. S., Bernadskiy V. N., Ovsienko A. V., Solyanik T. N., Pathina N. V.] // Sovrem. dostizh. v obl.

tekh. i primeneniya gazoterm. i vakuum. pokrihtiy. AN USSR. In-t ehlektrosvarki. – Kiev, 1991. – S. 102-107.

19. Chernovol M. I. Uprochnenie i vosstanovlenie detaley mashin kompozicionnihmi pokrihtiyami : ucheb. posobie / M. I. Chernovol. – K. : Vitha shkola, 1992. – 79 s.

20. Dubchak B. C. Opiht Murmanskogo SRZ po vosstanovleniyu detaley metodami gazotermicheskogo napihleniya / V. S. Dubchak // V/O «Mortekhinformreklama», seriya «Sudoremont». – Moskva, 1987. – Vihp. 20. – S. 1-10.

21. Khasui A. Naplavka i napihlenie / A. Khasui, O. Morigaki. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 239 s.

22. Kornev A. B. Razrabotka strategii remonta tribosopryazheniy krupnogabartinihkh detaley s primeneniem gazotermicheskogo napihleniya v sudoremontnom proizvodstve: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk: 05.08.04 / Kornev Andrey Borisovich. – N. Novgorod, 2006. – 23 s.

23. Kharlamov Yu. A. Gazotermicheskoe napihlenie pokrihtiy i ehkologichnostj proizvodstva, ehkspluatacii i remonta mashin / Yu. A. Kharlamov // Tyazheloe mashinostroenie. – 2000. – № 2. – S. 10-13.

24. Gazotermicheskoe pokrihtie v tekhnologii uprochneniya i vosstanovleniya detaley mashin: Obzor. Ch. 1. Gazoplamennoe i detonacionnoe napihlenie. Mchedlov S.G. Svaroch. prvo. 2007, № 10, S. 35-45, 63.

25. Boronenkov V. N. Osnovih dugovoy metallizacii / V. N. Boronenkov, Yu. S. Korobov // Fiziko-khimicheskie zakonomernosti. – Ekaterinburg : UrGU; Ekaterinburg : Univ. izd-vo, 2012. – 267 s.

26. Lopata L. A. Doslidzhennya vidnovlennya avtomobilnikh detaley tipu «val» elektrodugovoyu metalizaciyu / L. A. Lopata, V. M. Lopata, N. A. Medvedeva, T. M. Tunik // Konstruirovaniye i tekhnologiya proizvodstva s/kh mashin. – Kirovograd : KNTU, 2005. – Vip. № 35 – S. 409-416.

27. Ponomarev A.I. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya poverkhnostey kacheniya ehlektrokontaktnoy navarkoy provolokoy : avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk / Ponomarev A.I. – Moskva : Mosk. gos. tekhn. un-t, 2004. – 16 s.

28. Chernovol M. I. Poluchenie iznosostoykikh pokrihtiy ehlektroimpul'snizm pripekaniem kompozicionnihkh poroshkov / M. I. Chernovol, L. A. Lopata, M. V. Krasota // Kompozicionniye materialih v promishlennosti : ezisih dokladov konferencii. – Kiev : Institut sverkhтверdikh materialov NAN Ukrainih, 1999. – S. 194.

29. Lopata L. A. Sposib zmichennya poverkhonj elektroimpul'snim pripikannyam kompoziciynnikh znosostiykikh pokritj / L. A. Lopata, F. Yj. Zlatopol'skiy, M. V. Krasota // Problemi pidvithennya nadiynnosti ta dovgovichnosti mashin : zbirnik naikovikh pracj. – Kirovograd : KISM, 1996. – S. 32-38.

30. Vityazj P. A. Teoriya i praktika gazoplamennogo napihleniya / P. A. Vityazj, B. C. Ivashko, E. D. Manoylo i dr. // Nauka i tekhnika. – Minsk, 1993. – 294 s.

31. Smolka K. Instandsetzen einer Pumpenwelle durch Flammritzen // Praktiker. – 1985. – № 9. – S. 471, 474, 479.

32. Dorozhkin N. N. Teoreticheskie i tekhnologicheskie perspektivih sozdaniya novihkh kombinirovannihkh sposobov naneseniya zathitnikh pokrihtiy / N. N. Dorozhkin. – Minsk, 1990. – S. 3.

33. Lopata L. A. Poednannya procesiv elektrokontaktnogo pripikannya poroshkiv i teplogo plastichnogo deformuvannya / L. A. Lopata, M. V. Krasota // Cistemni metodi keruvannya, tekhnologiya ta organizaciya virobnictva, remontu i ehkspluatacii avtomobiliv. – Kiiv, NTU, 2001. – Vip. 12. – S. 79-86.

Агєєв М.С., Кожевникова Є.Є., Лопата В.М. ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ СУДНОВИХ НАСОСІВ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

Розглянуті причини виходу з ладу суднових насосів, які є найпоширенішими механізмами на судах. Дослідженнями зносу деталей суднових насосів встановлено, що в першу чергу існує потреба у відновленні поверхонь найбільш поширених деталей, що часто виходять з ладу, таких як вали. Для вибору методу відновлення та підвищення ресурсу валів СН встановлені причини та характер їх пошкоджень, основні види зносу, що впливають на вибір способу відновлення. Представлена характеристика існуючих методів відновлення. Запропоновано підвищувати зносостійкість і ресурс валів СН шляхом відновлення їх робочих поверхонь комбінованим способом нанесення захисних покриттів, які полягають в електроконтактному припіканні (ЕКП) заздалегідь сформованих газополумєневим напиленням порошкових шарів із самофлюсованих сплавів на основі нікелю.

Ключові слова: суднові насоси, вали суднових насосів, ресурс, відновлення, знос, комбінований метод нанесення покриття, електроконтактне припікання, газополумєнєве напилення.

Ageev M.S., Kozhevnikova E.E., Lopata V.N. INCREASES OF RESOURCE OF SHIP PUMPS ONBASIS OF THE COMBINED TECHNOLOGY OF RENEWAL

Reasons are considered of death of ship pumps which are the most widespread mechanisms on courts. It is set researches of wear of details of ship pumps, that above all things exists requirement in renewal of surfaces of the most widespread and often falling out details, such as billows. For the choice of method of renewal and increase of resource of billows of SN reasons and character of their damages, basic types of wear, influencing at choice method renewals are set. ship pumps, billows of ship pumps, resource, renewal, wear, combined method of overcoating. elektrokontaktnoe burning, flame spraying. Short-story description is presented to the suschestvuyushim methods of renewal. It is suggested to promote wearproofness and resource of billows of SN by renewal of their workings surfaces the combined method of causing of sheeting, which consists in elektrokontaktnym burning (EKP) preliminary sformovannykh the flame spraying of powder-like layers from self-fluxing alloys on the basis of nickel.

Keywords: ship pumps, billows of ship pumps, resource, renewal, wear, combined method of overcoating. elektrokontaktnoe burning, flame spraying.

© Агєєв М.С., Кожевникова Є.Є., Лопата В.М.

Статтю прийнято
до редакції 11.09.2015

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ СУДОВОДИТЕЛЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ E-NAVIGATION

Бень А.П., Паламарчук И.В.

Херсонская государственная морская академия

В статье рассматриваются вопросы создания систем поддержки принятия решений (СППР) в судовождении в условиях внедрения концепции электронной навигации (e-Navigation). Определены ключевые направления исследований в данной предметной области, показано влияние человеческого фактора на процессы принятия решений по управлению судном. Предложена структура СППР судоводителя, определены базовые источники навигационной информации, поступающей в СППР и порядок ее обработки. Показано, что в условиях введения принципов e-Navigation, СППР судоводителя становится ключевым элементом, обеспечивающим снижение влияния человеческого фактора на процессы управления судном и повышающим безопасность судовождения. Разработка СППР в судовождении требует учета особенностей взаимодействия человека с техническими средствами управления судном. Практическое внедрение СППР должно осуществляться путем ее полной интеграции с существующими средствами электронной навигации судна. Дальнейшее развитие концепции e-Navigation потребует совершенствования средств информационного взаимодействия технических средств управления движением судна и береговых навигационных систем. Определено, что важным направлением дальнейших исследований в области создания СППР судоводителя станут вопросы координации взаимодействия судов в районе маневрирования. Использование методов искусственного интеллекта в сочетании с современными информационными технологиями для разработки СППР судоводителя позволит существенно снизить риски современного судоходства, обусловленные столкновениями судов.

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, интеллектуальная система, человеческий фактор, управление судном, судовождение, e-Navigation.*

Введение. Повышение безопасности судовождения в настоящее время становится одной из наиболее важных проблем современного судоходства в связи с существенным ростом объемов морских перевозок. Интенсивное внедрение современных информационных технологий в процессы управления движения судном привело к появлению концепции электронной навигации – «e-Navigation». Концепция «e-Navigation» была в первые представлена ИМО в 2006 на 81-й сессии Морского Комитета по безопасности (MSC 81 – Май 2006) во время которого комитет потребовал принять этот огромный морской проект как рабочую программу. В настоящее время принято следующее определение e-Navigation: «e-Navigation – это скоординированные сбор, интеграция, передача, воспроизведение и анализ информации о ситуации на море на борту кораблей и на берегу с помощью электронных средств в целях обеспечения улучшенной навигации «от причала до причала» и работы соответствующих служб, повышения надежности и безопасности морской навигации и защиты морской среды» [1]. Следует отметить, что появление современных средств электронной навигации привело к существенному повышению интенсивности информационного обмена в эргатической системе «судоводитель – технические средства судовождения» и росту влияния человеческого фактора на уровень аварийности [2]. Анализ причин столкновений судов показывает, что главная причина аварий – человеческие ошибки, составляющие более 80 % от общего количества их причин. Снижение влияния человеческого фактора на уровень аварийности на море представляет актуальную научно-практическую проблему, которую необходимо решать в разрезе оптимизации взаимодействия судоводителя с современными техническими средствами судовождения. Одним из наиболее перспективных путей решения поставленной проблемы является создание систем поддержки принятия решения (СППР) судоводителя, которые станут одним из ключевых компонентов «e-Navigation».

Актуальность. Проблеме создания интеллектуальных систем в судовождении посвящен ряд публикаций отечественных и зарубежных исследователей. В работах [3–5,12,13] рассматриваются выборы безопасной траектории движения судов в современных информационных системах управления движением судна, а в работах [6–11] освещены вопросы, связанные с созданием интеллектуальных систем управления движением судна. Анализ исследований в данной предметной области показывает, что концепция «e-Navigation» предусматривает учет человеческого фактора, как одной из главных причин аварийности в современном судоходстве. В сложившихся условиях создание СППР судоводителя, позволяющей минимизировать влияние человеческого фактора на процессы управления судном, является актуальной научной и прикладной про.

Постановка задачи. Целью статьи является определение базовых принципов создания и функционирования СППР судоводителя и определение правил работы таких СППР в условия внедрения концепции e-Navigation.

Основная часть. В условиях внедрения концепции e-Navigation СППР судоводителя должна обеспечивать интеграцию с установленным навигационным оборудованием и системами управления морским судном. Основными источниками навигационных данных для СППР являются: лаг, гироскопас, радар, эхолот, ARPA, GNSS, GPS, DGPS, AIS, ECDIS, GMDSS.

Структура СППР и порядок обмена информацией между ее отдельными модулями представленны на рис 1.



Рисунок 1 – Структура СППР судоводителя и обмен данными между ее модулями

Имеющийся опыт создания СППР в судовождении позволяет сделать вывод, что их эффективное практическое использование возможно только в случае соблюдения ряда важных требований, обусловленных, с одной стороны, особенностями функционирования непосредственно СППР, а с другого – процессами принятия решений в судовождении.

Указанные обстоятельства обуславливают возникновение «человеческого фактора» как одной из основных причин аварийности в судоходстве. Необходимость минимизации его влияния путем использования СППР судоводителя, позволяет сформулировать основные требования, предъявляемые к таким СППР:

- работа СППР в режиме реального времени и ее интеграция с имеющимися на судне системами управления движением;
- необходимость учета всех требований МППСС-72;
- необходимость графического представления сложившейся ситуации, с визуальными отметками границ зон безопасности собственного судна и динамики их изменений;
- необходимость анализа во время принятия решений нескольких возможных сценариев расхождения, обусловленных целенаправленным поведением судов-целей во время их движения;
- необходимость учета влияния внешних условий в зоне маневрирования, в частности гидрометеорологических, гидрографических факторов и навигационных опасностей;
- учет предыдущего опыта управления движением судна в аналогичных условиях, если он имел место.

Принимая во внимание указанные особенности СППР судоводителя, можно определить концептуальные требования к ее отдельным компонентам [10]:

1. База знаний СППР должна содержать и накапливать информацию трех видов: декларативная информация, регламентирующая законодательную базу управления процессами расхождения судов (МППСС-72), экспертная информация – формализованные знания экспертов в предметной области – опытных судоводителей, и база прецедентов – информация о развитии событий в навигационных ситуациях, которые уже имели место в прошлом.

2. СППР судоводителя должна строиться на принципах моделирования движения судов, имеющих целенаправленное поведение, направленное на избежание столкновения и требований международных правил предупреждения столкновений судов (МППСС-72) во время движения. Необходимо наличие средств прогнозирования развития навигационной ситуации и средств визуального представления такого прогноза.

3. Математические модели, применяемые в СППР судоводителя, должны отвечать требованиям адекватности и технической осуществимости – перспективно сочетание моделей, основанных на принципах искусственного интеллекта с математическими моделями, которые описывают процессы движения судов.

Общий алгоритм работы СППР по предотвращению столкновений судов может быть представлен в следующем виде [10, 14, 15]:

- идентификация судов, находящихся в зоне возможного столкновения;
- мониторинг параметров движения судов и динамики их изменения;
- оценка погрешности получаемых параметров движения;
- классификация судов по степени опасности;
- определение пар взаимодействующих судов, для которых формируются возможные сценарии движения;
- определение областей взаимных обязанностей в соответствии с МППСС-72 и границ зоны безопасности собственного судна;
- формирование множества возможных сценариев (стратегий) движения судов;
- определение стратегий движения, отвечающих заданным критериям безопасности;
- выработка возможных альтернатив по управлению судном и предоставление их судоводителю.

Судно исключается из рассмотрения СППР при формировании сценариев взаимодействия в случае идентификации его как безопасного, но мониторинг параметров движения такого судна продолжается при нахождении его в пределах зоны действия

САРП. Для опасных и потенциально опасных судов СППР формирует многошаговую стратегию расхождения на весь прогнозируемый период их нахождения в зоне взаимных обязанностей, с последующей коррекцией стратегии в случае, если текущее развитие ситуации будет отличаться от прогнозируемого. В процессе формирования стратегии расхождения учитывается предполагаемое изменение параметров движения судов, обусловленное их взаимодействием друг с другом в соответствии с МППСС-72. Результатом работы СППР судоводителя является графическая визуализация ситуации с указанием рекомендуемых изменений параметров движения собственного судна.

Выводы. В условиях введения принципов e-Navigation, СППР судоводителя становится ключевым элементом, обеспечивающим снижение влияния человеческого фактора на процессы управления судном и повышающим безопасность судовождения. Разработка СППР в судовождении требует учета особенностей взаимодействия человека с техническими средствами управления судном. Практическое внедрение СППР должно осуществляться путем ее полной интеграции с существующими средствами электронной навигации судна. Дальнейшее развитие концепции e-Navigation потребует совершенствования средств информационного взаимодействия технических средств управления движением судна и береговых навигационных систем. Важным направлением дальнейших исследований в области создания СППР судоводителя станут вопросы координации взаимодействия судов в районе маневрирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В. И. Информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование (E-navigation) / В. И. Дмитриев. – М. : Моркнига. – 2013. – 175 с.
2. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении [Электронный ресурс] / Л. Л. Вагущенко – Одесса : ОНМА, 2013. – 135 с. – Режим доступа: <http://www.nav-eks.org.ua/CITC.html>
3. Вагущенко Л. Л. Алгоритм выработки рекомендаций по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко // Судовождение : Сб. науч. трудов ОНМА. – Вып. 21. – Одесса : ИздатИнформ, 2012. – С. 42-50.
4. Алексишин А. В. Выявление ситуаций опасного сближения судов с помощью граничных пеленгов в автоматизированных комплексах судовождения / А. В. Алексишин // Проблеми техніки : науково- виробничий журнал ОНМУ, ХНУ. – № 1. – Одесса, 2013. – С.117-23
5. Цымбал Н. Н. Основные принципы учета навигационных опасностей различных типов при расхождении судов / Н. Н. Цымбал, Е. А. Петриченко // Судовождение : Сб. науч. трудов ОНМА. – Вып. 20. – Одесса : ИздатИнформ, 2011. – С. 238-242.
6. Bi X.Y., Liu X.J.: Research on Double Collision Avoidance Mechanism of Ships at Sea. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 1, pp. 13-16, 2015.
7. Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, No. 4, pp. 551-556, 2014.
8. Lisowski J. Game Strategies of Ship in the Collision Situations. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, No. 1, pp. 69-77, 2014.
9. Бень А. П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А. П. Бень // Вестник ХНТУ : сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34), 9. – С. 429-433.
10. Бень А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / А. П. Бень // Матеріали другої науково-практичної конференції «Сучасні

інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010)» (25–27 травня 2010 р., Херсон, ХДМІ.) – Т. 1. – С. 8-10.

11. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А. С. Мальцев // Судовождение : Сб. научн. Трудов / ОНМА, Вып. 11. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – С. 74-86.

12. Мальцев А. С. Методологические основы маневрирования судов при сближении / А. С. Мальцев, В. В. Голиков, И. В. Сафин, В. В. Мамонтов. – Одесса : ИздатИнформ, 2013. – 221 с.

13. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов. / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.

14. Патент України на корисну модель №40401, Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху / Мальцев А. С., Бень А. П., Нгуен Тхан Шон.

15. Патент на корисну модель. UA №97227, МПК (2015.01) G08G, 3/00, Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном / Товстокорій О. М., Мальцев С. Е., Бень А. П. – опубл. 10.03.2015.

REFERENCES

1. Dmitriev V. I. Informacionnihe tekhnologii obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva i ikh kompleksnoe ispolzovanie (E-navigation) / V. I. Dmitriev. – M. : Morkniga. – 2013. – 175 s.

2. Vaguthenko L. L. Sovremennihe informacionnihe tekhnologii v sudovozhdenii [Ehlektronnihyj resurs] / L. L. Vaguthenko – Odessa : ONMA, 2013. – 135 с. – Rezhim dostupa: <http://www.nav-eks.org.ua/CITC.html>

3. Vaguthenko L. L. Algoritm vihrabotki rekomendacij po raskhozheniyu s sudami / L. L. Vaguthenko // Sudovozhdenie : Sb. nauch. trudov ONMA. – Vihp. 21. – Odessa : IzdatInform, 2012. – S. 42-50.

4. Aleksishin A. V. Vihyavlenie situacij opasnogo sblizheniya sudov s pomothjyu granichnikh pelengov v avtomatizirovannikh kompleksakh sudovozhdeniya / A. V. Aleksishin // Problemi tekhniki : naukovo-virobnichiy zhurnal ONMU, KhNU. – № 1. – Odessa, 2013. – S.117-23

5. Cihmbal N. N. Osnovnihe principih ucheta navigacionnikh opasnostey razlichnikh tipov pri raskhozhenii sudov / N. N. Cihmbal, E. A. Petrichenko // Sudovozhdenie : Sb. nauch. trudov ONMA. – Vihp. 20. – Odessa : IzdatInform, 2011. – S. 238-242.

6. Bi X.Y., Liu X.J.: Research on Double Collision Avoidance Mechanism of Ships at Sea. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 1, pp. 13-16, 2015.

7. Cai Y., Wen Y.Q.: Ship Route Design for Avoiding Heavy Weather and Sea Conditions. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, No. 4, pp. 551-556, 2014.

8. Lisowski J. Game Strategies of Ship in the Collision Situations. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, No. 1, pp. 69-77, 2014.

9. Benj A. P. Metodih ocnki opasnosti traektorii dvizheniya sudov v sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy / A. P. Benj // Vestnik KhNTU : Sb. nauch. trudov Khersonskogo nacionaljnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2009. – Vihp. 1 (34), 9. – S. 429-433.

10. Benj A. P. Principi pobudovi sistem pidtrimki priyinyattya rishenj sudnovodiya / A. P. Benj // Materiali drugoi naukovo-praktichnoi konferencii «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT-2010)» (25-27 travnya 2010 r., Kherson, KhDMI.) – Т. 1. – S. 8-10.

11. Maljcev A. S. Intellektualnihe gibridnihe sistemih podderzhki prinyatiya resheniy pri raskhozhdenii sudov / A. S. Maljcev // Sudovozhdenie : Sb. nauchn. trudov / ONMA, Vihp. 11. – Odessa : IzdatInform, 2006. – S. 74-86.
12. Maljcev A. S. Metodologicheskie osnovih manevrirovaniya sudov pri sblizhenii / A. S. Maljcev, V. V. Golikov, I. V. Safin, V. V. Mamontov. – Odessa : IzdatInform, 2013. – 221 s.
13. Cihmbal N. N. Gibkie strategii raskhozhdeniya sudov. / N. N. Cihmbal, I. A. Burmaka, E. E. Tyupikov – Odessa : KP OGT, 2007. – 424 s.
14. Patent Ukraïni na korisnu modelj №40401, Pristriyj ocenki nebezpeki zitknennya suden za kursovim kutom liniï vidnosnogo rukhu / Maljcev A. S., Benj A. P., Nguen Tkhan Shon.
15. Patent na korisnu modelj. UA №97227, MPK (2015.01) G08G, 3/00, Pristriyj dlya informacijnogo zabezpechennya procesu upravlinnya sudnom / Tovstokoriyj O. M., Maljcev S. E., Benj A. P. – opubl. 10.03.2015.

Бень А.П., Паламарчук І.В. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ В МЕЖАХ КОНЦЕПЦІЇ E-NAVIGATION

У статті розглядаються питання створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) в судноводінні в умовах впровадження концепції електронної навігації (e-Navigation). Визначено ключові напрямки досліджень в даній галузі, показано вплив людського фактора на процеси прийняття рішень з управління судном. Запропоновано структуру СППР судноводія, визначені базові джерела навігаційної інформації, що надходить в СППР і порядок її обробки. Показано, що в умовах запровадження принципів e-Navigation, СППР судноводія стає ключовим елементом, що забезпечує зниження впливу людського фактора на процеси управління судном, і підвищує безпеку судноводіння. Розробка СППР в судноводінні вимагає врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами управління судном. Практичне впровадження СППР має здійснюватися шляхом її повної інтеграції з існуючими засобами електронної навігації судна. Подальший розвиток концепції e-Navigation потребує вдосконалення засобів інформаційної взаємодії технічних засобів управління рухом судна і берегових навігаційних систем. Визначено, що важливим напрямком подальших досліджень в галузі створення СППР судноводія, стануть питання координації взаємодії суден в районі маневрування. Використання методів штучного інтелекту в поєднанні з сучасними інформаційними технологіями для розробки СППР судноводія дозволить істотно знизити ризики сучасного судноплавства, обумовлені зіткненнями суден.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, інтелектуальна система, людський фактор, управління судном, судноводіння, e-Navigation.

Ben A.P., Palamarchuk I.V. PRINCIPLES OF BUILDING A NAVIGATOR'S DECISION SUPPORT SYSTEMS IN E-NAVIGATION CONCEPT

The article deals with the creation of decision support systems (DSS) in the navigation in the implementation of e-navigation concept (e-Navigation). Identified the key areas of research in this domain, it shows the influence of the human factor in the decision-making on the control of the vessel. The structure of the DSS navigators, defines the basic sources of navigation information supplied to the DSS and the procedure for processing. It is shown that in the conditions of the introduction of the principles of e-Navigation, DSS navigator becomes a key element for reducing the influence of the human factor on vessel control processes and increases the safety of navigation. Development of DSS in navigation requires taking into account peculiarities of human interaction with technical vessel control tools. Practical implementation of DSS should be carried out by its full integration with the existing means of electronic navigation vessel. Further development of the concept of e-Navigation will require improved means of information exchange technical controls vessel traffic and coastal navigation systems. It was determined that an important area for further research in the field of DSS navigator will be the coordination of cooperation between ships in the maneuvering area. The use of artificial intelligence methods in combination with modern information technologies for the development of DSS navigators will significantly reduce the risks of modern shipping, due to collisions of ships.

Keywords: decision support system, intelligent system, the human factor, control of the vessel, navigation, e-Navigation.

© Бень А.П., Паламарчук І.В.

Статтю прийнято
до редакції 12.09.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ МОРСКОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ

Годованюк С.П., Селиванов С.Е.

Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрена цель создания в Украине государственной морской поисково-спасательного центра (ГМСКЦ), раскрыта основная задача центра. Показано, что повышение эффективности национальной системы поиска и спасения Украины при спасении на море определяются разными методами и методиками: повышения иерархичности; быстрого действия системы при сокращении времени операции поиска и спасения (SAR) до уровня ниже периода выживания людей; минимизации расстояния от мест базирования спасательных судов до места АП и эвакуации спасённых до ближайшего места укрытия; применение методов управления групповым поиском компетентными координаторами и операторами; маневрирование судами поиска и выбор порядка операции SAR. Одним из важных критериев эффективности системы поиска и спасения является эффективность ее обслуживания, а именно своевременный прием и передача сообщений для координации поиска и спасения. В случае аварийной ситуации (бедствия) на морском судне обслуживание всех поступающих заявок на их поиск и спасение проводит ГМСКЦ. Проведена возможность оценки эффективности функционирования (работы) ГМСКЦ как отдельного канала обслуживания, используя теорию массового обслуживания. Математический аппарат теории массового обслуживания позволяет оценить эффективность обслуживания системой заданного потока заявок в зависимости от характеристики потока заявок, числа каналов обслуживания, производительности каналов и дисциплины обслуживания заявок. Оценка эффективности функционирования (работы) системы в результате ее обслуживания рассмотрена на ряде примеров, используя теорию массового обслуживания.

Ключевые слова: государственной морской поисково-спасательной центр, аварии на море, поиск и спасение, теория массового обслуживания, оценка эффективности системы.

Введение. Для того, чтобы использовать математический метод теории массового обслуживания для научного обоснования эффективности действующей национальной морской системы поиска и спасения, рассмотрим причины создания такой системы в Украине и ее функциональные особенности.

Согласно статистике под флагами более чем 130 стран мира воды Мирового океана бороздят свыше 55 тыс. крупнотоннажных судов и 200 млн. мелких – туристических и прогулочных катеров, парусных яхт, ботов. Около 4/5 транспортных перевозок на земном шаре осуществляется по Мировому океану. Ежедневно в его водах находится 25 тыс. судов, экипажи которых насчитывают около 1 млн. человек. Очевидно, что при таком количестве судов, несмотря на совершенствование их конструкций, способов вождения, оснащение новейшими техническими средствами, нельзя полностью избежать аварий и катастроф.

Английский Регистр судоходства Ллойда (лондонское классификационное общество) ежегодно публикует статистику гибели различных государств-флагов, различных типов, возрастов с указанием причин гибели.

По данным Регистра судоходства Ллойда ежегодно гибнет 350–400 судов общим весом судов и грузов 600–800 тыс. тонн, в результате кораблекрушений ежегодно погибает около 200 тыс. человек. Кроме того, еще на 7–8 тыс. судов случаются серьезные аварии, не приводящие к катастрофическим последствиям.

Серьезные аварии с судами, приведшие к гибели людей в катастрофических масштабах вызывают беспокойство во многих государствах мира.

Международная морская организация (ИМО) в связи с этим определила основные задачи безопасности человеческой жизни на море, осуществления операций поиска и спасения, терпящих бедствие на морских и океанских просторах.

В 1979 году была заключена международная конвенция по поиску и спасения на море (англ. International Convention on Maritime Search and Rescue) (часто именуется «Конвенция SAR») [1]. Конвенция предлагает договаривающимся сторонам обеспечить наличие в их странах соответствующих средств для поиска и спасания, заключать между собой соглашения по поиску и спасанию, в частности, предусматривающие облегченный доступ спасательных средств одного государства в территориальное море другого государства, а также устанавливать общие процедуры для эффективного и быстрого поиска и спасания. Конвенция также предусматривает создание государствами спасательно-координационных центров и подцентров, включая назначение координатора на месте проведения операции.

Каждое государство должно установить границы районов, в которых они несут ответственность за проведение поисково-спасательных операций [2].

Украина, как прибрежное государство, признает большое значение охраны человеческой жизни на море и необходимость непосредственно участвовать в оказании услуг авиационного, морского поиска и спасения лиц, терпящих бедствие на море.

Поэтому, выполняя обязательства по международным договорам, стороной которых является Украина, по осуществлению операций по поиску и спасанию человеческой жизни в ее морском поисково-спасательном районе, на сегодня функционирует казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» (КП «МПСС»).

В связи с созданием государственного предприятия «Администрация морских портов Украины» Кабмин своим постановлением закрепил казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» в состав госпредприятия «Администрация морских портов Украины» [3].

В г. Одессе создан, в соответствии с требованиями Международной конвенции по поиску и спасению на море 1979 года, Государственный морской спасательно-координационный центр – ГМСКЦ.

ГМСКЦ является структурным подразделением филиала «Морская поисково-спасательная служба» государственного предприятия «Администрация морских портов Украины» (филиал), который в своей деятельности руководствуется Конвенцией SAR-79, Руководством по международному авиационному и морскому поиску и спасанию (IAMSAR) и другими международными и национальными нормативно-правовыми актами по вопросам поиска и спасания (SAR).

В структуре ГМСКЦ функционирует морской спасательно-координационный подцентр (МСКПЦ) – Мариуполь.

ГМСКЦ предназначен для круглосуточного мониторинга аварийных ситуаций на море и координации проведения спасательных операций.

Основная задача системы – организационно-техническое обеспечение устойчивого функционирования и дальнейшего развития национальной системы поиска и спасения в морском поисково-спасательном районе Украины.

Согласно поставленным задачам Центр оборудован комплексом технических средств, который позволяет круглосуточно оперативному дежурному осуществлять многоканальную связь с подчиненными подразделениями и взаимодействующими организациями, автоматически собирать актуальную информацию – данные по метеоусловиям, расположению морских и воздушных судов – и на базе этой информации разрабатывать планы спасательных операций. Если спасательно-координационный подцентр запрашивает помощь в осуществлении поиска и спасания, то ГМСКЦ получившие такой запрос, немедленно подтверждает и реагирует на запрос с задействованием своих возможностей.

Государства обеспечивают несение непрерывных радиовахт на международных частотах бедствия, если таковые считаются практически осуществимыми и необходимыми.

В случае аварийной ситуации (бедствия) на судне передача сигналов бедствия обеспечивается через глобальную морскую систему связи при бедствии и безопасности (ГМССБ).

При получении вызова или сообщения береговая станция:

- немедленно уведомляет соответствующий СКЦ;
- повторяет по радио судам в необходимом объеме полученные сведения на одной или нескольких международных частотах бедствия;
- предпосылает таким передачам соответствующие автоматические сигналы тревоги, если этого еще не было сделано; и затем – предпринимает такие действия, которые разрешены компетентными властями.

По получению данных о судне, находящемся в аварийном состоянии, СКЦ анализирует эти данные, определяет аварийную стадию и масштаб требуемой помощи.

Повышение эффективности национальной системы поиска и спасения Украины при спасении на море определяются разными методами и методиками: повышения иерархичности; быстродействия системы при сокращении времени операции поиска и спасения (SAR) до уровня ниже периода выживания людей; минимизации расстояния от мест базирования спасательных судов до места АП и эвакуации спасенных до ближайшего места укрытия; применение методов управления групповым поиском компетентными координаторами и операторами; маневрирование судами поиска и выбор порядка операции SAR.

Очевидно, что одним из важных критериев эффективности системы поиска и спасения является эффективность ее обслуживания, а именно своевременный прием и передача сообщений для координации поиска и спасения.

Обеспечение высокой эффективности обслуживания морской поисково-спасательной системы в условиях возникновения бедствий на море является **актуальной** задачей.

В данной работе поставлена **цель** – показать возможность оценки эффективности функционирования (работы) национальной морской системы поиска и спасения как канала обслуживания, используя теорию массового обслуживания.

Постановка задачи. Прием и передача сообщений для координации поиска и спасения представляет собой систему массового обслуживания, состоящая из некоторого числа обслуживающих единиц или каналов, работа которых заключается в выполнении поступающих по этим каналам информации (заявок). Вид и количество поступающих на эту систему заявок различно и, вообще говоря, случайно.

Заявкой (или требованием) называется спрос на удовлетворение какой-либо потребности (далее потребности предполагаются однотипными). Выполнение заявки называется обслуживанием заявки.

Процессы обслуживания потока заявок изучает раздел математики, находящейся на стыке теории вероятностей и исследования операций, называемый теорией массового обслуживания (ТМО) [4]. Интересно, что в англоязычной терминологии название этого раздела математики звучит как «Queueing theory», т.е. «теория очередей». Это показывает, что ее основная цель (подобно нашей) – борьба с очередями.

Системой массового обслуживания (СМО) называется любая система для выполнения заявок поступающих в СМО.

Поступление заявки в СМО называется событием. Последовательность событий, заключающихся в поступлении заявок в СМО, называется входящим потоком заявок. Последовательность событий, заключающихся в выполнении заявок в СМО, называется выходящим потоком заявок.

Говоря о заявках, то чаще всего они будут поступать в случайные моменты времени, поэтому в теории массового обслуживания принято говорить о случайном потоке требований (заявок) на обслуживание [5]. Длительность обслуживания каждой заявки так же является случайной величиной. В связи с этим работа системы протекает

нерегулярно. В какие-то моменты каналы обслуживания простаивают, в другие моменты происходит накапливание заявок. Это приводит либо к отказу обслуживания каких-то заявок, либо к образованию из них очередей.

Для уменьшения степени влияния подобных негативных факторов разрабатываются рекомендации по рациональной организации системы в соответствии с требуемой пропускной способностью и другими характеристиками эффективности ее работы. Разработка подобных рекомендаций и методов расчета характеристик эффективности систем и есть предмет теории массового обслуживания.

Математический аппарат теории массового обслуживания позволяет оценить эффективность обслуживания системой заданного потока заявок в зависимости от характеристики потока заявок, числа каналов обслуживания, производительности каналов и дисциплины обслуживания заявок [6].

С позиции математика теория массового обслуживания представляет собой своеобразную задачу теории случайных процессов.

В качестве критериев эффективности обслуживания в теории массового обслуживания используются следующие критерии: вероятность обслуживания каждой поступающей заявки, средняя доля обслуженных заявок, среднее время обслуживания заявки, закон распределения длины очереди на обслуживание, пропускная способность системы и другие. Из указанного следует, что используемые в теории массового обслуживания критерии позволяют оценивать эффективность системы по усредненным характеристикам, именно массовых событий. Получаемые при этом оценки характеризуют поведение системы «в среднем» [7]. Поэтому при исследовании функционирования морской поисково-спасательной системы методами теории массового обслуживания мы вынуждены будем сделать ряд допущений и упрощений в описании случайных процессов поступления требований на решение задач с использованием поисково-спасательных средств.

В первую очередь это будет касаться входящего потока заявок.

Изложение основного материала. Математический аппарат теории массового обслуживания наиболее разработан применительно к простейшему потоку событий. Дело в том, что простейшие потоки наиболее часто встречаются на практике в самых широких областях [8].

Поток заявок называется простейшим, если он удовлетворяет следующим условиям:

- отсутствие последствия, т.е. заявки поступают независимо независимо друг от друга;
- стационарность, т.е. вероятность поступления данного числа заявок на любом временном отрезке t_1 , t_2 зависит лишь от величины этого отрезка и не зависит от значения t_1 , что позволяет говорить о среднем числе заявок за единицу времени, λ , называемом интенсивностью потока заявок;
- ординарность, т.е. любой момент времени в СМО поступает лишь одна заявка, а поступление одновременно двух и более заявок очень мало.

В работе [9] показано, что во многих случаях можно получить достаточно приемлемые оценки эффективности систем, заменяя входящий поток любой сложной структуры простейшим с той же плотностью. Этому способствует тот факт, что при суммировании большого числа ординарных, стационарных потоков с практически любым последствием получается поток, сколь близкий к простейшему. Условия, которые должны при этом соблюдаться, аналогичны условиям центральной предельной теоремы: складываемые потоки должны оказывать на сумму равномерное малое влияние. В работе Хинчина А. Я. [10] показано, что на практике достаточно сложить 4–5 таких потоков, чтобы получить результирующий поток, с которым можно оперировать как с простейшим.

Применительно к потоку требований на решение сложных задач данное условие будет определяться наличием широкого круга различных сложных задач, поступление

которых в систему происходит с постоянной интенсивностью во времени (условие стационарности) по крайней мере, на ограниченном во времени отрезке.

В действительности, условие стационарности является лишь определенным методическим приемом, применяемым в целях упрощения анализа, так как строго стационарных процессов в природе не существует. Все реальные процессы стационарны только на ограниченном отрезке времени. Распространение условия стационарности до бесконечности позволяет проводить исследования систем методами теории массового обслуживания применительно к постоянным условиям функционирования.

В наиболее общем случае поток требований на решение сложных задач и их ликвидации является нестационарным. Свойство нестационарности потока требований на решение таких задач наиболее отчетливо может проявиться в самом начале развития, скажем массовых событий, когда интенсивность потока требований на решение этих задач резко возрастает.

Как отметили выше, одним из важных критериев эффективности системы поиска и спасения является эффективность ее обслуживания, а именно прием и передача сообщений для координации поиска и спасения. Оценить эффективность функционирования (работы) системы в результате ее обслуживания можно на ряде примеров используя теорию массового обслуживания.

Примеры приводятся для простейшего потока.

Пример 1. Предположим, что в телефонном режиме на СКЦ в случайном порядке поступает в среднем 2 заявки за 10 минут. Определить поток вероятности $p_i(t)$ поступления в СКЦ в среднем 4 заявки за 30 минут.

Решение. Поток вероятности поступления заявок в промежуток времени t вычисляется по формуле

$$p_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t},$$

т.е. вероятности распределены по закону Пуассона с параметром λt . По этой причине простейший поток называется также пуассоновским потоком.

В этой формуле:

λ – интенсивность поступления заявок: $\lambda = \frac{2}{10}$ мин⁻¹, t – время поступления заявки: $t = 30$ мин, i – число заявок (требований): $i = 4$.

Тогда.

$$p_4(T) = \frac{(0,2 \cdot 30)^4}{4!} e^{-0,2 \cdot 30} = \frac{6^4}{24} e^{-6} \approx 0,134$$

Решение рассмотренного примера показало, поток вероятности поступления заявок в СКЦ составляет $p_4(T) \approx 0,134$.

Пример 2. Интенсивность потока телефонных звонков в службу по вопросу поиска и спасения, имеющего один телефон, составляет $2N = 16$ вызовов в час. Продолжительность принятия мер по заявке равна $0,3N = 2,4$ минуты. Определить относительную и абсолютную пропускную способность этой системы массового обслуживания и вероятность отказа (занятости телефона). Сколько телефонов должно быть в службе, чтобы относительная пропускная способность была не менее 0,75.

Решение. Исходя из условия задания, имеем: систему массового обслуживания с одним каналом (один телефонный номер) с отказами. Интенсивность потока заявок определится как $\lambda = 16/60 = 4/15$, т.е. 4/15 заявок в минуту. Интенсивность потока обслуживания $\mu = 1/t$, где t – продолжительность принятия мер по заявке, $\mu = 1/t = 1/2,4 = 5/12$, заявок за минуту.

Определим характеристики работы данной системы массового обслуживания в предельном режиме.

Вероятность того, что система свободна (телефонная линия свободна, заявок нет):

$$p_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{5/12}{4/15 + 5/12} = \frac{25}{41} \approx 0,61$$

вероятность того, что в системе заявка (телефонная линия занята), т.е. вероятность отказа в обслуживании:

$$p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{4/15}{4/15 + 5/12} = \frac{16}{41} \approx 0,39$$

Относительная пропускная способность $Q = p_0 = 0,61$.

Абсолютная пропускная способность $A = Q\lambda = 0,61 \cdot \frac{4}{15} \approx 0,163$ (среднее число заявок, обслуживаемых в минуту).

Среднее время обслуживания заявки $T_s = \frac{1}{\mu} = 2,4$ минуты, среднее время простоя канала (телефонной линии) $T_{st} = \frac{1}{\lambda} = \frac{15}{4} = 3,75$ минуты.

Среднее время пребывания заявки в системе $T_{sys} = \frac{1}{\lambda + \mu} = \frac{1}{4/15 + 5/12} = \frac{60}{41} \approx 1,46$ минуты.

Найдем, сколько телефонов должно быть в агентстве, чтобы относительная пропускная способность была не менее 0,75.

Рассмотрим случай с двумя телефонами. Имеем многоканальную (число каналов $k=2$) систему массового обслуживания с отказами.

Интенсивность входящего потока $\lambda = \frac{4}{15}$, интенсивность потока обслуживания $\mu = \frac{5}{12}$. Введем величину $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,64$ – приведенную интенсивность входящего потока. Тогда:

$$p_0 = \left(\sum_{i=0}^k \frac{\rho^i}{i!} \right)^{-1} = \left(\frac{0,64^0}{0!} + \frac{0,64^1}{1!} + \frac{0,64^2}{2!} \right)^{-1} \approx 0,542. \quad p_i = p_0 \frac{\rho^i}{i!},$$

Поэтому:

$$p_2 = 0,542 \frac{0,64^2}{2!} \approx 0,111.$$

Относительная пропускная способность $Q = 1 - p_2 = 1 - 0,111 = 0,889$.

Так как $0,889 > 0,75$, двух телефонов достаточно, чтобы обеспечить нужную пропускную способность системы.

Пример 3. В СКЦ в среднем поступает 12 заявок в час. Считая поток заказов простейшим, определить вероятность того, что: а) за 1 минуту не поступит ни одного заказа, б) за 10 минут поступит не более трех заказов.

Решение. Интенсивность потока заявок определится как $\lambda = 12/60 = 0,2$, т.е. 0,2 заявок в минуту.

Вероятность того, что в течение данного времени ($\tau = 1$ мин) не поступит ни одной заявки, равна:

$$P_0(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-0,2} \approx 0,819$$

Вероятность того, что за время $\tau = 10$ минут поступит не более трех заявок ($m \leq 3$) будет складываться из вероятностей того, что не поступит ни одной заявки, поступит одна, две или ровно три заявки.

$$P(m \leq 3) = \sum_{m=0}^3 \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau} = e^{-2} + 2e^{-2} + \frac{4}{2}e^{-2} + \frac{8}{6}e^{-2} = \frac{19}{3}e^{-2} = 0,8571$$

Пример 4. По телефонной линии на ГМСКЦ поступает в среднем 1, 2 телефонных вызовов в минуту. Средняя продолжительность разговора составляет 2 минуты. Найти основные характеристики С (как системы) и оценить эффективность ее работы.

Решение. По условию:

Входной поток заявок – простейший с интенсивностью λ :

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad t > 0, \quad \bar{t} = M[T] = \frac{1}{\lambda} = 1,2$$

Поток обслуживания заявок имеет интенсивность μ :

$$g(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}, \quad t > 0, \quad \bar{t}_{обс} = M[T_{обс}] = \frac{1}{\mu}$$

По условию $\lambda = 1,2 \text{ мин}^{-1}$, $\mu = 2 \text{ мин}^{-1}$, откуда $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,6$.

По формулам $p_{обс} = p_0 = \frac{1}{1+\rho}$ и $p_{отк} = p_1 = \frac{\rho}{1+\rho}$.

Находим $p_{обс} = 0,625$ и $p_{отк} = 0,375$.

Таким образом, ГМСКЦ обслуживает лишь 62,5 % звонков, что нельзя считать удовлетворительным.

Абсолютная пропускная способность ГМСКЦ

$$A = \lambda Q = \lambda p_{обс} = 1,2 \cdot 0,625 = 0,75 \text{ мин}^{-1},$$

т.е. в среднем обслуживается 0,75 звонка в минуту.

Выводы и предложения. Для оценки эффективности функционирования (работы) системы ГМСКЦ, как отдельного канала обслуживания, используется теория массового обслуживания.

Эффективность функционирования ГМСКЦ в условиях возникновения бедствий зависит от своевременности полученных заявок на поиск и спасение. Применение теории массового обслуживания к работе ГМСКЦ дает возможность определить основные характеристики ГМСКЦ, как системы, при решении задач поиска и спасения при бедствиях на море и оценить эффективность ее работы с точки зрения эксплуатации.

Данные показатели эффективности позволяют сформулировать требования к системе с двух противоположных точек зрения. Для того чтобы оценить систему с точки зрения потребителя система использует такие показатели, как максимальная пропускная способность системы и т.д. Для анализа системы с точки зрения эффективности ее эксплуатации используются: максимальный коэффициент загрузки системы, минимальные затраты на содержание системы. Необходимо проводить сравнение

показателей, что позволит определить оптимальные параметры системы; и рекомендовать наилучший вариант структуры системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная конвенция по поиску и спасению на море 1979 года. – Одесса : Издатинформ, 2006. – 35 с.
2. Международное морское право : учебное пособие / под ред. С. А. Гуреева. – М. : Юридическая литература, 2003. – 242 с.
3. Постановление Кабинета министров Украины № 584 от 14 августа 2013 года.
4. Ивченко Г. И. Теория массового обслуживания / Г. И. Ивченко, В. А. Каштанов, И. Н. Коваленко. – М., 2012. – 304 с.
5. Самаров К. Л. Математика. Элементы теории массового обслуживания / К. Л. Самаров. – М. : ООО «Резольвента», 2009. – 18 с.
6. Радченко Т. А. Теория массового обслуживания : уч. пособие / Т. А. Радченко, А. В. Дылевский. – Воронеж, 2004. – 57 с.
7. Новиков О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М. : Сов. радио, 1969. – 400 с.
8. Морозов В. В. Исследование операций в задачах и упражнениях / В. В. Морозов, А. Г. Сухарев, В. В. Федоров. – М. : Высшая школа, 1986. – 290 с.
9. Коваленко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Коваленко. – М. : Эдиториал, 2005. – 400 с.
10. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А. Я. Хинчин. – М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1963. – 236 с.

REFERENCES

1. Mezhdunarodnaya konvenciya po poisku i spaseniyu na more 1979 goda. – Odessa : Izdatinform, 2006. – 35 s.
2. Mezhdunarodnoe morskoe pravo : uchebnoe posobie / pod red. S. A. Gureeva. – M. : Yuridicheskaya literatura, 2003. – 242 s.
3. Postanovlenie Kabineta ministrov Ukrainih № 584 ot 14 avgusta 2013 goda.
4. Ivchenko G. I. Teoriya massovogo obsluzhivaniya / G. I. Ivchenko, V. A. Kashtanov, I. N. Kovalenko. – M., 2012. – 304 s.
5. Samarov K. L. Matematika. Ehlementih teorii massovogo obsluzhivaniya / K. L. Samarov. – M. : ООО «Rezoljventa», 2009. – 18 s.
6. Radchenko T. A. Teoriya massovogo obsluzhivaniya : uch. posobie / T. A. Radchenko, A. V. Dihlevskiy. – Voronezh, 2004. – 57 s.
7. Novikov O. A. Prikladnihe voprosih teorii massovogo obsluzhivaniya / O. A. Novikov, S. I. Petukhov. – M. : Sov. radio, 1969. – 400 s.
8. Morozov V. V. Issledovanie operacij v zadachakh i uprazhneniyakh / V. V. Morozov, A. G. Sukharev, V. V. Fedorov. – M. : Vihsshaya shkola, 1986. – 290 s.
9. Kovalenko B. V. Vvedenie v teoriyu massovogo obsluzhivaniya / B. V. Kovalenko. – M. : Ehditorial, 2005. – 400 s.
10. Khinchin A. Ya. Rabotih po matematicheskoyj teorii massovogo obsluzhivaniya / A. Ya. Khinchin. – M. : Gos. izd-vo fiziko-matematicheskoyj literaturih, 1963. – 236 s.

Годованюк С.П., Селіванов С.С. ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ МОРСЬКОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ ТА ПОРЯТУНКУ

У статті розглянута мета створення в Україні державного морської пошуково-рятувального центру (ДМРКЦ), розкрито основне завдання центру. Показано, що підвищення ефективності національної системи пошуку та порятунку України при порятунку на морі визначаються різними методами та методиками: підвищення ієрархічності; швидкодії системи при скороченні часу операції пошуку та порятунку (SAR) до рівня нижче періоду виживання людей; мінімізації відстані

від місць базування рятувальних суден до місця АП та евакуації врятованих до найближчого місця укриття; застосування методів управління груповим пошуком компетентними координаторами й операторами; маневрування судами пошуку і вибір ордера операції SAR. Одним з важливих критеріїв ефективності системи пошуку і порятунку є ефективність її обслуговування, а саме своєчасний прийом і передача повідомлень для координації пошуку і порятунку. У випадку аварійної ситуації (лиха) на морському судні обслуговування всіх вступників заявок на їх пошук і порятунок проводить ДМРКЦ. Проведена можливість оцінки ефективності функціонування (роботи) ДМРКЦ, як окремого каналу обслуговування, використовуючи теорію масового обслуговування. Математичний апарат теорії масового обслуговування дозволяє оцінити його ефективність системою заданого потоку заявок у залежності від характеристики потоку заявок, числа каналів обслуговування, продуктивності каналів і дисципліни обслуговування заявок. Оцінка ефективності функціонування (роботи) системи в результаті її обслуговування розглянута на ряді прикладів, використовуючи теорію масового обслуговування.

Ключові слова: державний морський пошуково-рятувальний центр, аварії на морі, пошук і порятунок, теорія масового обслуговування, оцінка ефективності системи.

Godovanyuk S. Selivanov S. USE QUEUING THEORY TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF NATIONAL MARITIME SEARCH AND RESCUE SYSTEM

The article describes the goal of creating a Ukrainian state marine search and rescue center (SMRCC), disclosed the main task of the center. It is shown that the efficiency of the national search and rescue system of Ukraine to the rescue at sea are determined by different methods and techniques: increasing hierarchy; system performance while reducing the operative time for Search and Rescue (SAR) to less than the period of survival of the people; minimize the distance from the home of rescue vessels to the site of AP and evacuation saved to the nearest shelter; application management group search for competent coordinators and operators; maneuvering by the courts and the choice of the search warrant operation SAR. One of the important criteria for the effectiveness of the search and rescue is the efficiency of its services, namely the timely transmission and reception of messages to coordinate search and rescue. In case of emergency (disasters) by ship service for all incoming requests for search and rescue carries SMRCC. Spend an opportunity to assess the effectiveness of the functioning (working) SMRCC as a separate service channel using queuing theory. The mathematical apparatus of queuing theory to evaluate the effectiveness of the service system of a given stream of applications, depending on the characteristics of the flow of requests, the number of service channels, channel capacity and service disciplines. Evaluating the effectiveness of the functioning (working) the system as a result of its services reviewed a number of examples using queuing theory.

Keywords: State Maritime Search and Rescue Center, an accident at sea, search and rescue, queuing theory, performance evaluation system.

© Годованюк С.П., Селіванов С.С.

Статтю прийнято
до редакції 07.11.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ МАЧТ НА СУДНЕ

Гусев В.Н., Селиванов С.Е.

Херсонская государственная морская академия

Анализ литературных источников показывает, что уже многие годы отечественные и зарубежные ученые, научно-исследовательские институты, конструкторские бюро занимались и занимаются теорией вибрации разных конструкций расположенных на судне, в частности вибрацией мачт. Изданы фундаментальные научные труды, разработаны виброшумозащитные конструкции и проведены эффективные организационные мероприятия по борьбе с вибрацией и шумом на судах. Вместе с тем, научно-исследовательских работ, посвященных теоретическим исследованиям функциональных измеряемых параметров вибрации мачты от одной или нескольких независимых переменных: время, частота, пространственная координата в группе независимых измерений вибрации мачты, особенно для мачт, изготовленных из разных материалов практически нет, что не позволяло вычислить для каждого сечения, максимальную величину модуля отклонения мачты от положения равновесия и вычислить интенсивность звука на разных расстояний от мачты. Определение интенсивности звука на разных расстояниях от мачты способствует знанию опасных зон влияющих на здоровье экипажа. Таким образом обеспечение безопасности человека на море было и остается важнейшей проблемой судоходства, а, поэтому, дальнейшее исследование вибрации, шума и снижение акустической нагрузки судна в рабочей зоне на морских судах является актуальной научно-технической задачей, решение которой обуславливает научную основу расширения сферы ее применения на судах. Целью исследования является определение интенсивности звука, которая распространяется от вибрирующих мачт из разных материалов. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующую задачу – провести теоретические исследования вибрации, вынужденных колебаний мачт изготовленных из стали, стеклопластика, дерева и интенсивности звука при разных частотах вынужденных колебаний на определенных расстояниях от них. Результаты работы показали, что величина интенсивности звукового поля при всех частотах вынужденных колебаний уменьшается с ростом расстояния от всех мачт (сталь, стеклопластик, сосна). Амплитуды гармонических колебаний при фиксированной частоте и времени возрастают по мере роста сечения мачты. Существенно большей амплитудой колебаний обладает мачта: сосна – стеклопластик – сталь, а следовательно, величина интенсивности для мачты из стали заметно меньше, чем из сосны, стеклопластика.

Ключевые слова: *стержень – мачта, амплитуда, колебания, вибрация, интенсивность, звуковое поле.*

Введение. Многие колебательные процессы, происходящие в механических системах, называют вибрациями. Общепринятого определения, точно выделяющего вибрацию среди других механических колебаний, нет. Очень часто термины «вибрация» и «механические колебания» являются синонимами [1].

В английском языке «vibration» – эквивалент понятия механических колебаний.

Поскольку вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле, то это колеблющееся тело, соприкасаясь с окружающей средой (воздухом) образует звуковые волны. При распространении звуковой волны происходит перенос кинетической энергии, которая определяется интенсивностью звука. Пространство, в котором звуковые волны свободно распространяются, не встречая отражающих поверхностей, называется свободным акустическим полем. Любая точка звукового поля характеризуется определенным давлением и скоростью частиц воздуха.

Распространяющееся звуковое поле от вибрации конструкций оказывает влияние на общий шум на судне и соответственно на экипаж [2, 3, 4, 5].

Известно, что источники вибрации на судне в основном создаются главными двигателями, дизель генераторами и гребными винтами [6].

При работе гребных винтов, которые непосредственно вызывают вибрацию корпуса судна – общую вибрацию. Общая вибрация, в свою очередь, является источником местной вибрации.

Местная вибрация узлов и конструкций это: вибрация конструктивных узлов; вибрация фундаментов различного типа; вибрация выступающих частей.

К источнику вибрации выступающих частей относятся мачты и др.

Анализ литературных источников показывает, что уже многие годы отечественные и зарубежные ученые, научно-исследовательские институты, конструкторские бюро занимались и занимаются теорией вибрации разных конструкций расположенных на судне, в частности вибрацией мачт [7]. Изданы фундаментальные научные труды [8], разработаны виброшумозащитные конструкции [9] и проведены эффективные технические мероприятия по борьбе с вибрацией и шумом на судах [10].

Вместе с тем, научно-исследовательских работ, посвященных теоретическим исследованиям функциональных измеряемых параметров вибрации мачты от одной или нескольких независимых переменных: время, частота, пространственная координата в группе независимых измерений вибрации мачты, особенно для мачт, изготовленных из разных материалов практически нет, что не позволяло вычислить для каждого сечения, максимальную величину модуля отклонения мачты от положения равновесия и вычислить интенсивность звука на разных расстояний от мачты. Определение интенсивности звука на разных расстояниях от мачты способствует знанию опасных зон влияющих на здоровье экипажа.

Таким образом, обеспечение безопасности человека на море было и остается важнейшей проблемой судоходства, и поэтому дальнейшее исследование вибрации, шума и снижение акустической нагрузки судна в рабочей зоне на морских судах является **актуальной** научно-технической задачей, решение которой обуславливает научную основу расширения сферы ее применения на судах.

Целью исследования является определение интенсивности звука, которая распространяется от вибрирующих мачт из разных материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующую **задачу** – провести теоретические исследования вибрации, вынужденных колебаний мачт изготовленных из стали, стеклопластика, дерева и интенсивности звука при разных частотах вынужденных колебаний на определенных расстояниях от них.

Основная часть. В качестве прототипа для исследования вибрации мачты взята топовая мачта, которая испытывает наибольшую вибрацию под воздействием общей вибрации судна

Предположим, что мачта представляет собой стержень (цилиндр) который совершает малые гармонические колебания (вибрации) в направлении, перпендикулярном его оси. При этом возникает стационарное звуковое поле.

В условиях свободного звукового поля интенсивность звука I измеряется средним количеством звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к направлению распространения звука:

$$I = \frac{|p|^2}{2\rho_0 a}, \quad (1)$$

где p – мгновенное значение звукового давление, Па; ρ_0 – плотность невозмущенной среды вокруг мачты (воздуха), кг/м³; a – скорость звука в данной среде, м/с.

Следуя сценарию, описанному у Кошлякова [11] получим:

$$I = \frac{D^2}{\pi \omega \rho_0 r} \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где

$$D = \frac{\pi \omega^3 r_0^2 B \rho_0}{2a}, \quad (3)$$

где ω – частота вынужденных колебаний, r_0 – радиус мачты, r – расстояние от мачты до точки наблюдений, B – амплитуда малых гармонических колебаний (вибрации мачты).

Положим $\varphi = 0$ чтобы получить интенсивность в плоскости колебания.

Подставляя (3) в (2) получаем, что поток энергии в звуковом поле колеблющейся мачты убывает пропорционально первой степени расстояния и быстро падает с уменьшением поперечника мачты и частоты.

Отметим, что для колеблющейся мачты каждое сечение по оси абсцисс x колеблется в момент времени t , а ее амплитуда – это ордината $y(x, t)$.

Для каждого сечения по x мачты максимальная величина модуля отклонения мачты от положения равновесия определится как:

$$y(x) = \max |y(x, t)|, \quad (4)$$

$$0 \leq t \leq T.$$

Тогда величина среднего модуля максимального отклонения по x :

$$B = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx \quad (5)$$

Учитывая, что величина отклонений $y(x)$ есть медленно меняющаяся функция x , величину B , определяемую формулой (5) можно использовать для приближенных вычислений по формулам (2), (3).

Для этого надо определить амплитуду вынужденных колебаний мачты (в виде кругового цилиндра) $y(x, t)$ под действием гармонической силы частоты ω .

В работе [12] нами рассмотрена теоретическая задача определения амплитуды вынужденных поперечных колебаний стержня (мачты), который совершает малые гармонические колебания (вибрации) в направлении, перпендикулярном его оси.

Получено:

$$y(x, t) = P_1 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m}{\omega_m} \left[\frac{\omega_m \sin \omega t - \omega \sin \omega_m t}{\omega_m^2 - \omega^2} \right] X_m(x), \quad (6)$$

где $P_1 = \frac{P}{\rho S}$, ρ – объемная плотность материала, S – площадь поперечного сечения;

$$A_m = \frac{\frac{1}{k_m} [\alpha_m (sh \mu_m - \sin \mu_m) + \beta_m (ch \mu_m + \cos \mu_m - 2)]}{\int_0^l X_m^2(x) dx}$$

$\alpha_m = sh \mu_m + \sin \mu_m$, $\beta_m = -(ch \mu_m + \cos \mu_m)$; $k_m = \frac{\mu_m}{l}$, где μ_m – найденное значение корня уравнения, l – длина мачты, c – частота собственных колебаний цилиндра (мачты);

$b = \sqrt{\frac{EI}{\rho S}}$, где E – модуль упругости материала, I – момент инерции цилиндра;

$$X_m(x) = \alpha_m(chk_mx - \cos k_mx) + \beta_m(shk_mx - \sin k_mx)$$

Дальнейшие расчеты проведем для топовой мачты с параметрами: $l = 11,5$ м, $r_o = 0,1375$ м. При этом рассмотрим три случая – мачта из стали, стеклопластика и из дерева. Для стали $\rho = 7850$ кг/м³, модуль Юнга $E = 210$ ГПа; для стеклопластика $\rho = 1900$ кг/м³, $E = 35$ ГПа; для дерева $\rho = 505$ кг/м³, $E = 12,8$ ГПа.

Воспользовавшись формулами (2), (3) проведем серию расчетов оценки интенсивности звуковых колебаний I при разных частотах внешнего воздействия ($\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$) и для разных расстояний от мачты $r = 2,5 \div 5$ с интервалом 0,5 м.

Частоты $\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$ взяты с учетом того, что период колебания судна с нормальной метацентрической высотой составляет от 9–15 с. (метацентрическая высота – критерий остойчивости судна. Представляет собой возвышение метацентра над центром тяжести плавающего тела, чем больше этот параметр, тем выше начальная остойчивость судна) [13].

Все расчеты и дальнейшее построение графиков провели в среде Mathcad 15.

Результаты расчетов интенсивность звука I для мачт изготовленных из стали, стеклопластика и дерева при разных частотах вынужденных колебаний ω и для разных расстояний от мачты приведены в табл. 1, 2, 3.

Таблица 1 – Интенсивность звуковых колебаний I при частотах вынужденных колебаний $\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$ и на расстояниях $r = 2,5 \div 5$ от мачты изготовленной из стали (длина мачты – 11,5 м, радиус мачты – 0,1375 м, материал – Сталь)

г, м	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I для $\omega=1/15$	$2,405 \cdot 10^{-14}$	$2,004 \cdot 10^{-14}$	$1,718 \cdot 10^{-14}$	$1,503 \cdot 10^{-14}$	$1,336 \cdot 10^{-14}$	$1,203 \cdot 10^{-14}$
I для $\omega=1/12$	$1,372 \cdot 10^{-13}$	$1,144 \cdot 10^{-13}$	$9,801 \cdot 10^{-14}$	$8,574 \cdot 10^{-14}$	$7,622 \cdot 10^{-14}$	$6,86 \cdot 10^{-14}$
I для $\omega=1/9$	$4,387 \cdot 10^{-12}$	$3,656 \cdot 10^{-12}$	$3,133 \cdot 10^{-12}$	$2,742 \cdot 10^{-12}$	$2,437 \cdot 10^{-12}$	$2,193 \cdot 10^{-12}$

Таблица 2 – Интенсивность звуковых колебаний I при частотах вынужденных колебаний $\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$ и на расстояниях $r = 2,5 \div 5$ от мачты изготовленной из стеклопластика (длина мачты – 11,5 м, радиус мачты 0,1375 м, материал – стеклопластик)

г, м	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I для $\omega=1/15$	$9,796 \cdot 10^{-12}$	$8,161 \cdot 10^{-12}$	$6,998 \cdot 10^{-12}$	$6,12 \cdot 10^{-12}$	$5,443 \cdot 10^{-12}$	$4,897 \cdot 10^{-12}$
I для $\omega=1/12$	$6,49 \cdot 10^{-12}$	$5,406 \cdot 10^{-12}$	$4,636 \cdot 10^{-12}$	$4,056 \cdot 10^{-12}$	$3,605 \cdot 10^{-12}$	$3,245 \cdot 10^{-12}$
I для $\omega=1/9$	$7,595 \cdot 10^{-12}$	$6,331 \cdot 10^{-12}$	$5,427 \cdot 10^{-12}$	$4,748 \cdot 10^{-12}$	$4,22 \cdot 10^{-12}$	$3,798 \cdot 10^{-12}$

Таблица 3 – Интенсивность звуковых колебаний I при частотах вынужденных колебаний $\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$ и на расстояниях $r = 2,5 \div 5$ от мачты изготовленной из дерева – сосны (длина мачты – 11,5 м, радиус мачты 0,1375 м, материал – сосна)

r , м	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I для $\omega=1/15$	$1,739 \cdot 10^{-11}$	$1,445 \cdot 10^{-11}$	$1,239 \cdot 10^{-11}$	$1,084 \cdot 10^{-11}$	$9,632 \cdot 10^{-12}$	$8,669 \cdot 10^{-12}$
I для $\omega=1/12$	$2,43 \cdot 10^{-11}$	$2,025 \cdot 10^{-11}$	$1,735 \cdot 10^{-11}$	$1,519 \cdot 10^{-11}$	$1,35 \cdot 10^{-11}$	$1,215 \cdot 10^{-11}$
I для $\omega=1/9$	$3,964 \cdot 10^{-11}$	$3,303 \cdot 10^{-11}$	$2,831 \cdot 10^{-11}$	$2,477 \cdot 10^{-11}$	$2,202 \cdot 10^{-11}$	$1,982 \cdot 10^{-11}$

Результаты, приведенные в табл. 1, 2, 3 показали, что величина интенсивности звука для мачты изготовленной из стали заметно меньше, чем для мачты изготовленной из стеклопластика и еще меньше чем для мачты изготовленной из дерева – сосны. Это объясняется существенно меньшей амплитудой колебаний мачты, изготовленной из стали, чем изготовленной из стеклопластика и дерева – сосны. Интенсивность звука (звукового поля) при всех частотах вынужденных колебаний уменьшается с ростом расстояния от всех мачт (сталь, стеклопластик, сосна).

Далее вычислялись зависимости от времени отклонений $y(x, t)$ для трех различных сечений мачты $x = 2$ м, $x = 5$ м, $x = 11$ м изготовленных из стали, стеклопластика и дерева при разных частотах $\omega_1 = 1/15$, $\omega_2 = 1/12$, $\omega_3 = 1/9$: рис. 1–3 материал – сталь; рис. 3–6 – материал – стеклопластик; рис. 6–9 – материал – дерево (сосна).

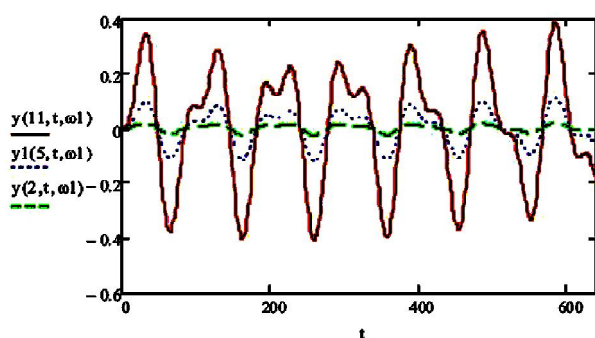


Рисунок 1 – Сталь – частота $\omega=1/15$

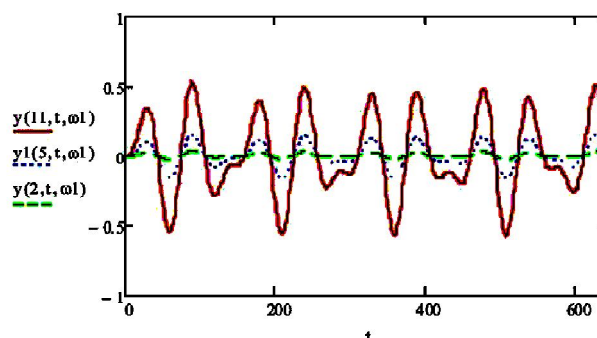


Рисунок 2 Сталь – частота $\omega=1/12$

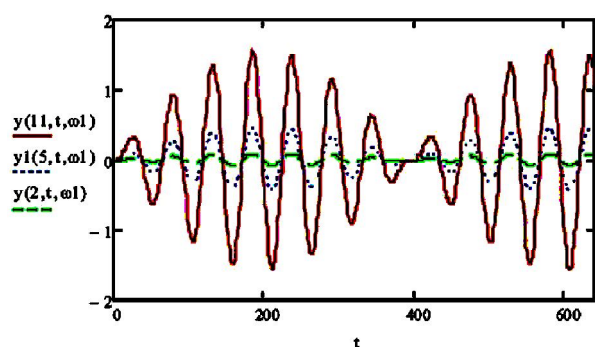


Рисунок 3 – Сталь – частота $\omega=1/9$

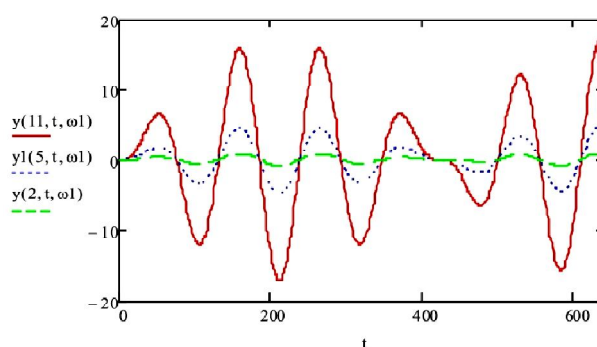
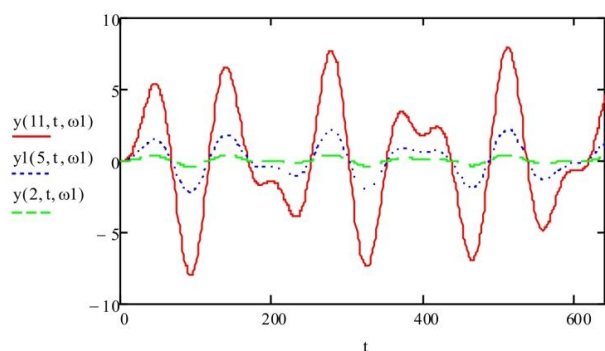
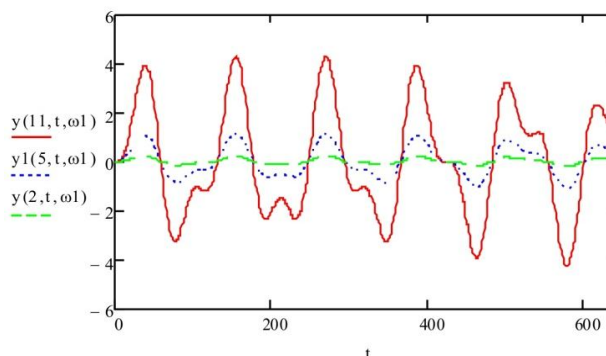
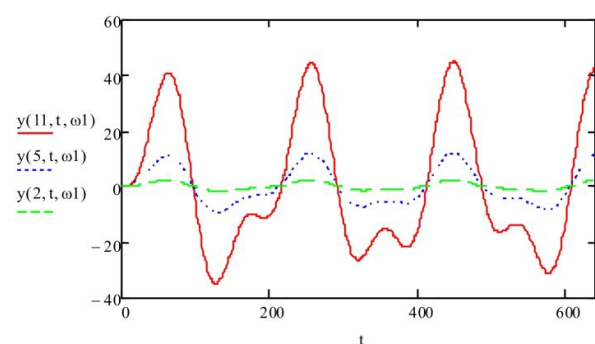
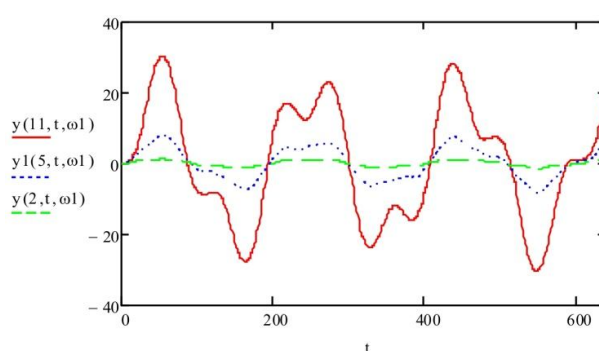
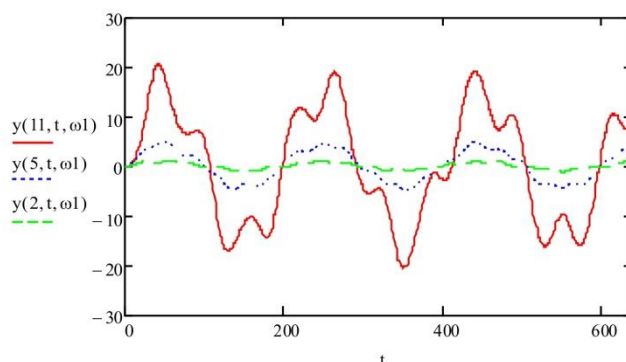


Рисунок 4 – Стеклопластик – частота $\omega=1/15$


 Рисунок 5 – Склопластик – частота $\omega=1/12$

 Рисунок 6 – Склопластик – частота $\omega=1/9$

 Рисунок 7 – Сосна частота $\omega=1/15$

 Рисунок 8 – Сосна частоти $\omega=1/12$

 Рисунок 9 – Сосна частота $\omega=1/9$

Амплітуда гармонічних коливань при фіксованій частоті і часі (рис. 1–9) зростає по мірі росту сечення мачти $x=2$ м, $x=5$ м, $x=11$ м і зменшується з зменшенням частоти ω для мачт із склопластика і сосни, але для мачт із сталі (рис. 1, 2, 3) така залежність не спостерігається. Очевидно, це можна пояснити суттєвим відмінням параметрів щільності, модуля Юнга для сталі, від тих же параметрів для склопластика і сосни. Тому, загальна картина виявляється дещо іншою. Якщо для склопластика і сосни при зміні частоти від $\omega_1=1/15$, $\omega_2=1/12$, $\omega_3=1/9$ відбувається зниження середнього рівня амплітуди в 3–4 рази, то для сталі відбувається навіть деяке збільшення середньої амплітуди до 2 раз і при цьому для $\omega=1/9$ відбувається модуляція коливань, в якому-то сенсі, аналогічна модуляції коливань в разі склопластика або сосни при $\omega_1=1/15$. Ці явища викликані: по-перше, як ми вказали, різними параметрами сталі від склопластика, сосни і, по-друге, резонансним характером коливань.

Висновки. Розглянута теоретична задача визначення амплітуди примусових поперечних коливань стержня (мачти), який виконує малі

гармонические колебания (вибрации) в направлении, перпендикулярном его оси дала возможность вычислить для каждого сечения мачты максимальную величину модуля отклонения мачты от положения равновесия и вычислить интенсивность звука на разных расстояниях от мачты.

Определение интенсивности звука на разных расстояниях от мачты, способствовало знанию опасных зон и уровней вибрационной и акустической нагрузки в рабочей зоне на морском судне, влияющих на здоровье экипажа.

Результаты работы показали, что величина интенсивности звука (звукового поля) для мачты изготовленной из стали заметно меньше, чем для мачты изготовленной из стеклопластика и еще меньше чем для мачты изготовленной из дерева – сосны. Это объясняется существенно меньшей амплитудой колебаний мачты изготовленной из стали, чем изготовленной из стеклопластика и дерева – сосны.

Амплитуды гармонических колебаний при фиксированной частоте и времени возрастают по мере роста сечения мачты и уменьшается с уменьшением частоты для мачт из стеклопластика и сосны, но для мачты из стали такая зависимость не соблюдается.

Величина интенсивности звукового поля при всех частотах вынужденных колебаний уменьшается с ростом расстояния от мачт изготовленных из стали, стеклопластика, дерева – сосны.

К замечанию можно отнести, что величины $y(x, t)$ выражены в некоторых относительных единицах. В дальнейших расчетах это будет учтено.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иориш Ю. И. Виброметрия. (Измерение вибрации и ударов. Общая теория, методы и приборы.) / Ю. И. Иориш. – М. : Гос. нау.-тех. издат. маш. лит., 1963. – 722 с.
2. Уровни шума на морских судах : СН 2.5.2.047-96 [Действующий с 21.02.1996]. – М., 1996. – 10 с.
3. Уровни вибрации на морских судах: СН 2.5.2.048-96 – [Действующий с 21.02.1996]. – М., 1996. – 10 с.
4. Санитарные нормы шума на морских судах : СанПиН 2498-81 (ДНАОП 003-3.10-81). – [Действующий с 1.12.1981]. – М., 1981.
5. Кодекс по уровням шума на судах : Резолюция А.486(XII) ИМО, 1981. – 33 с.
6. Гаврилов М. Н. Вибрация на судне / М. Н. Гаврилов. – М. : Из-дат «Транспорт», 1970. – 127 с.
7. Справочник по строительной механике корабля. Т.3. / Под общей редакцией Ю.А. Шиманского. – Л. : Гос. союз. издат. судостроит. промыш., 1960. – 800 с.
8. Крылов А. Н. Собрание трудов. Вибрация судов. / А. Н. Крылов. – М. – Л. : Изд. АН СССР, 1948. – 402 с.
9. Барановский А. М. Теоретические основы эффективной виброизоляции на судах : дис. док. наук. / А. М. Барановский. – Новосибирск, 2000. – 316 с.
10. Изак Г. Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г. Д. Изак, Э. А. Гомзилов – М. : Транспорт, 1987. – 303 с.
11. Кошляков Н. С. Уравнения в частных производных математической физики / Н. С. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов. – М. : Высшая школа, 1970. – 712 с.
12. Гусев В. Н. Вибрация вынужденных колебаний мачты / В. Н. Гусев, С. Е. Селиванов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2015. – № 1 (12). – С. 178-190.
13. Теория корабля. Техническая энциклопедия. – М. : Изд. «Совет. Энциклопедия». – 850 с.

REFERENCES

1. Iorish Yu. I. Vibrometriya. (Izmerenie vibracii i udarov. Obthaya teoriya, metodih i priborih.) / Yu. I. Iorish. – M. : Gos. nau.-tekh. izdat. mash. lit., 1963. – 722 s.

2. Urovni shuma na morskikh sudakh : SN 2.5.2.047-96 [Deyjstvuyuthiy s 21.02.1996]. – M., 1996. – 10 s.
3. Urovni vibracii na morskikh sudakh: SN 2.5.2.048-96 – [Deyjstvuyuthiy s 21.02.1996]. – M., 1996. – 10 s.
4. Sanitarniye normi shuma na morskikh sudakh : SanPiN 2498-81 (DNAOP 003-3.10-81). – [Deyjstvuyuthiy s 1.12.1981]. – M., 1981.
5. Kodeks po urovnyam shuma na sudakh : Rezolyuciya A.486(XII) IMO, 1981. – 33 s.
6. Gavrilov M. N. Vibraciya na sudne / M. N. Gavrilov. – M. : Iz-dat «Transport», 1970. – 127 s.
7. Spravochnik po stroitel'noy mekhanike korablya. T.3. / Pod obtheyj redakciey Yu.A. Shimanskogo. – L. : Gos. soyuz. izdat. sudostroit. promishl, 1960. – 800 s.
8. Krihlov A. N. Sobranie trudov. Vibraciya sudov. / A. N. Krihlov. – M. – L. : Izd. AN SSSR, 1948. – 402 s.
9. Baranovskiy A. M. Teoreticheskie osnovi ehffektivnoy vibroizolyacii na sudakh : dis. dok. nauk. / A. M. Baranovskiy. – Novosibirsk, 2000. – 316 s.
10. Izak G. D. Shum na sudakh i metodih ego umenjsheniya / G. D. Izak, Eh. A. Gomzikov – M. : Transport, 1987. – 303 s.
11. Koshlyakov N. S. Uravneniya v chastnikh proizvodnikh matematicheskoy fiziki / N. S. Koshlyakov, Eh. B. Gliner, M. M. Smirnov. – M. : Vihsshaya shkola, 1970. – 712 s.
12. Gusev V. N. Vibraciya vhnuzhdeniikh kolebaniy machtih / V. N. Gusev, S. E. Selivanov // Naukoviy visnik Khersons'koї derzhavnoї mors'koї akademії : naukoviy zhurnal. – Kherson : Vidavnistvo KhDMA, 2015. – № 1 (12). – S. 178-190.
13. Teoriya korablya. Tekhnicheskaya ehnciklopediya. – M. : Izd. «Sovet. Ehnciklopediya». – 850 s.

Гусєв В.М., Сєлїванов С.Є. ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА РІЗНИХ ВІДСТАНЯХ ВІД ЦОГЛ НА СУДНІ.

Аналіз літературних джерел показує, що вже багато років вітчизняні та зарубіжні вчені, науково-дослідні інститути, конструкторські бюро займалися та займаються теорією вібрації різних конструкцій, що розташовані на судні, зокрема вібрацією цюгл. Видано фундаментальні наукові праці, розроблені віброшумозахисні конструкції та проведені ефективні організаційні заходи щодо боротьби з вібрацією і шумом на судах. Разом з тим, науково-дослідних робіт, присвячених теоретичним дослідженням функціональних вимірюваних параметрів вібрації цюгли від однієї або декількох незалежних змінних: час, частота, просторова координата в групі незалежних вимірювань вібрації цюгли, особливо для цюгл, виготовлених з різних матеріалів практично немає, що не дозволяло обчислити для кожного перетину, максимальну величину модуля відхилення цюгли від положення рівноваги і обчислити інтенсивність звуку на різних відстаней від цюгли. Визначення інтенсивності звуку на різних відстанях від цюгли сприяє знанню небезпечних зон, які впливають на здоров'я екіпажу. Таким чином, забезпечення безпеки людини на морі було та залишається найважливішою проблемою судноплавства, і тому, подальше дослідження вібрації, шуму і зниження акустичного навантаження судна в робочій зоні на морських судах є актуальною науково-технічною задачею, рішення якої зумовлює наукову основу розширення сфери її застосування на судах. Метою дослідження є визначення інтенсивності звуку, яка поширюється від вібруючих цюгл із різних матеріалів. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступну задачу: провести теоретичні дослідження вібрації, вимушених коливань цюгл виготовлених зі сталі, склопластику, дерева та інтенсивності звуку при різних частотах вимушених коливань на певних відстанях від них. Результати роботи показали, що величина інтенсивності звукового поля при всіх частотах вимушених коливань зменшується із зростанням відстані від усіх цюгл (сталь, склопластик, сосна). Амплітуди гармонійних коливань при фіксованій частоті та часу зростають у мірі зростання перетину цюгли. Істотно більшою амплітудою коливань володіє цюгла: сосна – склопластик – сталь, а отже, величина інтенсивності для цюгли з сталі помітно менше, ніж з сосни, склопластику.

Ключові слова: стрижень, цюгла, амплітуда, коливання, вібрація, інтенсивність, звукове поле.

Gusev V.N., Selivanov S.E. CERTAIN INTENSITY SOUND FIELD AT VARIOUS DISTANCES FROM MAST OF A BOAT

An analysis of the literature shows that for many years the domestic and foreign scientists, research institutes, design bureaus have been engaged in the theory of vibration of different designs on the ship, in particular mast vibration. Published fundamental scientific works, designed and conducted vibronoise protection design effective organizational measures to combat noise and vibration on ships. However, research works on theoretical studies of functional parameters measured vibration of the mast from one or more independent variables: time, frequency, spatial coordinate in a group of independent measurements of vibration of the mast, especially for masts, made of different materials, there is little, it is not It allows to calculate, for each section, the maximum value of the modulus mast deflection from the equilibrium position, and calculate the intensity of the sound at different distances from the mast. Determination of sound intensity at different distances from the mast contributes to the knowledge of hazardous areas affecting the health of the crew. Thus, human safety at sea has been and remains the most important problem of navigation and, therefore, further study of vibration, noise and reduced acoustic load vessel in the work area on ships is an actual scientific and technical task that causes a scientific basis to expand its use on board ships. The aim of the study is to determine the intensity of the sound, which extends from the vibrating poles of different materials. To achieve this goal it was necessary to solve the following problem – to carry out theoretical research of vibration – forced oscillations masts made of steel, fiberglass, wood and intensity of sound at different frequencies forced vibrations at certain distances from them. The results showed that the value of the intensity of the sound field at all frequencies of forced oscillations decreases with increasing distance from all masts (steel, fiberglass, pine). The amplitudes of the harmonic oscillations at a fixed frequency and time increases with the cross section of the mast. Significantly larger amplitude vibrations has a mast pine – fiberglass – steel and, therefore, the value of the intensity of the mast of steel noticeably smaller than pine, fiberglass.

Keywords: rod, mast, the amplitude of the fluctuations, vibration intensity, the sound field.

© Гусєв В.М., Селіванов С.С.

Статтю прийнято
до редакції 07.11.2015

УДК 629.5.01

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МИДЕЛЕВОГО СЕЧЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СУХОГРУЗА НА ВЕСОВУЮ НАГРУЗКУ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДОВ

Панкова О.В.

*Национальный университет кораблестроения
имени адмирала С. О. Макарова, г. Николаев*

Обсуждается влияние выбора миделевого сечения универсального сухогруза на весовую нагрузку при проектировании судов. Так как миделевое сечение оказывает существенное влияние на весовую нагрузку судна. Следовательно, проработка выбора миделевого сечения играет важную роль при проектировании судов.

Задачи исследования – проработка выбора миделевого сечения универсального сухогруза дедвейтом 9800 тонн.

Алгоритм проработки миделевого сечения включает в себя определение и сравнения статических моментов разных типов сечений и соответствие величины высоты борта Правилам Регистра. Результаты исследований рекомендованы для специалистов в области проектирования судов, аспирантов и студентов старших курсов кораблестроительного факультета.

Ключевые слова: миделевое сечение, универсальный сухогруз, дедвейт, статический момент, весовая нагрузка.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Одно из наиболее важных требований, предъявляемых к конструкции корпуса любого судна, – обеспечение прочности при минимальном весе. Выполнение этого требования особенно важно при проектировании универсальных сухогрузных судов, грузоподъемность которых, как правило, всегда используется полностью, поэтому даже небольшое ее увеличение в результате облегчения корпуса приведет к ощутимому возрастанию провозоспособности.

Анализ последних исследований и публикаций. При выбранном материале вес корпуса, как известно, в большой мере зависит от величины перерезывающей силы и изгибающего момента, на восприятие которых рассчитан корпус, и от распределения материала по поперечному сечению корпуса. Величины перерезывающей силы и изгибающего момента, при прочих равных условиях, зависят от распределения груза по длине. На большинстве транспортных судов распределение груза по длине неизменно, независимо от его рода. Следовательно, при проектировании судов практически невозможно оказать какое-нибудь существенное влияние на величину перерезывающей силы и изгибающего момента, изменяя распределение груза по длине, а следовательно и добиться таким путем облегчения корпуса. Усовершенствование конструкции достигается в результате такого распределения материала по поперечному сечению корпуса, при котором прочностные свойства материала используются с наибольшей эффективностью [1–5].

Цель статьи – проанализировать влияние выбора миделевого сечения универсального сухогрузного судна на весовую нагрузку.

Объект исследования. В качестве объекта исследования рассматривается проектирование судна с учетом его мореходных качеств.

Предмет исследования – миделевое сечение универсального сухогруза дедвейтом 9800 тонн.

Задачи – проработка выбора миделевого сечения универсального сухогруза дедвейтом 9800 тонн.

Методы исследования. Анализ влияния миделевого сечения на весовую нагрузку сопряжен с методами теории и проектирования судов.

Изложение основного материала. Корпус судна представляет собой сложное инженерное сооружение, которое в процессе эксплуатации постоянно подвергается деформации, особенно при плавании на волнении.

При прохождении вершины волны через середину судна корпус испытывает растяжение, при одновременном попадании носовой и кормовой оконечностей на гребни волн корпус испытывает сжатие. Возникает деформация общего изгиба, в результате чего судно может переломиться.

Способность судна сопротивляться общему изгибу называется общей продольной прочностью. Внешние силы, действуя непосредственно на отдельные элементы судового корпуса, вызывают их местную деформацию. Поэтому корпус судна должен также обладать местной прочностью.

Детально остановимся на проработке выбора миделевого сечения универсального сухогруза дедвейтом 9800 тонн.

Рассмотрим два типа сечений (рис. 1):

- предлагаемый Sea Tech, классический вариант – левый эскиз.
- предлагаемый вариант со сплошным стрингером – правый эскиз.

Вариант Sea Tech

Предлагаемый вариант

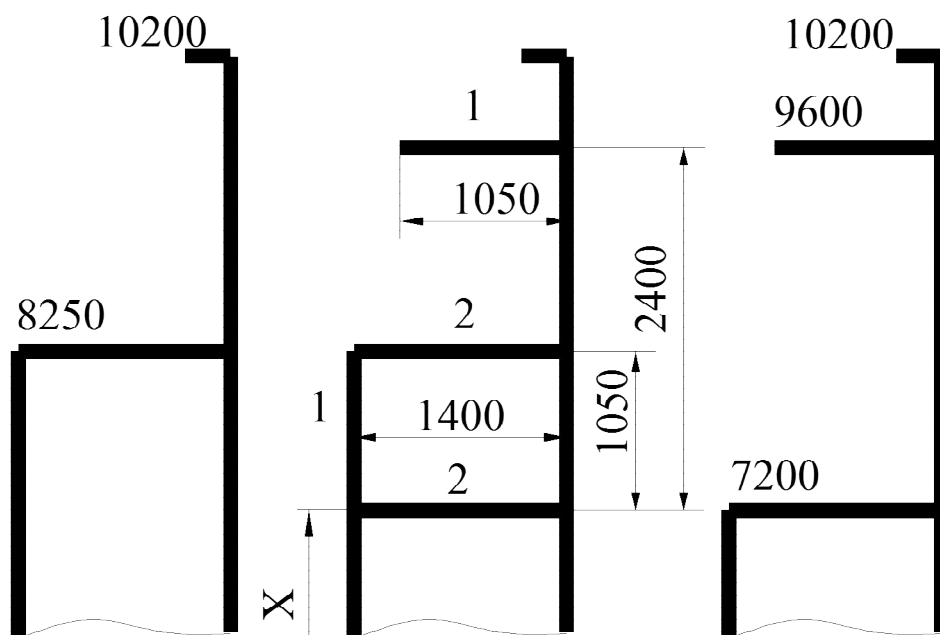


Рисунок 1 – Типы сечений – классический вариант сечения Sea Tech и сечение со сплошным стрингером

В двух предлагаемых вариантах принята осадка по летнюю грузовую марку (ЛГМ) [6–10]. Данная осадка по летнюю грузовую марку соответствует минимальному надводному борту – 5,4 м.

В предлагаемом варианте учитывается сплошной комингс. Рассмотрим статические моменты разницы сечений – это элементы 1 и 2 (рис. 1).

Для варианта поперечного сечения Sea Tech найдем статический момент борта и статический момент палубы:

- статический момент борта:

$$S_1 = t \cdot l = 1,05t(x + 1,05/2) = 1,05tx + 0,55t, \quad (1)$$

где t – толщина связи; l – расстояние до нейтральной оси;

- статический момент палубы:

$$S_2 = t \cdot l = 1,4t(x + 1,05) = 1,4tx + 1,47t. \quad (2)$$

Суммарный статический момент:

$$S = S_1 + S_2 = 1,45tx + 2,02t. \quad (3)$$

Для предлагаемого варианта поперечного сечения судна:

– статический момент стрингера:

$$S_1 = t \cdot l = 1,05t(x + 2,4) = 1,05tx + 2,52t, \quad (4)$$

– статический момент палубы:

$$S_2 = t \cdot l = 1,4tx. \quad (5)$$

Суммарный статический момент:

$$S = S_1 + S_2 = 1,45tx + 2,52t. \quad (6)$$

Исходя из расчетов, видно, что статический момент миделевого сечения предлагаемого варианта больше, а значит больше и момент инерции и момент сопротивления.

В соответствии с Правилами Германского Ллойда (GL) – область распространения – высота борта должна быть не менее $L/16$ для судов неограниченного и среднего районов плавания:

$$H \geq L/16 = 9, \quad (7)$$

где H – высота борта.

В предлагаемом варианте, если принять сплошной стрингер, как верхнюю палубу, то мы выполняем требование Германского Ллойда:

$$H = 9,6 > 9. \quad (8)$$

В варианте с миделевым сечением типа Sea Tech:

$$H = 8,25 < 9. \quad (9)$$

Выводы. Статический момент миделевого сечения предлагаемого варианта больше, а значит больше и момент инерции и момент сопротивления. Это позволит уменьшить толщины связей в предлагаемом варианте, и как следствие, уменьшить вес корпуса.

Перспективы дальнейших исследований состоят в дальнейшей оценке влияния выбора миделевого сечения на мореходные качества судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик В. В. Проектирование судов [Текст] / В. В. Ашик. – Л. : Судостроение, 1980. – 320 с.
2. Барановский М. Е. Суда для перевозки навалочный грузов [Текст] / М. Е. Барановский. – Л. : Судостроение, 1967. – 256 с.
3. Бронников А. В. Морские транспортные суда [Текст] / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1984. – 352 с.
4. Бронников А. В. Проектирование судов [Текст] / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1991. – 320 с.
5. Поздунин В. Л. Теория проектирования судов [Текст] / В. Л. Поздунин. – Л. : ЛКИ, 1938. – Вып. I, II.

6. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр Судоходства [Текст]. – СПб., 2012. – Т. 1. – 489 с.
7. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України [Текст]. – К., 2002. – Т. 1. – 362 с.; Т. 2. – 400 с.
8. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України [Текст]. – К., 2003. – С. 110–206.
9. Правила про вантажну марку морських суден [Текст]. – К. : Миколаїв УДМТУ, 2002.
10. Rules for Building and Classing Steel Vessels. – [Text] / American Bureau of Shipping. – Texas, 2012.

REFERENCES

1. Ashik V. V. Proektyrovanie sudov [Ship design]. L, Shipbuilding, 1980, 320 p.
2. Baranovskiy M. Ye. Suda dlia perevozky navalochnih gruzov [Bulk-carrier ships]. – L, Shipbuilding, 1967, 256 p.
3. Bronnikov A. V Morskiye transportnyye suda [Sea cargo ships]. L, Shipbuilding, 1984, 352 p.
4. Bronnikov A. V. Proektirovaniye sudov [Ship design]. L, Shipbuilding, 1991, 320 p.
5. Pozdyunin V. L. Teoriya proektirovaniya sudov [Theory of ship design]. LKI, 1938, issue I, II.
6. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Rossiyskiy Morskoy Registr Sudokhodstva [Rules of classification and building of sea vessels. Shipbuilding Russian Marine Register]. SPb, 2012, Vol. 1, 489 p.
7. Pravyla klasyfikatsiyi ta pobudovy morskyykh suden. Rehistr sudnoplavstva Ukrayiny [Rules of classification and building of sea vessels. Ukrainian Shipbuilding Register]. K, 2002, Vol. 1, 362 p; Vol. 2, 400 p.
8. Pravyla pro vantazhnu marku morskyykh suden. Rehistr sudnoplavstva Ukrayiny [Rules about sea vessels load mark. Ukrainian Shipbuilding Register]. K, 2003, P. 110–206.
9. Pravyla pro vantazhnu marku morskyykh suden [Rules about sea vessels load mark]. K, Mykolaev, UDMTU, 2002.
10. Rules for Building and Classing Steel Vessels. American Bureau of Shipping, Texas, 2012.

Панкова О.В. ВПЛИВ ВИБОРУ МІДЕЛЕВОГО ПЕРЕРІЗУ УНІВЕРСАЛЬНОГО СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА НА ВАГОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СУДЕН

Обговорюється вплив вибору міделевого перерізу універсального суховантажного судна на вагове навантаження при проектуванні суден. Оскільки міделевий переріз надає істотний вплив на вагове навантаження судна. Отже, опрацювання вибору міделевого перерізу грає важливу роль при проектуванні суден.

Завдання дослідження – опрацювання вибору міделевого перерізу універсального суховантажного судна дедвейтом 9800 тонн.

Алгоритм опрацювання міделевого перерізу включає визначення та порівняння статичних моментів різних типів перерізів і відповідність величини висоти борту Правилам Регістра. Результати досліджень рекомендовані для фахівців в області проектування суден, аспірантів і студентів старших курсів кораблебудівного факультету.

Ключові слова: міделевий переріз, універсальне суховантажне судно, дедвейт, статичний момент, вагове навантаження.

Pankova O.V. INFLUENCE OF UNIVERSAL DRY-CARGO SHIP MIDSECTION CHOICE ON THE CARGO LOADING AT DESIGNING OF SHIPS

Influence of universal dry-cargo ship midsection choice comes into question on the cargo loading at designing of ships. Because a midsection is rendered by substantial influence on the cargo loading of ship. Consequently, working of choice of midsection plays an important role at designing of ships.

Research tasks are working of universal dry-cargo ship midsection choice by deadweight of 9800 tons.

The algorithm of working of midsection plugs in itself determination and comparisons of static moments of different types of sections and accordance of size of board height to Rules of Register. The results of researches are recommended for specialists in area of designing of ships, graduate students and students of senior courses of shipbuilding faculty.

Keywords: *midsection, universal dry-cargo ship, deadweight, static moment, cargo loading.*

© Панкова О. В.

Статтю прийнято
до редакції 06.10.15

БОРТОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОВРЕЖДЁННОГО СУДНА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, БЛИЗКОГО К БЕЛОМУ ШУМУ

Соломенцев О.И., Кондратьева Л.Ю.

*Национальный университет кораблестроения
имени адмирала С. О. Макарова, г. Николаев*

Статья посвящена особенностям бортовой качки поврежденного судна в условиях устойчивого порывистого ветра. Применяется метод постоянного водоизмещения. Затопление предполагается на миделе, а затопленный отсек считается прямоугольным параллелепипедом. Пренебрегается влиянием нелинейностей по бортовым колебаниям. Это позволяет отдельно рассматривать наклонения корабля под действием постоянной и пульсационной составляющих скоростей ветра. Учитывается первый тон колебаний воды в затопленном отсеке. Жидкость в затопленном отсеке предполагается идеальной, а течение этой жидкости – потенциальным. Спектральная плотность пульсационной составляющей скорости ветра определяется путём применения преобразования Фурье к эмпирической корреляционной функции. Возмущение, связанное с действием на судно пульсационной составляющей скорости ветра, предполагается близким к белому шуму в узком смысле. В результате получена приближённая зависимость для дисперсии бортовых колебаний корабля под действием устойчивого порывистого ветра.

Ключевые слова: бортовые колебания повреждённое судно, затопление, спектральная плотность, дисперсия бортовых колебаний, порывистый ветер, белый шум.

Постановка проблемы. В теории бортовой качки неповреждённого судна на реальном нерегулярном волнении известна приближённая зависимость для дисперсии линейной бортовой качки, не связанная с численным нахождением интеграла от спектральной плотности бортовой качки по всему частотному диапазону. Принципиальная возможность получения такой формулы связана с тем, что передаточная функция данного вида качки характеризуется узкой полосой пропускания. А это обстоятельство позволяет без значительной ошибки заменить фактическую зависимость спектральной плотности волновых ординат от частот элементарных гармоник нерегулярного волнения постоянным значением спектральной плотности. Это значение должно быть вычислено при частоте, отвечающей максимуму передаточной функции (т.е. при частоте собственных бортовых колебаний неповреждённого судна n_0). Такое внешнее воздействие на колебательную систему, когда спектральная плотность оказывается не зависящей от частоты, носит, как известно, название белого шума. Замена фактической зависимости спектральной плотности волновых ординат белым шумом более приемлема для слабо упорядоченного ветрового волнения.

Соответствующая зависимость для дисперсии линейной бортовой качки неповреждённого судна может быть получена разными способами. Так, её можно получить даже безотносительно к бортовой качке из анализа воздействия белого шума на линейную динамическую систему второго порядка [1]. Эту же зависимость можно найти по методу статистических моментов [2], а также на основе спектральной теории качки [3].

Аналогичный подход возможно использовать и при расчёте дисперсии тех бортовых колебаний неповреждённого судна, которые связаны с воздействием пульсационной составляющей скорости ветра, что приводит к воздействию на судно динамического кренящего момента. Соответствующая зависимость была получена в 2011 г. одним из авторов [4] в предположении, что динамическое ветровое воздействие характеризуется экспоненциальной корреляционной функцией скорости ветра, эмпирический параметр которой известен из экспериментальных данных [5]. Дисперсия угла ветрового крена судна может быть найдена и иным путём [6], причём результаты

расчётов по обоим способам удовлетворительно согласуются между собой, [4]. Однако соответствующие зависимости для повреждённых судов авторам неизвестны.

Анализ последних достижений и публикаций. Различные подходы к расчёту дисперсии линейной по демпфированию бортовой качки под воздействием близкого к белому шуму волнения описаны в [1, 2, 3]. Обобщение этих материалов на квадратичное демпфирование выполнено в [2], а на линейно-квадратичное демпфирование – в [7]. Различные подходы к нахождению дисперсии бортовых колебаний корабля, обусловленных пульсационной составляющей скорости ветра, рассмотрены в [4, 6]. В работе [8] рассмотрено составление обобщённого уравнения бортовой качки для повреждённого корабля, которое с точностью до обозначений аналогично такому же уравнению для неповреждённого корабля.

Выделение нерешенных ранее задач. Все приведенные выше данные в части расчёта дисперсии бортовых колебаний корабля относятся к неповреждённому судну. А для расчётов бортовой качки и остойчивости в условиях волнения для повреждённых судов представляет очевидный интерес обобщение известных зависимостей для расчёта дисперсии бортовых колебаний неповреждённого судна на повреждённое судно, имеющее затопленный отсек (отсеки). При этом должны быть рассмотрены как ветровые колебания, обусловленные пульсационной составляющей скорости устойчивого порывистого ветра, так и бортовые колебания, обусловленные волнением (бортовая качка). Проблема, решаемая в данной статье, посвящена определению дисперсии бортовых колебаний повреждённого корабля, связанных с ветром. Определение дисперсии бортовой качки повреждённого корабля под действием волнового возмущения, близкого к белому шуму, будет рассмотрено авторами позднее.

Изложение основного материала работы. Рассмотрим далее, следуя в основном работе [4], дифференциальное уравнение бортовых колебаний повреждённого корабля под действием ветра. Указанная работа относится к неповреждённому кораблю. А для учёта повреждения мы, по аналогии с работой [8], введём следующие допущения:

- жидкость в затопленном отсеке предполагается идеальной, а течение этой жидкости – потенциальным;
- пренебрегается влиянием поперечно – горизонтальной качки, а также влиянием нелинейностей по бортовой качке;
- учитывается только первый тон колебаний воды в затопленном отсеке;
- затопление предполагается на миделе, а затопленный отсек считается прямоугольным параллелепипедом;
- применяется метод постоянного водоизмещения;
- дополнительное демпфирование, обусловленное затоплением отсека, считаем отсутствующим;
- затоплен отсек второй категории (в отсеке имеется свободная поверхность, но отсек не сообщается с забортной водой);
- уровень воды в отсеке совпадает с уровнем воды за бортом.

Исходное дифференциальное уравнение наклонения корабля под действием устойчивого порывистого ветра предполагается линейным по восстанавливающему моменту и по демпфирующему моменту. В силу этого оно разделяется на два уравнения следующего вида:

$$Dh_{a62}^{(0)}\theta = M_{KP1}; \quad (1)$$

$$J_{x\Sigma a}\ddot{\theta} + 2N_{\theta}\dot{\theta} + Dh_{a62}\theta = M_{KP2}(\Omega, t); \quad (2)$$

$$\frac{J_{x\Sigma a}}{J_x + \lambda_{\theta}} = \varphi_{11}(\Omega, \sigma_1) = 1 + \frac{F_3 U_1(\Omega, \sigma_1)}{g(J_x + \lambda_{\theta})};$$

$$\frac{h_{a62}}{h_{a61}} = \varphi_h(\Omega, \sigma_1) = 1 - \frac{U(\Omega, \sigma_1)}{Dh_{a61}}; \quad h_{a61} = h + \Delta h_{a61}; \quad \frac{\bar{v}_{30}}{\delta} \left[1 + \frac{\bar{v}_{30}}{2(\alpha - \bar{l}_{30}\mu_v)} - \frac{1 - \bar{h}_\theta}{2} \right] T;$$

$$U(\Omega, \sigma_1) = \frac{\rho g \beta_1^2 (\sigma_1^2 + \lambda_1 \Omega^2 F_3)}{\sigma_1^2 - \Omega^2} \quad N_\theta = \mu_\theta n_\theta (J_X + \lambda_\theta);$$

$$F_3 = -\zeta_3 - \frac{2B}{\pi} th \frac{\pi}{2} \frac{d_{a6}}{B}; \quad \beta_1 = \frac{4\sqrt{B^3 l_{30}}}{\sqrt{2\pi^2}}; \quad \lambda_1 = \frac{\pi}{B} th \frac{\pi \cdot d_{a6}}{B}; \quad \sigma_1 = \sqrt{g\lambda_1}$$

$$\zeta_3 = z_g - T - \Delta T_0; \quad d_{a6} = T + \Delta T_0 - h_\theta \quad \bar{v}_{30} = \bar{l}_{30}\mu_v(1 - \bar{h}_\theta); \quad \bar{l}_{30} = \frac{l_{30}}{L},$$

где $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ – ординаты углов, угловых скоростей и угловых ускорений бортовых колебаний повреждённого корабля; d_{a6} – глубина воды в затопленном отсеке; J_X, λ_θ – собственный и присоединенный моменты инерции массы при бортовой качке для неповреждённого корабля; μ_θ – безразмерный линеаризованный коэффициент демпфирования для неповреждённого корабля; $J_{X\Sigma a}$ – суммарный (с учётом присоединённых масс) момент инерции массы при бортовой качке для повреждённого корабля, учитывающий движение воды в затопленном отсеке; l_{30} – длина затопленного среднего отсека; h_θ – высота двойного дна; μ_v – коэффициент проницаемости для затопленного отсека; ζ_3 – расстояние между центром тяжести корабля и невозмущённой свободной поверхностью воды в отсеке; h_{a61} – начальная поперечная метацентрическая высота повреждённого корабля, определённая в предположении, что вода в затопленном отсеке представляет собой твёрдый груз (т.е. для отсека первой категории, когда свободная поверхность отсутствует); h_{a62} – начальная поперечная метацентрическая высота повреждённого корабля, определённая с учётом наличия свободной поверхности в затопленном отсеке совершающего бортовую качку корабля; $h_{a62}^{(0)}$ – тоже при частоте порывов ветра $\Omega = 0$; σ_1 – частота первого тона колебаний воды в затопленном отсеке; λ_1 – собственное число (волновое число) для первого тона колебаний воды в отсеке; β_1 – коэффициент разложения в ряд Фурье по собственным функциям ординаты свободной поверхности внутренней жидкости (сохранён только первый член этого ряда).

Правомерность разделения уравнений показана также и в работе [9]. Здесь первое уравнение (1) даёт тот тривиальный результат, что при наличии постоянной составляющей скорости устойчивого порывистого ветра колебания будут происходить вокруг положения статического равновесия, отвечающего статическому углу крена

$$\theta_{Ca} = \frac{M_{KPI}}{Dh_{a62}^{(0)}}. \quad \text{Кроме того, } \theta_{Ca} = \bar{M}_\theta, \quad \text{где } \bar{M}_\theta \text{ – первый статистический момент}$$

(математическое ожидание) случайного угла крена повреждённого корабля при воздействии ветра.

А, собственно, ветровые колебания повреждённого корабля характеризуются вторым статистическим моментом случайного угла крена – дисперсией $D_{\theta a}$. В нашей работе [4] задача отыскания этой дисперсии решена для неповреждённого корабля. Рассмотрим обобщение указанной задачи на повреждённый корабль с использованием сформулированных выше допущений.

Для поиска дисперсии $D_{\theta a}$ применим уравнение (2). Разделив все члены этого уравнения на коэффициент при старшей производной, находим

$$\ddot{\theta} + 2\nu_{\theta a}\dot{\theta} + n_{\theta a2}^2\theta = \Xi(\Omega, t);$$

$$n_{\theta a2} = \sqrt{\frac{Dh_{a\theta 2}}{J_{\chi\Sigma a}}}; \nu_{\theta a} = \frac{N_{\theta}}{J_{\chi\Sigma a}} = \frac{k_I N_{\theta}}{J_{\chi} + \lambda_{\theta}} = k_I \nu_{\theta}; k_I = \frac{J_{\chi} + \lambda_{\theta}}{J_{\chi\Sigma a}};$$

$$\Xi(t) = \frac{M_{KP2}(\Omega, t)}{J_{\chi a}} = n_{\theta a2}^2 \frac{M_{KP2}(\Omega, t)}{Dh_{a\theta 2}},$$

где $n_{\theta a2}$ – частота собственных свободных бортовых колебаний корабля с затопленным средним отсеком второй или третьей категорий.

В реальных ветровых условиях динамический ветровой кренящий момент $M_{KP2} = M_{KP2}(\Omega, t)$ есть случайная величина, которая может быть задана, в частности, своей спектральной плотностью $S_M(\Omega)$. Пусть корреляционная функция скорости ветра задана эмпирическим соотношением:

$$R_u(\tau) \approx D_u \exp(-\beta_u |\tau|),$$

где β_u – параметр аппроксимации, имеющий размерность частоты, по данным экспериментов [3] $\beta_u \approx 0,1 \text{ 1/сек}$; D_u – дисперсия пульсационных скоростей ветра, $D_u = \overline{D_u} \bar{u}_B^2$, где $\bar{u}_B$ – средняя скорость ветра на стационарном волновом режиме на высоте 6 м над уровнем моря, которая считается заданной, а безразмерная дисперсия пульсационной скорости ветра $\overline{D_u} \approx 0,017 - 0,020$, [10]

Тогда спектральная плотность пульсационной составляющей скорости ветра определится путём применения к эмпирической корреляционной функции преобразования Фурье, [1], а спектральная плотность динамического кренящего момента определится с учётом результатов работы [4] как:

$$S_M(\Omega) \approx \frac{8\overline{D_u}\beta_u\bar{u}_B^4\kappa_M}{\pi(\Omega^2 + \beta_u^2)} \left[\frac{S_{\Pi a}(z_{\Pi a} - z_{\Pi a})}{k_1^2 k_2^2} \right]^2; \kappa_M = \frac{z_{\Pi a} - z_{\Pi a}}{z_{\Pi a} - z_{Ra}}; k_1 = \sqrt{\frac{2}{C_M^0 \rho_{B3}}};$$

$$k_2 = \frac{\bar{u}_B}{\bar{u}_{BZ}(z_{\Pi a})} = \frac{\ln \frac{6}{z_0}}{\ln \frac{z_{\Pi a}}{z_0}} \approx \frac{10}{8 + \sqrt{z_{\Pi a} - T - \Delta T_0} - 1} \approx 1,12 - 0,02(z_{\Pi a} - T - \Delta T_0);$$

где ΔT_0 – размерное и безразмерное (в долях осадки неповреждённого корабля) изменение средней осадки T , $C_M \approx 1,2$ – коэффициент неинерционного аэродинамического кренящего момента; ρ_{B3} – плотность воздуха; $S_{\Pi a}$ – площадь парусности для повреждённого корабля; $z_{\Pi a}$ – аппликата центра парусности для повреждённого корабля; $z_{Ra} z_{\Pi a}$ – плечи кренящей силы при динамическом приложении ветровой нагрузки; $\bar{u}_{BZ}$ – средняя скорость устойчивого порывистого ветра, заданная применительно к повреждённому кораблю на уровне $z_{\Pi a}$ от поверхности моря; $z_0 \approx 0,002 \text{ м}$ – характеристика шероховатости подстилающей

поверхности.

При этом спектральная плотность $S_M(\Omega)$ есть относительно медленно меняющаяся функция частоты пульсаций Ω . В то же время ветровые бортовые колебания существенны только в относительно узкой окрестности резонансной частоты. К такому выводу можно прийти, анализируя решения уравнения (2). Этот же вывод справедлив и для морского волнения, когда на регулярном волнении в правой части уравнения, аналогичного (2), находится обусловленный воздействием волнения возмущающий момент. Тогда, без значительной ошибки можно принять, что возмущение $\Xi(t)$ представляет собой белый шум в узком смысле [1].

Далее можно использовать зависимости из монографии А. А. Свешникова [1] в части прохождения белого шума через линейную динамическую систему второго порядка и учесть, что у нас $0 < \Omega < +\infty$ (в отличие от [1], где принято $-\infty < \Omega < +\infty$). Можно принять, что величины $S_M = S_M(\Omega)$, $J_{X\Sigma a} = J_{X\Sigma a}(\Omega)$ и $h_{a\alpha 2} = h_{a\alpha 2}(\Omega)$ определяются при средней частоте порывов ветра Ω_c . В свою очередь, средняя частота порывов $\Omega_c = n_{\theta 2}$. А условие вида $\Omega = n_{\theta 2}$ объясняется тем, что в приповерхностном слое воздуха на высоте 10–20 м, который и представляет интерес в решаемой задаче, сказывается обратное влияние динамики волнения на динамику ветровой нагрузки [11]. Тогда для дисперсии бортовых колебаний повреждённого корабля под действием пульсационной составляющей скорости ветра $D_{\theta a 1}$ можно сразу записать:

$$D_{\theta a 1} = \frac{n_{a \max} S_M^*}{(Dh_{a\alpha 2}^*)^2} \cdot \frac{\pi}{4\mu_{\theta} K_{n1} K_I}, \quad (3)$$

где $h_{a\alpha 2}^* = h_{a\alpha 2}(n_{\theta a \max})$, $S_M^* = S_M(n_{\theta a \max})$, $\mu_{\theta} = \frac{v_{\theta}}{n_{\theta}}$ – безразмерный коэффициент линейного демпфирования при бортовой качке, определяемый в данной работе так же, как и для неповреждённого корабля, $n_{\theta} = \sqrt{\frac{Dh}{J_X + \lambda_{\theta}}}$ – частота собственных бортовых колебаний для неповреждённого корабля, $K_I = \frac{J_X + \lambda_{\theta}}{J_{X\Sigma a}(n_{\theta a \max})}$; а коэффициент $K_{n1} = \frac{n_{\theta}}{n_{\theta a \max}}$.

Здесь $n_{\theta a \max}$ есть частота, отвечающая максимуму передаточной функции бортовых колебаний корабля. Эта частота отлична в общем случае от частот n_{θ} и $n_{a\alpha 2}$, она должна определяться путём численного анализа указанной передаточной функции. Формула (3), относящаяся к чисто линейному демпфированию, может быть по аналогии с неповреждённым судном обобщена на случаи квадратичного демпфирования [2] или линейно-квадратичного демпфирования [7]. Возможен также и учёт дополнительного демпфирования, связанного с затоплением.

Некоторые результаты расчётов по приведенным выше зависимостям приведены на рис. 1. Предполагалось, что амплитуды колебаний, обусловленных пульсационной составляющей скорости ветра, распределены по закону Релея. Тогда выраженная в градусах амплитуда 3% обеспеченности $\theta_3 \approx 151\sqrt{D_{\theta a}}$, где дисперсия $D_{\theta a}$ измеряется в rad^2 .

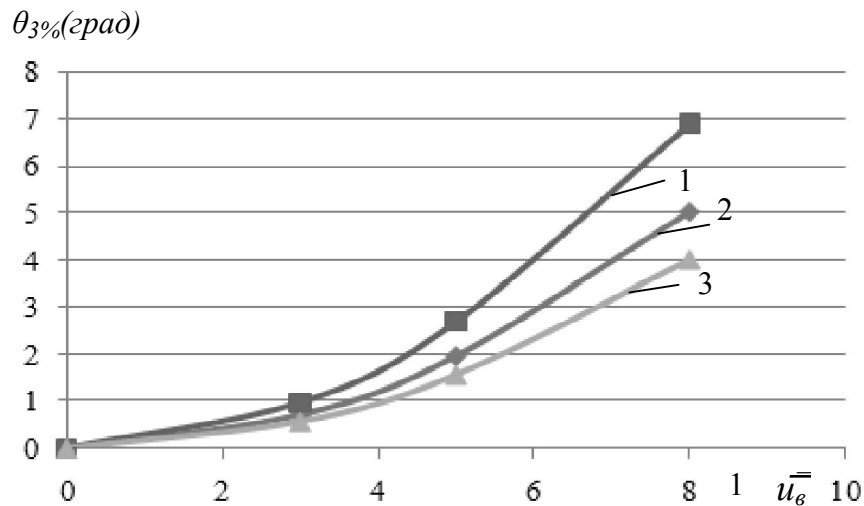


Рисунок 1 – Залежності амплітуди бортових коливань 3%-обеспеченності $\theta_3(\text{град})$ від середньої швидкості вітру $\bar{u}_6$ для пошкодженого судна:

1–довжина затопленого отсеку $l=0,15L$; 2–довжина затопленого отсеку $l=0,1L$; 3–довжина затопленого отсеку $l=0,075L$

Висновки. 1. В результаті виконаного дослідження отримана проста залежність для дисперсії бортових коливань, пошкодженого корабля під впливом стійкого поривистого вітру.

2. Виконані розрахунки дозволили встановити зв'язок між амплітудами бортових коливань заданої забезпеченності, довжиною затоплення та швидкістю пульсуючої складової стійкого поривистого вітру.

3. Направленнями наступних досліджень є отримання розрахункових залежностей для дисперсії бортової кочки пошкодженого корабля під впливом хвильового возмущення, близького до білого шуму, урахування нелінійності по демпфуванню та урахування впливу затоплення на демпфування.

4. Отримані в цій роботі та в процесі наступних досліджень результати можуть бути використані при удосконаленні норм аварійної стійкості судів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Свешников А. А. Прикладні методи теорії випадкових функцій [Текст] / А. А. Свешников. – М. : Наука, 1968. – 404 с.
2. Некрасов В. А. Вероятнісні задачі мореходності судів [Текст] / В. А. Некрасов. – Л. : Судостроєння, 1978. – 304 с.
3. Севаст'янов Н. Б. О можливості контролю за стійкістю судна на морі по періоду бортової кочки [Текст] / Н. Б. Севаст'янов // Теоретичні та практичні питання стійкості та непотопляємості морських судів : науково-технічний збірник Регістра СРСР. – Л. : Морський транспорт, 1963. – С. 83-104.
4. Соломенцев О. І. Розрахунок дисперсії динамічного вітрового крена судна за емпіричної кореляційної функції пульсуючої складової швидкості вітру [Текст] / О. І. Соломенцев // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 5. – С. 3-12.
5. Волосенко Е. Е. Стійкість судна за критерієм погоди з урахуванням впливу вітру з поривами [Текст] / Е. Е. Волосенко, Д. В. Кондріков, О. В. Озімова // Перспективні типи судів. Мореходні та льодові якості : збірник наукових праць ЦНІИ морського флоту. – Л. : Транспорт, 1985. – С. 90-97.

6. Приходько С. Б. Исследование неопрокидывания судов под действием ветра и волнения [Текст] / С. Б. Приходько // Труды НКИ. – Николаев : НКИ, 1981. – Вып. 176. – С. 74-82.

7. Соломенцев О. И. Влияние формы шпангоутов на амплитуды нелинейной по демпфированию бортовой качки [Текст] / О. И. Соломенцев, Е. О. Снопик // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 67-71.

8. Гарькавый В. В. Стандартная форма уравнения бортовой качки судна с жидким грузом [Текст] / В. В. Гарькавый, В. И. Яковлев // Труды КТИРПиХ. – Калининград : КТИРПиХ, 1980. – Вып. 90. – С. 3-10.

9. Andrewartha T. Seakeeping Behaviour of the Damaged Warship [Text] / T. Andrewartha, G. Thomas, S. Cannon // Defense Science and Technology Organisation. – Maritime Platform Division. – Melbourne, 2008. – 12 p.

10. Луговский В. В. Динамика моря [Текст] / В. В. Луговский. – Л. : Судостроение, 1976. – 200 с.

11. Абрамовский В. А. Влияние структуры поля скоростей ветра над волнением на динамику морских объектов [Текст] / В. А. Абрамовский // Судостроение, 2009. – № 6. – С.41-46.

REFERENCES

1. Sveshnikov A. A. Prykladnie metodi teoryy sluchainikh funktsyi [Applied methods of the theory of random functions], M.: Nauka publ, 1968. – p. 404.

2. Nekrasov V. A. Veroyatnostnyye zadachy morekhodnosti sudov [The probabilistic problems of seagoing vessels], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1978. – p. 304 .

3. Sevastianov N. B. O vozmozhnosti kontrolya za ostoichyvostyu sudna na more po peryodu bortovoi kachky [About the possibility of control over the ship stability at the sea on a rolling period] Teoreticheskiye y prakticheskiye voprosy ostoichyvosti y nepotopliaemosti morskikh sudov: Nauchno-tekhnicheskyy sbornik Rehystra SSSR. – Scientific and Technical Collection USSR Register Leningra., Morskoi transport publ., 1963. – pp. 83-104

4. Solomentsev O. Y. Raschot dyspersyy dynamicheskoho vetrovoho krena sudna po ampyrycheskoi korrelyatsyonnoi funktsyy pulsatsyonnoi sostavliayushchei skorosti vetra [The calculation of the dispersion of the dynamic wind of the vessel heelin] Zbirnyk naukovykh prats NUK. – Collection of scientific papers of NUOS, Mykolaiv: NUK publ., 2011. – issue 5. – pp. 3-12.

5. Volosenko E. E., Kondrykov D. V., Ozymova O. V Ostoichyvost sudna po kryteriyu pohody s uchotom deistviya vetra s porivamy [The stability of the vessel on the weather criterion in view of effect of wind with gusts], Perspektivnyye typy sudov. Morekhodnie i ledovie kachestva: Sbornik nauchnykh trudov TSNIY morskogo flota. Proceedings of the Central Research Institute of the marine fleet. – Leningrad : Transport publ., 1985. – pp. 90-97.

6. Prykhodko S. B. Yssledovanye neoprokydывanyia sudov pod deistviyem vetra y volneniya [Tekst] Trudy NKY. – Proceedings NSI Nikolaev: NKY publ., 1981. issue. 176. – pp. 74-82.

7. Solomentsev O. Y., Snopyk E. O Vlyianye formy shpanhoutov na amplytudy nelyneinoi po dempfyrovaniyu bortovoi kachky [Influence of the form of frames on the amplitude of the nonlinear damping roll] Materialy Vseukrainskoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Suchasni tekhnolohii proektuvannia, pobudovy, ekspluatatsii i remontu suden, morskikh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud».- Mykolaiv : NUK, 2012. – p. 67-71.

8. Harkaviy V. V., Yakovlev V. Y. Standartnaia forma uravneniya bortovoi kachky sudna s zhydkym hruzom [The standard form of the equations of roll with liquid cargo] Trudy KTYRPIKh – Proceedings KTIRPiH. Kalynynhrad : KTYRPIKh, 1980 – issue. 90. – pp. 3-10.

9. Andrewartha T. Seakeeping Behaviour of the Damaged Warship [Text] / T. Andrewartha, G. Thomas, S. Cannon // Defense Science and Technology Organisation. – Maritime Platform Division. – Melbourne, 2008. – 12 p.

10. Luhovskiy V. V. Dynamika moria [The dynamics of the sea], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1976, p. 200.

11. Abramovskiy V.A. Vliyaniye strukturi polia skorostei vetra nad volneniyem na dynamiku morskikh obektov [The influence of the structure of the field of wind velocities over the seaway on the dynamics of marine facilities], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 2009, issue 6. – pp. 41-46.

Соломенцев О.І., Кондратьєва Л.Ю. БОРТОВІ КОЛИВАННЯ ПОШКОДЖЕНОГО СУДНА В УМОВАХ ДІНАМІЧНОГО ВІТРОВОГО ВПЛИВУ БЛИЗЬКОГО ДО БІЛОГО ШУМУ

Стаття присвячена особливостям бортової хитавиці пошкодженого судна в умовах стійкого поривчастого вітру. Застосовується метод постійної водотоннажності. Затоплення передбачається на міделі, а затоплений відсік вважається прямокутним паралелепіпедом. Не беруться до уваги нелінійні ефекти, що пов'язані із бортовими коливаннями. Це дає можливість роздільно розглядати нахили корабля, що обумовлені постійною та пульсуючою складовими швидкості вітру. Береться до уваги перший тон коливань води в затопленому відсіку. Рідина в затопленому відсіку передбачається ідеальною, а течія цієї рідини – потенційною. Спектральна щільність пульсуючої складової швидкості вітру визначається шляхом застосування перетворення Фур'є до емпіричної кореляційної функції. Збурення, пов'язане з дією на судно пульсуючої складової швидкості вітру, вважається близьким до білого шуму у вузькому сенсі. У результаті отримана наближена залежність для розрахунку дисперсії бортових коливань корабля під дією стійкого поривчастого вітру.

Ключові слова: бортові коливання, пошкоджене судно, затоплення, спектральна щільність, дисперсія бортових коливань, поривчастий вітер, білий шум.

Solomentsev O.I., Kondratieva L.Yu. THE HILL ANGLE OF DAMAGED VESSEL IN CONDITIONS OF THE DYNAMICAL WIND INFLUENCE CLOSE TO THE WHITE NOISE

The article devoted to the features of rolling of damaged vessel because of a gusty wind. The method of the constant displacement is applied in this research. Flooding is expected to midsection, and flooded compartment considered rectangular parallelepiped. Rolling non-linearities are not taken into account. So, it became possible to divide non-time dependent and time-dependent parts of the wind heeling moment. First harmonic of moving water in the flooded compartment is taken into account. The liquid in the flooded compartments assumed as ideal, and flow this fluid is potential. Spectral density of the gusty part of the wind velocity is determined with the help of the using of Fourier transformation to the empirical correlation function of wind velocity. Perturbation, connected with the gust part of the wind on the ship, is close to the white noise in a narrow sense. As a result, was got a simple formula for the variance of the hill angle, connected with the gusty part of wind velocity.

Keywords: rolling, damaged ship, flooding, spectral density, variance, gusty winds, white noise.

© Соломенцев О. І., Кондратьєва Л. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 28.09.15

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО СОВМЕСТНОМУ УЧЕТУ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ПРОКЛАДКИ

Спешилов В.М.

*Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, Россия*

Кулинич В.В.

Херсонская государственная морская академия

В статье изложена методика использования цифровой вычислительной машины средства автоматической радиолокационной прокладки для вычисления суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении и решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения. Проанализированы особенности отображения электронной линии гирокомпасного курса судна и линии путевого угла судна с учетом ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении на дисплее средства автоматической радиолокационной прокладки. Приведено наглядное представление принципа вычисления суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении. Предложенный в статье способ решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения является актуальным при невозможности использования режима автоматического управления судном по заданной траектории, когда необходимо непрерывное наблюдение за навигационной обстановкой и за ситуацией сближения с другими судами.

Ключевые слова: *вектор относительной скорости судна-цели, вектор истинной скорости судна цели, вектор скорости судна-наблюдателя относительно воды, вектор скорости течения, суммарный вектор скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими практическими задачами. Решение обратной задачи по совместному учету ветра и течения сводится к прокладке заданной линии путевого угла судна с учетом ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении (линии ПУ_с) на морской навигационной карте (МНК). На практике линию ПУ_с принято называть линией пути судна с учетом ветра и течения [1, 2].

Конечной целью решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения является определение такого значения гирокомпасного курса судна (ГКК), при котором центр масс этого судна движется по заданной линии ПУ_с. Графический способ решения этой задачи хорошо известен и применяется при ручном ведении навигационной прокладки на бумажной карте, когда согласно Правилу 18 главы V Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74) [3] – судовая электронная картографическая навигационная информационная система (ЭКНИС) не соответствует требованиям Резолюции А.817 (19) ИМО [4].

Решение обратной задачи по совместному учету ветра и течения на дисплее главного модуля ЭКНИС производится автоматически, если автоматизированная информационно-управляющая судовая система (АИУС) работает в режиме автоматического управления судном по заданной траектории. В этом случае устанавливается допустимая величина бокового отклонения судна от заданной линии путевого угла, в результате чего система автоматического вождения судна по маршруту перехода удерживает судно в установленной полосе движения без вмешательства человека. Если режим автоматического управления судном по заданной траектории не предусмотрен или использование этого режима недопустимо в условиях плавания, предусмотренных Правилем 24 главы V СОЛАС-74, то при работе ЭКНИС в режиме системы позиционирования [5–8] – на дисплее главного модуля ЭКНИС решается прямая задача по совместному учету ветра и течения, когда судно лежит на заданном гирокомпасном курсе (ГКК), а центр масс судна движется по линии ПУ_с, направление которой изменяется с изменением направления и скорости ветра и элементов течения

в районе плавания. Решение обратной задачи по совместному учету ветра и течения на дисплее главного модуля ЭКНИС не предусмотрено, если авторулевой работает в режиме ручного или автоматического управления курсом судна [9]. Поскольку прокладка судна по заданной траектории с учетом ветра и течения является конечной задачей навигационной прокладки пути судна на морской навигационной карте (МНК), то изыскание способа решения обратной задачи на электронной карте при работе авторулевого в ручном режиме или в режиме автоматического управления курсом судна является актуальной задачей.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Аналитическое решение обратной задачи по совместному учету ветра и течения на дисплее главного модуля ЭКНИС при работе авторулевого в ручном режиме или в режиме автоматического управления курсом судна впервые рассмотрено в статье [10]. При плавании в стесненных районах моря и в районах интенсивного судоходства, особенно в условиях ограниченной видимости, требует от судоводителя повышенного и непрерывного визуального, слухового и технического наблюдения за быстроменяющейся навигационной обстановкой. Отвлечение вахтенного офицера на какие-либо аналитические вычисления в этих условиях, пусть даже кратковременные с использованием MS Excel, чревато потерей контроля за навигационной безопасностью плавания и за ситуацией сближения с другими судами. Наиболее оптимальным в таких условиях является способ решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения с помощью ЦВМ САРПа, при котором техническое наблюдение за навигационной обстановкой и за ситуацией сближения с другими судами не прерывается.

Формулировка целей статьи. Целью статьи является определение способа решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения с помощью ЦВМ САРПа, если авторулевой работает в ручном режиме или в режиме автоматического управления курсом судна.

Изложение основного материала. Точность решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения зависит от точности вычисления элементов суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении. Наиболее точно вычисление элементов суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении производится с помощью цифровой вычислительной машины средства автоматической радиолокационной прокладки (ЦВМ САРПа), если на автоматическое сопровождение взят береговой точечный радиолокационный объект (остров размером до 2-х кабельтовых, надводная скала и т.п.) или плавсредство, связанное с грунтом морского дна (судно, стоящее на якоре, плавучий маяк, морской буй и т.п.). Принцип вычисления суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении основан на вычислении вектора истинной скорости сопровождаемого берегового точечного радиолокационного объекта.

Наглядное представление о принципе вычисления вектора истинной скорости берегового объекта с помощью ЦВМ САРПа можно получить при сопоставлении истинной радиолокационной прокладки судна, стоящего на якоре  и относительной радиолокационной прокладки этого судна. Исходя из принципа «от простого к сложному» сопоставлении истинной и относительной радиолокационных прокладок проведем первоначально, при плавании в более простых условиях, полного штиля, когда в районе плавания имеет место только течение.

Сущность истинной радиолокационной прокладки судна-цели состоит в следующем (рис. 1):

1. На морской навигационной карте (МНК) проложена линия истинного курса АВ судна-наблюдателя.

2. При обнаружении на дисплее радиолокатора эхосигнала судна-цели – измеряют радиолокационные пеленг и расстояние этого эхосигнала $РЛП_1$ и $РЛД_1$, запускают секундомер, записывают судовое время (Т) и отсчет относительного лага (ОЛ).

3. На линии истинного курса наносят счислимое место судна-наблюдателя М и откладывают трехминутный вектор скорости этого судна относительно воды, модуль которого измерен с помощью относительного лага ($\bar{V}_{о.л}$).

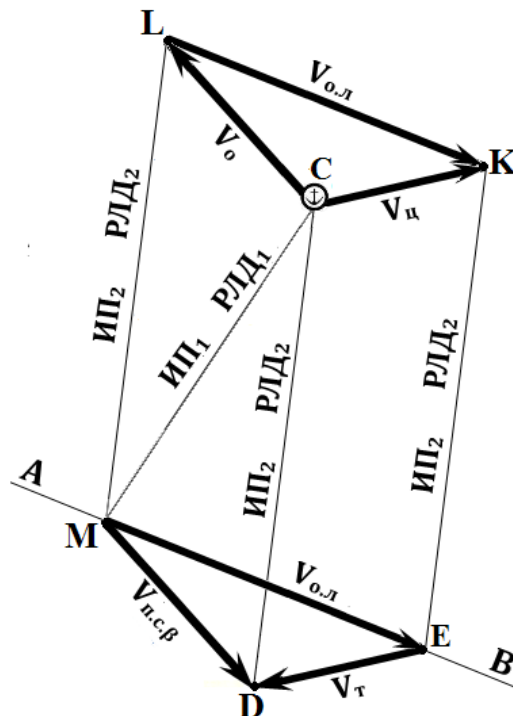


Рисунок 1 – Истинная и относительная радиолокационные прокладки судна, стоящего на якоре

4. Из конца вектора $\bar{V}_{о.л}$ откладывают трехминутный вектор скорости течения ($\bar{V}_т$).

5. Из начала вектора $\bar{V}_{о.л}$ в конец вектора $\bar{V}_т$ проводят трехминутный вектор скорости судна-наблюдателя относительно грунта морского дна, который называется вектором путевой скорости этого судна с учетом течения ($\bar{V}_{п.с.б}$).

6. Измеренный радиолокационный пеленг $РЛП_1$ исправляют поправкой гирокомпаса:

$$ИП_1 = РЛП_1 + (\pm \Delta ГК). \quad (1)$$

7. Из точки М проводят линию истинного пеленга на судно-цель (линию $ИП_1$), откладывают измеренное радиолокационное расстояние до этого судна ($РЛД_1$) и наносят местоположение судна-цели на карте в точке С.

8. Через 3 минуты производят повторный замер радиолокационных пеленга и расстояния до судна-цели $РЛП_2$ и $РЛД_2$.

9. Исправляют $РЛП_2$ поправкой гирокомпаса [$ИП_2 = РЛП_2 + (\pm \Delta ГК)$] и наносят место судна-цели на карте по пеленгу $ИП_2$ и по расстоянию $РЛД_2$:

9.1 Если на карте проложена линия ПУ_б, то линию $ИП_2$ проводят из конца вектора $\bar{V}_{п.с.б}$, откладывают расстояние $РЛД_2$ и получают место судна-цели в точке С.

9.2 Если элементы течения в районе плавания не известны и поэтому на карте проложена только линия истинного курса судна-наблюдателя (линия АВ), то линию $ИП_2$ проводят из конца вектора $\bar{V}_{о.л}$, откладывают расстояние $РЛД_2$ и получают место судна-цели в точке К, в которое судно-цель переместилось из точки С в течение 3-х минут.

Поэтому отрезок прямой СК является трехминутным вектором истинной скорости судна-цели ($\bar{V}_ц$). Поскольку судно-цель стоит на якоре, то образование вектора истинной скорости этого судна объясняется тем, что радиолокационная прокладка ведется без учета течения. Поэтому вектор $\bar{V}_ц$ определяет элементы течения: поскольку отрезки СК и DE являются противоположными сторонами параллелограмма CDEK, то модуль вектора скорости течения $\bar{V}_т$ равен модулю вектора истинной скорости судна-цели $\bar{V}_ц$, а направление вектора $\bar{V}_т$ – противоположно направлению вектора $\bar{V}_ц$ ($\bar{V}_т = -\bar{V}_ц$).

Относительная радиолокационная прокладка основана на принципе обратимости относительного движения, когда движение судна-наблюдателя относительно неподвижного судна-цели рассматривают как движение судна-цели относительно неподвижного судна-наблюдателя. Поэтому пеленги и расстояния, измеренные в трехминутном интервале на судно-цель, откладывают из точки М, в результате чего получается вектор относительной скорости судна-цели ($\bar{V}_о$). Из конца вектора $\bar{V}_о$ откладывают вектор $\bar{V}_{о.л}$ и получают суммарный вектор $\bar{V}_ц$, модуль которого равен модулю вектора $\bar{V}_т$, а направление – противоположно направлению вектора $\bar{V}_т$. Поскольку принцип относительной радиолокационной прокладки заложен в работу цифровой вычислительной машины средства автоматической радиолокационной прокладки (ЦВМ САРПа), то при устойчивом автоматическом сопровождении берегового точечного радиолокационного объекта в течение трех минут – ЦВМ САРПа вычисляет вектор истинной скорости этого объекта ($\bar{V}_ц$), модуль которого равен модулю вектора скорости течения в районе плавания ($\bar{V}_т$). Если элементы течения ввести в ЦВМ САРПа, то ЦВМ решает прямую задачу по учету течения, в результате чего на дисплее помимо электронной линии курса судна (отметки курса) появляется электронная линия путевого угла судна с учетом дрейфа судна на течении (рис. 2).

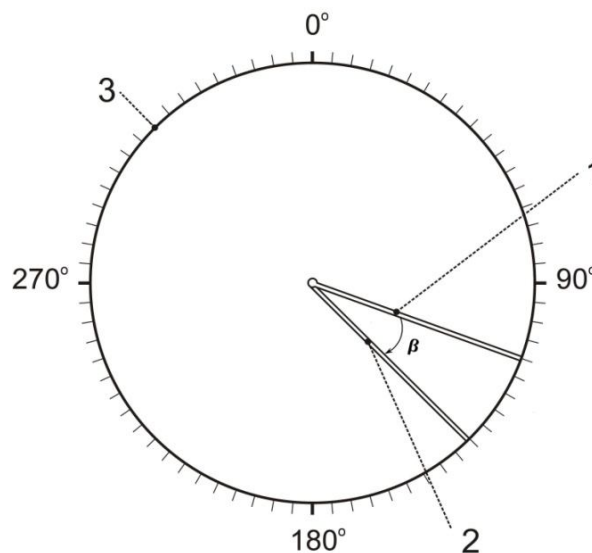


Рисунок 2 – Дисплей САРПа: 1 – линия (отметка) курса; 2 – линия ПУ_β; 3 – азимутальная шкала ИКО

Поскольку решение обратной задачи по учету течения в ЦВМ САРПа не предусмотрено, то можно для решения обратной задачи использовать способность ЦВМ решать прямую задачу:

1. Судно ложится на истинный курс, значение которого равно значению заданного путевого угла с учетом дрейфа судна на течении.
2. Элементы течения, значения которых вычислено с помощью ЦВМ САРПа или определено любым другим способом, вводятся в ЦВМ для того, чтобы с помощью

азимутальной шкалы индикатора кругового обзора (ИКО) определить величину угла дрейфа судна на течении (β).

3. Если $\beta < 10^\circ$, то можно начинать поворот судна в сторону, обратную направлению угла β :

3.1 Перейти на ручной режим работы авторулевого и переложить руль на 5° в сторону поворота.

3.2 Во время поворота ЦВМ САРПа непрерывно решает прямую задачу по учету течения. Поэтому по мере поворота – на дисплее синхронно с судном перемещаются линия (отметка) курса судна и линия $ПУ_\beta$ судна.

3.3 Внимательно следить за перемещением линии $ПУ_\beta$ и за $3 \div 5^\circ$ до подхода этой линии к заданному значению по азимутальной шкале ИКО – отвести руль для уменьшения угловой скорости поворота судна.

3.4 В момент подхода линии $ПУ_\beta$ к заданному значению на азимутальной шкале – заметить значение гирокомпасного курса, выставить его на авторулевом и перейти на режим автоматического управления курсом.

4. Если $\beta > 10^\circ$, то перед началом поворота целесообразно определить приближенное значение искомого гирокомпасного курса, при котором центр масс судна перемещается по заданной линии $ПУ_\beta$. Для этого направление вектора скорости течения, введенного в ЦВМ САРПа, изменяют на 180° , в результате чего на дисплее САРПа появляется электронная линия $ПУ_\beta$, значение которой на азимутальной шкале ИКО можно принять, как приближенное значение искомого гирокомпасного курса. Перед началом поворота судна направление вектора скорости течения, введенного в ЦВМ САРПа, вернуть в исходное положение (изменить на 180°) и затем начать процедуру поворота в соответствии с пунктами 3.1÷3.4.

Если в районе плавания учитывается боковой ветер и боковое течение, то по результатам автоматического измерения радиолокационных пеленгов и расстояний берегового объекта – ЦВМ САРПа вычисляет элементы вектора относительной скорости этого объекта ($\bar{V}_o$), модуль которого равен модулю вектора путевой скорости судна-наблюдателя с учетом ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении ($\bar{V}_{п.с.с}$), а направление вектора $\bar{V}_o$ противоположно направлению вектора $\bar{V}_{п.с.с}$ ($\bar{V}_o = -\bar{V}_{п.с.с}$). Таким образом, при сложении векторов $\bar{V}_o$ и $\bar{V}_{о.л}$ получается вектор истинной скорости берегового объекта-цели ($\bar{V}_ц$), образование которого объясняется наличием неучтенного ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении. Поэтому модуль вектора $\bar{V}_ц$ равен модулю суммарного вектора скорости ветрового дрейфа судна на течении $\bar{V}_\Sigma$ (рис. 3), а направление вектора $\bar{V}_ц$ противоположно направлению вектора $\bar{V}_\Sigma$ ($\bar{V}_ц = -\bar{V}_\Sigma$).

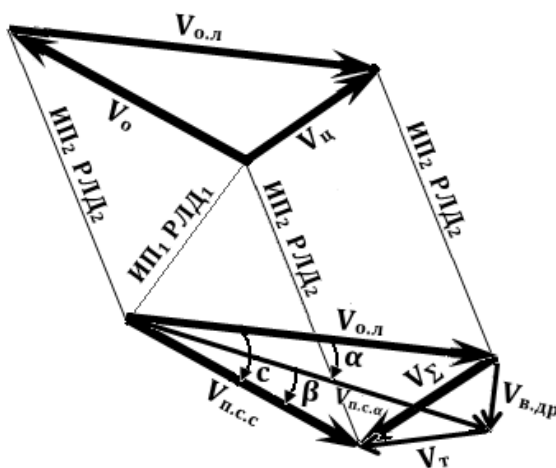


Рисунок 3 – Истинная и относительная радиолокационные прокладки

Таким образом, при введении в ЦВМ САРПа элементов вектора $\bar{V}_\Sigma$ – вычисляются элементы вектора путевой скорости судна с учетом ветра и течения ($\bar{V}_{п.с.с}$) и на дисплее САРПа появляется электронная линия путевого угла судна-наблюдателя с учетом ветра и течения (2, рис. 2).

При работе ЭКНИС в режиме позиционирования – электронная линия пути судна с учетом ветра и течения определяется вектором путевой скорости судна с учетом ветра и течения, который приложен к текущей обсервованной точке местоположения судна на карте и обозначен двойной стрелкой (рис. 4).

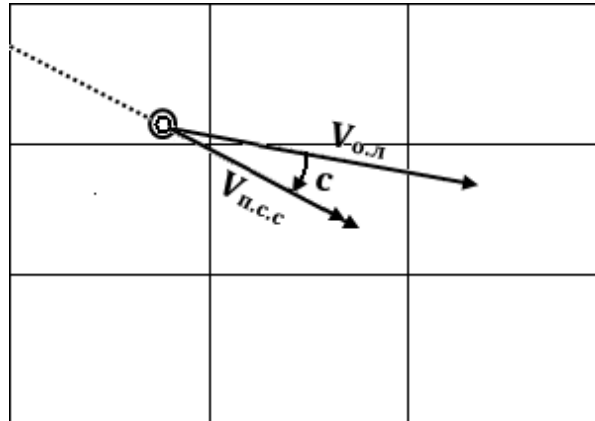


Рисунок 4 – Электронная линия пути судна

Положение диаметральной плоскости судна определяет вектор скорости судна $\bar{V}_{о.л}$ с одинарной стрелкой, модуль которого равен скорости судна, измеренной с помощью относительного лага, а направление равно текущему гирокомпасному курсу судна. Таким образом, имеется возможность решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения путем медленного поворота судна и в момент подхода вектора $\bar{V}_{п.с.с}$ к заданному значению путевого угла – зафиксировать значение гирокомпасного курса судна и лечь на этот курс. Однако, после выхода судна на заданный гирокомпасный курс – вектор $\bar{V}_{п.с.с}$ сместится и установится в направлении, которое значительно отличается от заданного направления линии пути судна. Это объясняется тем, что в отличие от ЦВМ САРПа – ЦВМ ЭКНИС вычисляет элементы вектора $\bar{V}_{п.с.с}$ не путем сложения векторов $\bar{V}_о$ и $\bar{V}_{о.л}$, а по результатам исполнительной прокладки пути судна, который на электронной карте представляет собой совокупность обсервованных точек местоположения судна, наносимых автоматически через каждые 2 секунды. Поэтому при повороте судна его путевой скоростью является линейная скорость, вектор которой направлен по касательной к траектории циркуляции, а модуль этого вектора по мере развития циркуляции уменьшается. После окончания поворота судно некоторое время выходит на заданный гирокомпасный курс, совершая при этом движение по зигзагу и восстанавливая линейную скорость хода, в результате чего вектор $\bar{V}_{п.с.с}$ некоторое время совершает колебательное движение с довольно значительной амплитудой и в конечном итоге не совпадает с заданной траекторией движения судна.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. На основании проведенного анализа работы средства автоматической радиолокационной прокладки разработан способ решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения. Способ применяется в том случае, если не предусмотрен режим автоматического управления судном по заданной траектории или использование этого режима недопустимо в стесненных районах плавания и в районах интенсивного судоходства.

Впервые решение обратной задачи по учету ветра и течения производится путем сложения вектора скорости судна относительно воды и суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении. При этом суммарный вектор скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении вычисляется по результатам измерения пеленгов и расстояний до берегового объекта. И поэтому точность решения обратной задачи по учету ветра и течения значительно выше в сравнении с традиционным решением этой задачи, когда учет ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении производится последовательно путем аналитического вычисления угла ветрового дрейфа и определения элементов течения с помощью лоций, атласов и других пособий, в которых даны приближенные значения этих элементов.

Предложенный в статье способ определения элементов суммарного вектора скорости ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении и способ решения обратной задачи по совместному учету ветра и течения с помощью цифровой вычислительной машины средства автоматической радиолокационной прокладки создает предпосылки к разработке программного обеспечения решения этих задач на дисплее электронной карты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В. И. Навигация и лоция: учебник для ВУЗов / В. И. Дмитриев, В. Л. Григорян, В. А. Котенин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.
2. Селезнев А. Е. Основы навигации. Практический опыт капитана / А. Е. Селезнев. – Новороссийск : МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2008. – 174 с.
3. Consolidated text of International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates. London: IMO, 2009 – 566 p.
4. The IMO Performance Standard for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) / Resolution A. 817(19). London: IMO, 1996 – 22 p.
5. Сизов В. В. Морские навигационно-картографические системы / В. В. Сизов. – Ростов н/Д : ИРИДИС, 2000. – 128 с.
6. Лобастов В. М. Электронные картографические системы в судовождении [Текст] : учеб. пособие / В. М. Лобастов. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2009. – 167 с.
7. Гагарский Д. А. Электронные картографические системы в современном судовождении : учеб.-метод. пособие / Д. А. Гагарский – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2007. – 124 с.
8. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – Одесса : Фенікс, 2007. – 328 с.
9. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы. / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2004. – 302 с.
10. Спешилов В. М., Степкова В. В. Использование автоматизированных информационно-управляющих судовых систем для прокладки пути судна с учетом ветра и течения // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – №2 (9). – С. 48-54.

REFERENCES:

1. Dmitriyev V. I. Navigation and sailing directions: University textbook / V. I. Dmitriyev, V. L. Grigoryan, V. A. Kotenin. – M. : PBC «Akademkniga», 2004. – 471 p.
2. Seleznev A. E. Basic Navigation. Practical experience of captain / A. E. Seleznev. – Novorossiysk : MSA named after admiral F. F. Ushakov, 2008. – 174 p.
3. Consolidated text of International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates. London: IMO, 2009 – 566 p.
4. The IMO Performance Standard for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) / Resolution A. 817(19). London: IMO, 1996 – 22 p.
5. Sizov V. V. Marine navigation chart systems / V. V. Sizov. – Rostov n / D : IRIDIS, 2000. – 128 p.

6. Lobastov V. M. Electronic navigational chart systems [Text] : tutorial / V. M. Lobastov. – Vladivostok : Mor. state. univ, 2009. – 167 p.
7. Gagarsky D. A. Electronic chart in a modern navigational system: teaching aid / D. A. Gagarsky – St. Petersburg : publ. SMA named after adm. S. O. Makarov, 2007. – 124 p.
8. Vaguschenko L. L. Systems of automatic control ship motion / L. L. Vaguschenko, N. N. Tsymbal. – Odessa : Feniks, 2007. – 328 p.
9. Vaguschenko L. L. Ship navigation and information systems. / L. L. Vaguschenko. – Odessa : Feniks, 2004. – 302 p.
10. Speshylov V. M., Stepkova V. V. The usage of automatic information-controlling ship systems for navigational plotting with wind and current drifts calculation. // Scientific Bulletin of Kherson State Maritime Academy: Scientific journal. – Kherson : Publisher KSMA, 2013. – №2 (9). – P. 48-54.

Спешілов В.М., Кулініч В.В. ВИРІШЕННЯ ЗВОРотної ЗАДАчі ПО СПільному ВРАХУВАННю ВІТру І ТЕЧії ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВОї ОБЧИСЛЮВАЛЬНОї МАШИНИ ЗАСОБУ АВТОМАТИЧНОї РАДІОЛОКАЦІЙНОї ПРОКЛАДКИ

У статті викладена методика використання цифрової обчислювальної машини засобу автоматичної радіолокаційної прокладки для обчислення сумарного вектору швидкості вітрового дрейфу та дрейфу судна на течії та вирішення зворотної задачі по спільному врахуванню вітру та течії. Проаналізовані особливості відображення електронної лінії гірокомпасного курсу судна та лінії шляхового кута судна з урахуванням вітрового дрейфу та дрейфу судна на течії на дисплеї засобу автоматичної радіолокаційної прокладки. Приведене наочне подання принципу обчислення сумарного вектору швидкості вітрового дрейфу та дрейфу судна на течії. Запропонований у статті спосіб вирішення зворотної задачі по спільному врахуванню вітру та течії є актуальним при неможливості використання режиму автоматичного управління судном по заданій траєкторії, коли необхідне безперервне спостереження за навігаційною обстановкою та за ситуацією зближення з іншими суднами.

Ключові слова: вектор відносної швидкості судна-цілі, вектор істинної швидкості судна-цілі, вектор швидкості судна-спостерігача відносно води, вектор швидкості течії, сумарний вектор швидкості вітрового дрейфу та дрейфу судна на течії.

Speshylov V.M., Kulinich V.V. THE INVERSE PROBLEM SOLUTION ON COMBINED THE WIND AND THE CURRENT ACCOUNT USING DIGITAL CALCULATING MACHINE OF AUTOMATIC RADAR PLOTTING AIDS

In the following article we propose the method of using digital calculating machine of automatic radar plotting aids for calculating summary vector of the wind drift velocity and ship drift on the current and solving the inverse problem on combined the wind and the current account. The features mapping of gyrocompass course electronic line and line track angle of the ship taking into account the wind drift and ship drift on the current on the automatic radar plotting aids display are analyzed. The visual presentation of calculating summary vector of the wind drift velocity and ship drift on the current is given. Proposed method of solving the inverse problem on combined the wind and the current account is relevant in case of impossibility use the automatic control of the ship along a given trajectory when it is necessary continuous supervision for the navigational situation and the situation of convergence with another ships.

Keywords: relative velocity vector of ship-target, true velocity vector of ship-target, velocity vector of ship-observer relatively the water, current velocity vector, summary vector of the wind drift velocity and ship drift on the current.

© Спешілов В. М., Кулініч В. В.

Статтю прийнято
до редакції 15.11.15

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 629.052.9

РОЛЬ І МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ «ГЕОГРАФІЯ СУДНОПЛАВСТВА ТА ОКЕАНСЬКІ ШЛЯХИ СВІТУ» В СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІЇВ

Безлуцька О.П.

Херсонська державна морська академія

У статті висвітлено роль та місце дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» в системі підготовки майбутніх судноводіїв. Визначається мета та завдання дисципліни, компетентнісні вимоги до фахівців. Зроблено акцент на знання, вміння, навички та комунікації, що курсанти мають отримати під час вивчення «Географії судноплавства та океанських шляхів світу».

Ключові слова: географія судноплавства, океанські шляхи світу, підготовка судноводіїв.

Постановка проблеми. У системі загально-професійної підготовки моряка географічна наука посідає одне з найважливіших місць, адже без знання морських просторів, портових територій світу, океанських шляхів та галузевих і регіональних комплексів, не можлива організаційна та професійна діяльність майбутнього судноводія.

Розвиток світового господарства в умовах науково-технічної революції та глобалізації постійно й інтенсивно впливають на морський транспорт. Це обумовлює формування нових морських шляхів та особливих скупчень на певних напрямках, а також посилюється монополізація судноплавства, зміни форм організації перевезень тощо. Все це, у свою чергу, вимагає глибоких професійних знань від працівників як морського так і річкового транспорту, а знання географії судноплавства – це одна з цеглинок фундаментальних професійних знань фахівця.

Спираючись на багатогранність аспектів, які вивчають географічні науки, можна стверджувати, що у процесі інтеграції різних напрямків географічного знання до природничо-суспільного блоку можна додати і географію судноплавства та океанські шляхи світу. У зв'язку з інтенсивним розвитком морської справи та збільшенням попиту, на світовому ринку праці, спеціалістів морської галузі, формується та стає гострою потреба у вдосконаленні саме цієї галузі наукового знання. Логічним є викладання дисципліни «Географія судноплавства й океанські шляхи світу» в морських навчальних закладах для майбутніх судноводіїв.

Аналіз останніх досягнень. Значною проблемою вивчення вказаної дисципліни на сьогоднішній день є недостатня кількість підручників та навчальних посібників, які б давали повне та ґрунтовне уявлення про стан розвитку географії морського судноплавства. Однак, роботи таких вчених як Є. Залевський [1], В. Мартиненко та М. Цимбал [2], Г. Надточій [3], В. Серебряков [5], М. Ханін [6] допомагають майбутнім фахівцям скласти уявлення про процеси та явища, що відбуваються на ринку морських перевезень. Але при цьому, слід зазначити, що більшість праць є досить застарілими та втратили свою актуальність.

Мета даної статті проаналізувати роль і значення дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» в системі підготовки майбутніх судноводіїв.

Основна частина. Навчальним планом підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за спеціальністю «Судноводіння» передбачено вивчення дисципліни «Географії судноплавства та океанські шляхи світу». Знання з географії необхідні майбутнім морським спеціалістам для визначення найбільш безпечного і економічно вигідного шляху для перевезення вантажів та вирішення інших практичних завдань. Також, такі знання нададуть можливість майбутнім фахівцям окреслити шляхи руху судна з метою здійснення економічних порівнянь, узагальнень і висновків, що знадобляться при розрахунку найкоротших і найвигідніших транспортних шляхів суден, флоту, сучасних судноплавних компаній.

З огляду на це дисципліна «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» має дуже важливе значення в освітньо-професійній підготовці бакалаврів морського флоту. Майбутній судноводій повинен мати теоретичні знання і практичні навички в сприйнятті та тлумаченні географічної інформації і виборі безпечних та економічно вигідних шляхів руху судна.

Метою дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу», відповідно до програми морських навчальних закладів – формування у курсантів-судноводіїв знань, вмінь і навичок щодо вільного користування географічними та морськими картами для визначення безпечних та економічно вигідних шляхів для руху суден.

Методичні завдання дисципліни полягають у синтезі навчального матеріалу попередніх та наступних навчальних дисциплін, які формують особистість компетентного фахівця. Розвивати навички практичного застосування ключових і географічних компетентностей, що реалізуються у здатності до оволодіння знаннями, вміннями, навичками та комунікаціями необхідними майбутньому спеціалісту в галузі морського та річкового транспорту.

До пізнавальних завдань дисципліни слід віднести наступні:

- сформувати чітке та правильне розуміння значення географії судноплавства та океанських шляхів світу у професійній діяльності;
- забезпечити розвиток світогляду курсантів та їх інтелектуального потенціалу;
- виробити навички роботи з географічною картою;
- ознайомити курсантів з основними фізико-географічними особливостями Світового океану;
- сформувати навички аналізу міжнародного поділу праці та Світового фрахтового ринку, особливостей перевезення різноманітних вантажів, пасажирських перевезень;
- ознайомити з природно-навігаційними особливостями світових морських шляхів і зовнішньоторгової спеціалізації окремих країн, специфіку регіональних фрахтових ринків;
- сформувати навички оперування географічною термінологією;
- мати уявлення про основні вантажопотоки у Світовому океані.

Серед практичних завдань дисципліни слід виділити формування вміння орієнтуватися на географічних і морських картах та нанесення географічних об'єктів на контурну карту, а також формування навичок прокладання найвигіднішого та безпечного шляху руху судна між різними пунктами Світового океану.

Для засвоєння матеріалу дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» курсанти та студенти повинні знати, розуміти та вміти застосовувати розділи фізичної та економічної географії в тому об'ємі, що вивчається в середній школі.

Вивчення дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» спрямовано на формування загальних, картографічних та професійних компетентностей (табл. 1).

Таблиця 1 – Компетентнісні вимоги до фахівців

№	Компетентність	Компоненти
1	Планування та проведення переходу та визначення місця знаходження	– глибокі знання та практичні навички користування морськими навігаційними картами і посібниками; – використана інформація, отримана за допомогою карт і посібників, повинна відповідати дійсності, правильно тлумачитися та належним чином застосовуватися. Усі потенційні навігаційні небезпеки повинні точно визначатися; – визначення безпечного та найвигіднішого шляху руху судна між різними пунктами Світового океану.

Продовження табл. 1

	Картографічна	– читання та розуміння географічних карт, картограм, картодіаграм; – вміння наносити позначення на контурній карті; – знання особливостей географічних карт як просторових моделей; – знання про картографічні способи зображення; про принципи класифікації карт та основні картографічні джерела; про способи аналізу та використання карт та ін.; – вміння вибирати методи та прийоми картографування природних явищ; використовувати в повному об'ємі картографічну інформацію для отримання географічних знань, а також володіння методами картометрії та способами аналітичного вивчення карт.
2	Організаційна	– вміння та навички організації та планування навчальної діяльності з метою оптимізувати власну навчальну діяльність для отримання максимально-корисного результату.
3	Комунікативна	– комунікація усна і письмова рідною та англійською мовою.
4	Інформаційна	– володіння інформаційними технологіями, уміння опрацьовувати різні види інформації. Серед них уміння й навички роботи з друкованими джерелами, уміння здобувати інформацію з інших джерел, переробляти її відповідно до цілей і завдань – використання комп'ютерних технологій і мережі Інтернет при підготовці необхідних для роботи матеріалів, карт та шляхів руху судна.
5	Пізнавально-інтелектуальна	– розвиток дослідницьких навичок та умінь роботи з науковою літературою та морськими картами; – вироблення вмінь і навичок застосування на практиці аналізу та синтезу наукової інформації отриманої з різних джерел.
6	Автономізація на компетентність	– вироблення стійких умінь і навичок організації та оптимізації самостійної роботи; – здатність до саморозвитку, самовизначення, самоосвіти; – своєчасне виконання самостійних завдань із поточним та відстроченим контролем.
7	Особистісного самовдосконалення	– розвиток уміння сприймати та засвоювати нову інформацію під час навчальної діяльності, на практиці, а також безпосередньо у процесі професійної діяльності; – вироблення мотивації успішного кар'єрного зростання за умови опанування кожною компетентністю навчального курсу.

Слід зазначити, що знання, вміння, навички та комунікації отримані під час вивчення зазначеної дисципліни стане в нагоді курсантам-судноводіям під час вивчення «Метеорології та океанографії», «Навігації і лоції», «Гідрометеорологічного забезпечення мореплавства» тощо. Наприклад, перед тим як приступити до вивчення «Метеорології та океанографії» курсанти повинні ознайомитися зі Світовим океаном та його компонентами, отримати базові знання сучасних можливостей правильного врахування гідрометеорологічних умов певних територій, набути навички моделювання прогнозів клімату, розуміти процеси циркуляції у морському водному середовищі, виявляє закономірності взаємодії атмосфери й океану та ін.

Таким чином, у результаті вивчення дисципліни «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» курсанти повинні:

а) знати:

- основи фізичної географії Світового океану, а також внутрішніх водних шляхів;
- основні завдання та суть географії судноплавства;
- історію розвитку морів Світового океану;
- історію розміщення і географію морських шляхів;
- поняття географічна та морська карта, їх класифікації та особливості;
- усі можливі умовні позначення та способи їх застосування;
- фізико-географічні особливості різних водних шляхів;
- основні вантажопотоки у Світовому океані;
- фактори, що визначають безпеку судноплавства на найважливіших водних шляхах світу.

б) вміти:

- вільно користуватися географічно-морською термінологією;
 - користуватися довідниками й атласами;
 - читати географічні та морські карти;
 - працювати з контурними картами;
 - орієнтуватися на місцевості без допоміжних приладів;
 - вміти аналізувати інформацію, отриману при використанні карт і посібників
- обираючи безпечний і найвигідніший шлях руху судна;
- застосовувати отримані навички на практиці.

в) отримати навички:

- орієнтування за різними видами карт;
- вільно оперувати допоміжним і наочним матеріалом;
- практичного використання карт і посібників;
- оцінки різностороннього впливу небезпечних та особливо небезпечних природних явищ на живучість судна;
- вибору оптимального маршруту судна з урахуванням географічних особливостей відповідних водних шляхів;
- прокладати маршрути суден за допомогою знань і вмінь отриманих протягом навчального курсу.

Висновки. Отже, у системі загально-професійної підготовки майбутнього судноводія, дисципліна «Географія судноплавства та океанські шляхи світу» посідає одне з найважливіших місць, оскільки дає широкий спектр знань про морські простори, портові території світу, особливості використання морських та внутрішніх водних шляхів. Окрім цього, знайомить майбутніх судноводіїв із факторами, що визначають безпеку судноплавства на найвигідніші водні шляхи світу тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Залеский Е. География морского транспорта. Перевод с польского. – М. : Прогресс, 1971. – 367 с.
2. Мартиненко В. Т. География морского судоходства / В. Т. Мартиненко, М. М. Цимбал. – Одесса : Фенікс, 2006. – 244 с.
3. Надточий Г. Л. География морского судоходства : учебник. – М. : Транспорт, 1979. – 295 с.
4. Транспорт і шляхи сполучення : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / В. Я. Савенко, В. А. Гайдукевич. – Рівне: РВЦ Укр. держ. ун-ту вод. користування та природокористування, 2004. – 260 с.
5. Серебряков В. В. География морских путей : учебник для кадров массовых профессий. – М. : Транспорт, 1981. – 190 с.

6. Ханин М. С. Международное морское судоходство. Экономика. Политика : Учеб. пособие. — М. : РосКонсульт, 2001. — 334 с.

REFERENCES:

1. Zaleskiy E. Geografiya morskogo transporta. Perevod s poljskogo. — M. : Progress, 1971. — 367 s.
2. Martinenko V. T. Geografiya morskogo sudnokhostva / V. T. Martinenko, M. M. Cimbal. — Odessa : Feniks, 2006. — 244 s.
3. Nadtochiy G. L. Geografiya morskogo sudokhodstva : uchebnik. — M. : Transport, 1979. — 295 s.
4. Transport i shlyakhi spoluchennya : Pidruch. dlya stud. vith. navch. zakl. / V. Ya. Savenko, V. A. Gaydukevich. — Rivne: RVC Ukr. derzh. un-tu vod. koristuvannya ta prirodo koristuvannya, 2004. — 260 s.
5. Serebryakov V. V. Geografiya morskikh putey : uchebnik dlya kadrov massovihkh professiy. — M. : Transport, 1981. — 190 s.
6. Khanin M. S. Mezhdunarodnoe morskoe sudokhodstvo. Ehkonomika. Politika : Ucheb. posobie. — M. : RosKonsuljt, 2001. — 334 s.

Безлуцька О.П. РОЛЬ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОГРАФИЯ СУДОВОЖДЕНИЯ И ОКЕАНСКИЕ ПУТИ МИРА» В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СУДОВОДИТЕЛЕЙ

В статье освещена роль и место дисциплины «География судоководства и океанские пути мира» в системе подготовки будущих судоководителей. Определена цель и задачи дисциплины, компетентностные требования к специалистам. Сделано акцент на знаниях, умениях, навыках и коммуникациях, которые курсанты должны освоить во время изучения «Географии судоководства и океанских путей мира».

Ключевые слова: география судоководства, океанские пути мира, подготовка судоководителей.

Bezlutska O.P. THE ROLE AND PLACE OF THE DISCIPLINE «GEOGRAPHY OF NAVIGATION AND OCEAN SHIPPING ROUTES OF THE WORLD» IN THE SYSTEM OF TRAINING OF FUTURE NAVIGATORS

The article highlights the role and place of the discipline «Geography of Navigation and Ocean Shipping Routes of the World» in the system of training of future navigators. The learning objectives and tasks of the discipline, guidelines for the competency of professionals have been formulated. The focus is made on knowledge, skills, competencies and communication, which students have to learn and obtain in the process of learning «Geography of Navigation and Ocean Shipping Routes of the World».

Keywords: Geography of Navigation, Ocean Shipping Routes, training of navigators.

© Безлуцька О. П.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.15

УДК 377:331.5:656.61.

РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ КВАЛІФІКОВАНИХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ В НАВЧАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ СУДНОПЛАВНИХ КОМПАНІЙ: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Герганов Л.Д.

Навчальний центр ПрАТ «Українське Дунайське пароплавання», м. Ізмаїл

Проаналізовано сучасний стан розвитку професійної компетентності фахівців морського профілю в навчальних центрах судноплавних компаній у зв'язку з введенням в дію міжнародної Конвенції і Кодексу ПДНВ, з Манільськими поправками. Встановлено, що розвиток професійної компетентності моряка є довготривалим процесом, який передбачає оновлення теоретичних знань, надбання практичного досвіду на судах необхідної потужності, тренування та підтримки психологічного й фізичного стану. Дослідженням доведено, що збільшення задач та вирішення ситуацій, які потрібно розв'язати екіпажу судна вимагають широкого використання у навчальному процесі педагогічних інновацій: різноманітних тренажерів і тренажерних комплексів, використання ситуативної методики на діючому реально-віртуальному тренажерному судні, підвищення рівня психолого-педагогічної підготовки інструкторсько-викладацького складу.

Ключові слова: професійна компетентність, фахівець морського профілю, судноплавна компанія, педагогічні інновації.

Постановка проблеми. Успішна реалізація програм професійного розвитку персоналу позитивно позначається на підвищенні його конкурентоспроможності на зовнішньому та внутрішньому ринках праці. Зокрема, на внутрішньому ринку праці конкурентоспроможність персоналу визначається, насамперед, наявністю творчих здатностей, відповідної спеціальності, належної освіти, рівня кваліфікації, володіння суміжними професіями, здатністю до освоєння нових знань, ініціативністю, професійною мобільністю, неординарністю у прийнятті рішень, прагненням до підтримання трудової дисципліни в колективі тощо; на зовнішньому ринку праці – це професійна компетентність на рівні міжнародних вимог, обізнаність з основними положеннями Конвенції і Кодексу ПДНВ [1] до виконання трудових функцій на судах, володіння професійною іноземною мовою, здатністю працювати на судах з багатонаціональним екіпажем тощо.

Необхідними умовами професійного розвитку працівників підприємств є, як зазначає Радкевич В., їхня зацікавленість власною професією, яка стимулює до оволодіння новими знаннями, прийомами і способами діяльності [2, с. 27–31].

Тенденції розвитку компетентності персоналу для сучасного виробництва в Україні не надто відмінні від країн Європи. Надалі вони будуть наближатися до цих країн в умовах економічної та суспільної глобалізації у зв'язку з тим, що Україна підписала угоду про вступ до Європейської схеми компетенцій (ЕСР), яка, на відміну від Європейської рамки кваліфікації, буде спрямована на конкретну трудову діяльність. Принагідно зазначимо, що розподіл професійної компетентності може бути різний і здебільшого пов'язаний з «національними системами праці».

Відповідно до рекомендацій щодо визнання базових професій при плануванні суміжних професій треба, передусім, врахувати:

- потребу робітників морського профілю у відповідних професіях і кваліфікаціях, які зазначені у судових ролях;
- професійну освіту для самостійного виконання обов'язків на судні у якомога більшому професійному обсязі;
- потенціал до тривалої професійної діяльності;
- достатнє розмежування між професійною діяльністю та потребою у членах екіпажу судна для виконання робіт зі скороченим екіпажем.

Первинними джерелами інформації про потребу моряків до роботи на судах судноплавної компанії і доцільна комплектація їх кваліфікаційним складом згідно

з посадою на судні є попит судноплавної компанії в кадрах та економічна ситуація на морському ринку праці взагалі.

Уряд України визначив основні соціально-економічні орієнтири розвитку держави, серед яких – забезпечення економіки країни кваліфікованою конкурентоспроможною робочою силою, ефективне використання наявного трудового потенціалу, створення нових робочих місць, формування конкурентного на внутрішньому та зовнішньому ринках виробничого персоналу [3, С. 140].

Судновласники, як соціальні партнери у даному разі виконують роль замовників навчальних закладів на виробництві. В ЄС соціальні партнери також відіграють важливу роль у циклі «потреба у фахівцях – професійне навчання – наявність фахівців – зайнятість фахівців». Вони визначають і першу, і останню ланку або, інакше, початок і закінчення процесу професійної підготовки персоналу. Така кооперація є обов'язковою умовою на європейському рівні для організації професійного навчання на робочому місці.

Розвиток професійної компетентності фахівців на морському транспорті завжди був умовою стабільності роботи флоту. Але зміна економічних обставин у державі, введення нових вимог до професійної компетентності моряків на міжнародному рівні та відповідальності судноплавних компаній за якісний стан моряків, змушує судновласників приділяти більшу увагу професійному розвитку моряків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Про важливість такого підходу відмічали у своїх працях як вітчизняні, так і зарубіжні вчені, які досліджували проблеми професійного становлення робітника на виробництві: Ничкало Н., Радкевич В., Савченко В., Сенченко І., Стариков І., Ховов О., Шкодін М., дослідження яких спрямовані на підвищення кваліфікації кадрового потенціалу підприємств, формування системи підготовки кадрів за умови проходження ступеневого навчання.

Проблеми організації навчального процесу в ПТНЗ і на виробництві, його науково-методичного забезпечення, досліджувались Батишевим С., Думченко Н., Кравцовим Н., Лейбовичем А., Новиковим О., Радкевич В., Стариковим І., Щербак О.

Проблеми обґрунтування змісту підготовки кваліфікованих робітників широкого профілю розкриті у працях Біляєвої А., Іщенко Т., Носаченко І., Федотової Л., Шильнікової А. та ін.

Метою статті є узагальнення досвіду та застосування сучасних педагогічних технологій розвитку професійної компетентності фахівців морського профілю в навчальних центрах судноплавних компаній. Розглядаючи, з цього приводу, комплекс проблем, які склались у системі підготовки рядового плавскладу морських суден як в умовах виробництва, так і в ПТНЗ, зазначимо, що за останні десять років кількість та якість такої підготовки незмінно знижується, це пов'язано з багатьма чинниками. Розглянемо їх для кожної із систем.

Навчальні заклади на виробництві (навчально-курсіві комбінати (НКК), навчальні центри (НЦ), навчально-тренажерні центри (НТЦ) та ін.) таку ситуацію пов'язують з тим, що державна стратегія професійного навчання кадрів на виробництві потребує реформування, оскільки у зв'язку з економічними та науково-технічними змінами на міжнародному ринку праці; темпи й рівень підготовки кваліфікованих робітників недостатньо задовольняють роботодавців і не відповідають потребам сучасного виробництва, а традиційна політика професійного навчання персоналу на виробництві застаріла й немає гнучкості для нових форм власності, міжнародних вимог у морській галузі; організаційно-педагогічні умови навчання потребують удосконалення. Служби управління персоналом підприємств більше приділяють увагу комплектації суден, але не враховують в повному обсязі кар'єрне зростання кваліфікації робітничого персоналу, що не відповідає темпам розвитку і техніко-технологічним змінам у морській галузі; рівень психолого-педагогічної підготовленості інструкторсько-викладацького складу потребує вдосконалення для впровадження гнучких технологій навчання, сучасних організаційно-педагогічних форм професійного навчання, навчально-методичного забезпечення

професійного навчання персоналу на виробництві. Потреба в удосконаленні та подальшому оновленні професійної підготовки персоналу на виробництві пов'язана, передусім, зі змінами у морській галузі, що є результатом упровадження Манільських поправок до Конвенції та Кодексу ПДНВ. Також відзначимо, що різке скорочення вантажопотоків на морському транспорті й перехід екіпажів суден на роботу зі скороченим складом спричинили скорочення і плавскладу суднохідних компаній.

Для ПТНЗ – це втрата базових підприємств, що ускладнило проходження як виробничої, так і плавальної практики учнів, а навчально-виробнича база, у зв'язку з модернізацією флоту і широким впровадженням автоматизованих систем управління, відстає від вимог судовласників до рівня знань випускників, значні зміни до професійної компетентності працівника морського профілю, які викликані переглядом Конвенції та Кодексу ПДНВ, повністю змінили парадигму професійної підготовки моряків.

Такі вимоги викликані тим, що новими правилами Конвенції ПДНВ (правила II/5, III/5, III/7) запроваджені вимоги до стандартів компетентності для кваліфікованого матроса, кваліфікованого моториста, електрика судового. Встановлено необхідність порівняння чинних стандартів компетентності цих осіб з тими, які передбачені відповідними розділами частини А Кодексу ПДНВ (А-II/5, А-III/5, А-III/7), визначення необхідності підвищення кваліфікації цими особами та оцінювання їх компетентності. Таким чином, якщо фахівці морського профілю були атестовані за стандартами компетентності, зазначеними в частині А Кодексу ПДНВ, які діяли до 01.07.2013, то у подальшому вони, для отримання нових кваліфікаційних свідоцтв, мають пройти відповідну допідготовку й оцінювання компетентності у державній кваліфікаційній комісії з метою їх дипломування за новими Правилами для роботи на морських судах.

У зв'язку з нововведенням у професійну підготовку моряків виникає потреба розглянути загальнотеоретичні положення щодо розвитку професійної компетентності робітників морського профілю на виробництві. Сутність і специфіку розвитку професійної компетентності моряка треба розглядати з позиції вимог Конвенції та Кодексу ПДНВ, оскільки вони сконцентрували міжнародний досвід професійної діяльності моряків, досвід розслідування аварій з морськими суднами, мають намір сприяти безпеці життя й майна на морі, захисту морського середовища шляхом впровадження міжнародних стандартів з підготовки і дипломування моряків та несення вахти. Крім цього, є значні напрацювання науковців різних країн з проблеми розвитку професійної компетентності у багатьох галузях.

Проте, залишається недостатньо дослідженою проблема розвитку професійної компетентності робітників морського профілю безпосередньо в судноплавних компаніях із врахуванням сучасних дидактичних засад, вимог державних стандартів ПТО, інноваційних педагогічних технологій, інтегрованих освітніх програм, забезпечення єдності змісту, форм, методів і умов навчання, а також сучасного науково-методичного забезпечення тощо.

Для морської галузі проблема професійної компетентності актуальним тому, що Резолюцією 7 Конвенції ПДНВ встановлена відповідальність судноплавних компаній за підбір і підготовку кадрів моряків, а також визнається, що ефективність процесів відбору, підготовки й дипломування моряків може бути оцінена лише на підставі навичок, умінь і здатностей, які вони демонструють під час роботи на судні. Рекомендовано вживати заходів щодо усунення усіх недоліків, які пов'язані з необхідністю контролю та відповідальністю компанії за розвиток професійної компетентності моряків відповідно до вимог мінімальних стандартів компетентності. Впровадження науково-обґрунтованого підходу до професійної підготовки моряків із врахуванням вимог Кодексу ПДНВ до їхньої професійної компетентності дає можливість підняти їхній професіоналізм до рівня міжнародних стандартів. Такий підхід також зумовлений необхідністю переходу судноплавних компаній до роботи з використанням у своїй діяльності системи якості

ISO 9001-2009, без дотримання вимог якої неможливий професійний розвиток персоналу й досягнення стратегічних цілей компанії на міжнародному ринку перевезень.

Отже, постає необхідність управління отриманими в навчальному закладі найважливішими знаннями, підтримання їх на рівні, який необхідний для судновласника, оновлення їх через певні проміжки часу, крім цього, збільшується кількість службових завдань, які доводиться розв'язувати екіпажеві у процесі виконання рейсу, що вимагає широкого впровадження у навчальний процес різноманітних тренажерів і тренажерних комплексів, пред'являються високі вимоги до забезпечення безпеки пасажирів, екіпажу та збереження вантажів. Наявна система підготовки рядового складу суден (матросів, мотористів, судових електриків) серйозно не відповідає вимогам, які містяться в Конвенції та Кодексі ПДНВ.

Проведене дослідження у навчальних підрозділах судноплавних компаній України дало змогу виявити окремі недоліки в розвитку професійної компетентності робітників морського профілю:

- формування контингенту слухачів курсів для професійного навчання відбувається за вимогами підрозділів підприємств у формі заяв, без необхідного вивчення ринку праці та з'ясування перспектив забезпечення їхнього професійного зростання;
- професійне навчання слухачів курсів не завжди має під собою підґрунтя та можливості для проведення цих занять на нових судах із сучасним обладнанням, що не дає можливості якісно розвивати рівень їхньої професійної компетентності;
- під час професійного навчання слухачі курсів недостатньо опановують наданий теоретичний матеріал з використанням сучасних інформаційних технологій, а це веде до зниження рівня їхньої кваліфікації з професії.

У свою чергу, Конвенція та Кодекс ПДНВ (Правило I/6 та Розділ А – I/6) приділяють особливу увагу кваліфікації інструкторів, викладачів та екзаменаторів, які повинні мати належну кваліфікацію з конкретних видів професійної підготовки, або оцінювання компетентності моряка на судні чи на березі, а саме:

- добре освоїти програму професійної підготовки й розуміти спеціальні завдання конкретного виду проведеної підготовки;
- бути кваліфікованим у навчальних питаннях, з яких провадиться підготовка;
- якщо підготовка відбувається з використанням тренажеру, треба отримати додаткову психолого-педагогічну підготовку з технології проведення навчання, а також мати практичний досвід роботи на тренажері даного типу.

Інструкторсько-викладацький склад навчального закладу на виробництві для проведення професійної підготовки робітників морського профілю обов'язково має пройти допідготовку з питань професійної і спеціальної підготовки моряків та атестацію у незалежній комісії Укррічморінспекції з Типового курсу ІМО 6.09. – «Курс підготовки для інструкторів» і Типового курсу ІМО 3.12. – «Оцінка компетентності, проведення екзаменів та дипломування моряків» і Резолюції MSC/64(67) [4, С. 117].

Професійне навчання фахівців морського профілю в судноплавних компаніях треба розглядати як педагогічну систему, в основу якої покладені принципи андрагогіки та яка спрямована надати допомогу судновласникам у комплектуванні екіпажів морських суден компетентним й кваліфікованим персоналом, а також формування у моряків професіоналізму, майстерності, сучасного економічного мислення, вміння працювати у нових економічних умовах.

Проведене дослідження з розвитку професійної компетентності моряків і досвід національних і міжнародних судноплавних компаній дає можливість зробити висновок, що це досить складний і тривалий процес, який вимагає накопичення певних професійних навичок і значного практичного досвіду, розвитку професійно важливих якостей, передусім ділової активності, енергійності, вміння працювати в команді тощо. Ці вимоги відображені в мінімальних стандартах компетентності допоміжного рівня, які входять до складу навігаційної вахти (табл. А-II/4 колонка 1 Кодексу ПДНВ) і включені в сферу

компетенції осіб рядового складу щодо вміння працювати в команді, прагнення до лідерства та взаємодії. Аналогічні компетенції включено і в специфікації мінімальних стандартів компетентності допоміжного рівня машинної команди (табл. А – III/4 колонка 1 Кодексу ПДНВ).

Професійне навчання у даному разі розглядається як засіб посилення конкурентоспроможності робітників морського профілю на міжнародному ринку праці та гарантії взаємодії країн при здійсненні безпечного судноплавства, зменшення аварійності, що спричинено професійною некомпетентністю людського чинника на флоті. При цьому міжнародні вимоги до підготовки фахівців для морської галузі стають провідними чинниками при наданні послуг з професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації персоналу судноплавних компаній.

Судновласник змушений використовувати внутрішні резерви для розвитку професійно підготовлених екіпажів суден шляхом організації внутрішньофірмової підготовки персоналу, що має характеризуватися високим ступенем гнучкості, безперервності та відкритості. Така підготовка має забезпечувати потреби судновласника у кваліфікованих робітничих кадрах й розвиток професійної компетентності при заданому рівні кваліфікації. Кодекс ПДНВ зазначає, що рівень професійної підготовки має відповідати вимогам належного виконання моряком функцій на судні із врахуванням критеріїв, узгоджених на міжнародному рівні, і включати прописані стандарти чи рівень знань, розуміння і продемонстрованих навичок. Крім цього, в Кодексі ПДНВ чітко прописано таке важливе поняття, як професійна придатність, яка встановлюється шляхом:

- з'ясування наявності стажу роботи на судні під час виконання функцій, згідно з наявним дипломом, строком не менше одного року з попередніх п'яти;
- проходження встановленої перевірки, або успішного закінчення відповідного курсу;
- проходження курсів перепідготовки та підвищення кваліфікації щодо охорони життя на морі, охорони й захисту морського середовища, а також приймати до уваги будь-які вдосконалення відповідного стандарту компетентності [1, С. 152].

Професійна підготовка робітників морського профілю через навчальні заклади підприємств морегосподарського комплексу безпосередньо впливає на якість послуг з перевезення пасажирів або вантажу судновласником і постійно перебуває у полі зору керівництва. Судновласник зацікавлений у комплектуванні своїх суден професійно компетентним персоналом, який у процесі навчання проходив плавальну практику на його суднах, отримав відповідні міжнародні сертифікати зі спеціальної та спеціалізованої підготовки згідно з вимогами ІМО й зарекомендував себе як перспективний потенціал компанії. Керівництво судноплавної компанії для підвищення якості професійної підготовки своїх робітників має можливість виділяти кошти на:

- придбання сучасних тренажерів і тренажерних комплексів;
- розроблення й затвердження навчальних програм відповідно до рекомендацій ІМО-моделей курсів;
- залучення до професійного навчання висококваліфікованих фахівців компанії як викладачів та інструкторів виробничого навчання з огляду на те, що вони мають досвід роботи на суднах сучасного типу;
- організації проходження спеціальної та спеціалізованої підготовки і виробничої практики на своїх навчально-тренажерних суднах;
- виділення місць на суднах для проходження плавальної практики;
- проходження виробничої практики на базах технічного обслуговування флоту та для відпрацювання практичних і лабораторних робіт.

Розвиток професійної компетентності моряка прискорюється, якщо здійснюється за програмою комплексного навчання, яка включає використання у навчальному процесі навчально-тренажерного обладнання, де всі потенційні екстремальні ситуації відпрацьовуються в реальному режимі. Відпрацювання необхідних прийомів, навичок

і вмінь у різних умовах роботи судна на таких тренажерах допомагає розвивати певний тип практичного мислення, необхідний для роботи в морі і дає підставу в подальшому більш ефективно вдосконалювати професійну діяльність моряків.

Однак, попри багато переваг такого підходу, зазначимо, що є й певні труднощі, які навчальному закладу на виробництві самостійно вирішити неможливо:

- недостатнє науково-методичне та навчально-методичне забезпечення навчального процесу;
- відсутність цільового забезпечення нормативною документацією, навчальними посібниками, електронними підручниками, які безпосередньо призначені для підготовки робочих кадрів на виробництві;
- слабка психолого-педагогічна підготовка інструкторсько-викладацького складу;
- недостатнє організаційно-педагогічне опрацювання навчання на тренажерах і при проходженні курсів спеціальної та спеціалізованої підготовки.

Як приклад, впровадження педагогічної інновації до розвитку професійної компетентності робітників морського профілю розглянемо традиційну та інноваційну системи професійної підготовки робітників морського профілю у Відокремленому підрозділі «Учбовий центр» ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство», який зміг встояти й зберегти діяльність з професійної підготовки моряків у складні перебудовні часи.

Завдяки спільній співпраці Учбового центру «УДП» та Інституту професійно-технічної освіти НАПН України, Учбовий центр «УДП» внесений до Переліку навчально-тренажерних закладів, підготовка в яких відповідає вимогам міжнародної Конвенції та Кодексу ПДНВ по 36-ти напрямках. Уся навчально-методична документація була перевірена, оновлена з урахуванням Манільських поправок до ПДНВ, а навчальні плани і програми відкориговані відповідно до рекомендованих Типових Модельних курсів ІМО та затверджені в Укрморрічінспекції.

Під навчальні програми розроблено нові методичні матеріали з кожного напрямку підготовки, враховані специфіка їх проведення та особливості практичного відпрацювання. Розроблені з урахуванням нових вимог тестові завдання і вправи з використанням ситуаційної методики, що дає змогу вирішувати комплекс завдань з виникненням на судні аварійних і нестандартних ситуацій. Уся навчально-матеріальна база приведена у відповідність до вимог навчальних програм, заплановано широке використання в навчальному процесі інформаційних технологій із застосуванням сучасного програмного забезпечення, придбані зразки нової техніки та технологічного обладнання, яке використовується на сучасних судах. Інструкторсько-викладацьким складом проведені роботи по оновленню тренажерів і суднового обладнання, яке використовується в навчальному процесі при професійній, спеціальній і спеціалізованій підготовці.

Висновок. Проведене дослідження виявило і певні недоліки, на які треба звернути увагу в процесі розвитку професійної компетентності моряка, а саме:

- слабка загальноосвітня підготовка слухачів, яка ускладнює освоєння всього комплексу знань для роботи на сучасних судах;
- стримане ставлення капітанів суден до працевлаштування молодих кадрів, які пройшли професійну підготовку в умовах виробництва, з приводу малого практичного досвіду роботи на судах;
- недостатня робота відділів управління персоналом компаній та інших підрозділів зі слухачами курсів у процесі проходження їх навчання (бесіди, анкетування, зустрічі, участь у спільних заходах, що проводяться колективом пароплавства тощо);
- недостатня психолого-педагогічна підготовка інструкторсько-викладацького складу курсів, відсутність досвіду роботи й уміння правильно здійснювати професійну орієнтацію молоді на освоєння морської професії.

Система професійного навчання фахівців морського профілю в судноплавних компаніях потребує подальшого дослідження й має забезпечувати не лише розвиток професійної компетентності, а й виховувати його як особистість і громадянина, який буде гідно представляти нашу країну на судах іноземних судновласників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (консолідований текст з манільськими поправками) – К. : ВПК «Експрес-Поліграф», 2012. – 568 с.
2. Радкевич В. О. Сучасні чинники розвитку професійного навчання в умовах виробництва / В. О. Радкевич // Професійне навчання на виробництві : зб.наук.праць / [ред.кол. : В. О. Радкевич (голова) та ін.]. – К. : Вид-во Інституту професійно-технічної освіти НАПН України, 2011. – Вип.4. – С. 18-27.
3. Актуальні питання підготовки робітничих кадрів для промисловості : Матеріали і документи Всеукраїнського семінару-наради у м. Донецьк. – К. : МОН України, 2007. – 140 с.
4. Тематический указатель документов ИМО по безопасности судоходства и предотвращению загрязнения окружающей среды: в 12 т. Т.1. [Серия : Официальная библиотека моряка]. – Одесса : Инф.-изд. центр «Укрморинформ», 2000. – 240 с.

REFERENCES

1. Mizhnarodna konvenciya pro pidgotovku i diplomuvannya moryakiv ta nesennya vakhti 1978 roku (konsolidovaniyj tekst z maniljsjkimi popravkami) – K. : VPK «Ekspres-Poligraf», 2012. – 568 s.
2. Radkevich V. O. Suchasni chinniki rozvitku profesijjnogo navchannya v umovakh virobniictva / V. O. Radkevich // Profesiynne navchannya na virobniictvi : zb.nauk.pracj / [red. kol. : V. O. Radkevich (golova) ta in.]. – K. : Vid-vo Institutu profesijjno-tekhnichnoї osviti NAPN Ukraїni, 2011. – Vip.4. – S. 18-27.
3. Aktualjni pitannya pidgotovki robitnichikh kadriv dlya promislovosti : Materiali i dokumenti Vseukraїnsjko seminaru-naradi u m. Donecjk. – K. : MON Ukraїni, 2007. – 140 s.
4. Tematicheskijj ukazatelj dokumentov IMO po bezopasnosti sudokhodstva i predotvratheniya zagryazneniya okruzhayutheyj sredih: v 12 t. T.1. [Seriya : Oficialjnaya biblioteka moryaka]. – Odessa : Inf.-izd. centr «Ukrmorinform», 2000. – 240 s.

Герганов Л.Д. РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ МОРСКОГО ПРОФИЛЯ В УЧЕБНЫХ ЦЕНТРАХ СУДОПЛАВНЫХ КОМПАНИЙ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Проанализировано современное состояние развития профессиональной компетентности специалистов морского профиля в учебных центрах судоходных компаний в связи с введением в действие международной Конвенции и Кодекса ПДНВ, с Манильскими поправками. Установлено, что развитие профессиональной компетентности моряка является долговременным процессом, который предполагает обновление теоретических знаний, приобретение практического опыта на судах необходимой мощности, тренировки и поддержания психологического и физического состояния. Проведенное исследование показало, что увеличение задач и разрешения ситуаций, которые нужно решить экипажу судна требуют широкого использования в учебном процессе педагогических инноваций: разнообразных тренажеров и тренажерных комплексов, использование ситуационной методики на действующем реально-виртуальном тренажерном судне, повышения уровня психолого-педагогической подготовки инструкторско-преподавательского состава.

Ключевые слова: профессиональная компетентность, специалист морского профиля, судоходная компания, педагогические инновации.

Gerganov L.D. THE DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF QUALIFIED MARITIME TRAINING CENTERS PROFILE SUDOPLAVNYH COMPANIES: TRENDS AND PERSPECTIVES

The current state of professional competency of marine profile specialists in training centers of shipping companies in connection with the adoption of the International Convention and STCW Code with Manila amendments is analyzed. It is determined that the development of professional competency of a seafarer is a long-term process that involves the update the theoretical knowledge, acquiring of practical experience on vessels of the required capacity, practice and maintaining psychological and physical condition. It is proved by studies that an increase in problems and resolution of the situations which must be solved by crewmembers, require a wide usage in educational process of pedagogical innovations: a variety of simulators and simulator complexes, the use of situational techniques on functioning real-virtual training vessel, the raising of psycho-pedagogical level of training of instructors and teaching staff.

Keywords: professional competency, marine profile specialist, the shipping company, pedagogical innovation

© Герганов Л.Д.

Статтю прийнято
до редакції 14.11.15

УДК 378.14

ОСОБЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Евдокимова В.А.

Херсонская государственная морская академия

Кисляк Р.П.

Психологический центр, г. Макеевка

Хаев Л.Г.

Служба помощи, г. Берлин Германия

Шупик И.Е.

Херсонский национальный технический университет

В статье рассмотрены особенности личности студента как составляющие его профессиональной компетентности. Указаны тенденции развития общества, повышающие вклад личностных свойств в профессиональную компетентность. Отмечена важность проблемы создания системы определения и развития, кроме знаний, умений и навыков, личностной, прежде всего, коммуникативной компетентности выпускника вуза. Разработана система психодиагностических методик, позволяющая эффективно выявлять психофизиологические и психологические характеристики студентов вуза. Показаны половые различия психофизиологических и психологических характеристик студентов вуза, влияние семейного положения (вступления в брак) на основные психофизические и личностные свойства, установлены взаимосвязи различных показателей психофизиологических и психологических характеристик студентов вуза, имеющие высокую статистическую значимость.

Ключевые слова: профессиональная компетентность, психофизиологические свойства, особенности личности, психодиагностический комплекс, половые различия.

Актуальность исследования. Процесс развития современного общества предполагает параллельный и взаимосвязанный с первым процесс развития личности, решение акмеологических задач. В западной социологии, психологии и педагогике получил развитие ставший классическим подход Ю. Хабермаса, трактующий развитие как овладение набором «компетенций» [1]. Наиболее широким понятием этого круга является жизненная компетентность индивида: многоаспектная характеристика результатов его обучения, воспитания, развития и социализации; качество, позволяющее эффективно функционировать в обществе, дифференцировать общественные требования и переводить их в персональные; качество, формируемое путем межличностного взаимодействия и обеспечивающее развитие личности; система внутренних регуляторов, морально-ценностное отношение к жизни, формируемое путем усвоения моральных норм и духовных ценностей общества. Понятие жизненной компетентности охватывает знания, умения и навыки индивида, его способности и способы деятельности, возможности восприятия, понимания, использования и создания материальных и духовных ценностей общества [2].

Важной частью жизненной компетентности, которой в последнее время уделяется особое внимание, является социальная компетентность – результат процесса социализации индивида [3, 2]. Ключевым звеном самых различных сфер компетентности является коммуникативная компетентность – совокупность способностей, знаний, умений и навыков в сфере межличностного общения [3, 4, 1].

Любая «компетенция», компетентность индивида в любой сфере деятельности является, по преимуществу, результатом совокупности процессов его обучения, «конечным продуктом» системы образования [5]. Компетентность выпускника любого образовательного заведения – от детского сада до докторантуры – складывается из профессиональной и личностной компетентности. Первая – это совокупность знаний, умений и навыков в определенной области деятельности, вторая – комплекс качеств, свойств индивида [6, 3, 7, 8].

Профессиональная компетентность выпускника вуза должна обеспечить как некий начальный, исходный уровень эффективности, успешности профессиональной деятельности, так и его способность к достаточно быстрому и существенному количественному и качественному повышению ее характеристик [9]. Основными составляющими профессиональной компетентности являются так называемые базовые компетенции [8]. Для развития компетентности (сверх отдельных знаний, умений и навыков) разработаны особые средства (сверх традиционных форм занятий), прежде всего, различные тренинги [4; 8; 5], активные методы обучения, ролевые и деловые игры и т.п.

Важной чертой компетентностного подхода, как и всякого другого, претендующего на системный охват, является наличие в его основе глобальной идеологии и системы контроля. На его базе в западном мире проведены широкомасштабные реформы систем образования, затрагивающие школы, профессиональные училища и вузы. Их результатом стало резкое сокращение объема знаний, умений и навыков на всех уровнях образовательной системы и, особенно, понимания закономерностей, правил и алгоритмов. Введена тотальная зубрежка, тестирование и усвоение простейших социальных навыков. Итогом явилась глобальная разбалансировка рынка труда: при наличии значительной явной и скрытой безработицы и высокой формальной производительности системы образования работодатели годами не могут найти себе нужных специалистов.

Развитие современного западного общества потребления приводит к снижению в структуре потребления роли товаров и повышению роли услуг, сужению сферы производства и расширению сферы распределения (Ж. Бодрийяр). Соответствующее этой тенденции изменение структуры потребности в специалистах (меньше ученых, инженеров, врачей, больше менеджеров, уполномоченных, порученцев) влечет за собой снижение роли знаний и умений и повышение роли личностных качеств выпускников, прежде всего, их коммуникативной компетентности.

Характерно, что при встречах вузовских работников с работодателями первые «нажимают» на оценки выпускника, а вторые пытаются выяснить «что это за человек». Возможно, личностные качества выпускников наших вузов и неплохи, но информация о них совершенно отсутствует. В лучшую сторону отличаются здесь военные учебные заведения.

Кроме того, система оценки личностных качеств студентов является составной частью системы обратной связи, обеспечивающей саму возможность продуктивной работы вуза и эффективного управления им [7]. «Продуктом» вуза являются не знания и умения, а специалисты, поэтому исключение из рассмотрения особенностей личности выпускника снижает востребованность его рабочей силы на рынке труда вследствие «непрозрачности рыночных отношений».

Система оценки качеств студентов должна быть компактной, нетрудоемкой и обеспечивать получение достаточно широкого набора характеристик. Она должна включать показатели свойств различного уровня: физических и психофизических характеристик, отдельных черт личности, мотивационно-потребностной сферы. Последняя является ядром личности, включающим потребности, мотивы, ценности и представляет собой внутренний регулятор поведения индивида. Ее показатели зависят как от половозрастных, так и от социальных характеристик индивида [6; 10].

Учитывая резко набирающую силу в последнее время в нашей стране тенденцию давать социально желательные ответы на вопросы тестов, такую систему целесообразно построить на основе информативных психомоторных и сенсомоторных тестов, возможность манипулирования результатами которых со стороны респондента минимальна [11; 12].

Целью работы было создание и апробирование системы оценки личностных качеств студентов, установление особенностей личности студентов вуза.

Можно предположить, что:

- личностная, прежде всего, коммуникативная компетентность специалиста определяется психофизиологическими качествами, мотивационно-потребностным ядром личности и её коммуникативными умениями и навыками, причём первые в значительной мере врождены, вторые являются продуктом развития и воспитания, третьи – специального обучения;

- предпосылки развития коммуникативной компетентности индивида имеют выраженную половозрастную специфику, а также зависят от степени его социализации, прежде всего, от семейного положения.

Результаты исследования. Экспериментальную часть работы выполняли на базе одного из вузов Донбасса. Объём выборки составил 80 студентов дневного отделения различных специальностей, из них 40 юношей и 40 девушек, в том числе 20 пар, состоящих в браке и 40 студентов, не состоящих в браке. При анкетировании фиксировали характеристики двух категорий:

- демографические – возраст, тип родительской семьи (наличие родителей), число сиблингов, номер по порядку рождения, семейное положение;
- социологические – образование, обеспеченность жильём, место жительства.

Показатели моторики кисти и силу нервных процессов изучали групповым методом с помощью теппинг-теста Е. П. Ильина [11; 13, с. 186; 14, с. 232, 15, с. 528; 16, с. 220]. Характеристики внимания определяли с помощью корректурной пробы (теста Бурдона) на буквенном материале размером 14 пт [13, с. 7; 14, с. 128; 16, с. 92]. Развитие мелкой моторики кисти и уровень притязаний личности диагностировали с помощью моторной пробы Шварцландера [13, с. 277].

Методика определения уровня самооценки личности С. А. Будасси в модификации Ю. Я. Киселева позволила, кроме того, выделить предпочитаемые и отвергаемые индивидом качества личности [13, с. 268]. Уровень креативности и особенности ассоциативного мышления студентов устанавливали с помощью теста Гилфорда в собственной модификации [13, с. 148]. Структуру потребностей личности и степень их удовлетворения устанавливали методом парных сравнений 15 основных потребностей [13, с. 421; 8, с. 624].

Таким образом получили 90 независимых индивидуальных характеристик каждого респондента. Для анализа различий особенностей юношей и девушек, а также состоящих и не состоящих в браке студентов использовали дескриптивный анализ. Гипотезы о статистически значимых различиях между группами респондентов проверяли с помощью критерия Стьюдента [7, с. 276, 339]. Ниже обсуждены лишь те показатели, различия которых у обследованных групп респондентов явились статистически значимыми.

Средний возраст всех групп респондентов – 20,4 года, сумма возрастов отца и матери при рождении ребёнка – 50 лет, разница возрастов отца и матери – 2,7 года, средний номер ребёнка в семье – 1,5.

По результатам теппинг-теста был получен ряд показателей степени самоконтроля моторики кисти. Степень самоконтроля моторики по всем трём показателям у девушек выше, чем у юношей (рис. 1а). После вступления в брак степень самоконтроля моторики снижается. Повышенная степень самоконтроля является одним из признаков «мышечного панциря» по В. Райху. Она не обеспечивает необходимого расслабления и отдыха организма, держит его в состоянии постоянного напряжения, соответствует недостаточно доверительным межличностным отношениям, стремлению всё и всегда держать под контролем [17, с. 10].

Максимальные возможности мелкой моторики кисти у девушек выше, чем у юношей (рис. 1б). Из литературы известно, что мужчины превосходят противоположный пол в силе и выносливости, а женщины – в ловкости выполнения мелких движений [18]. Таким образом, полученные данные соответствуют литературным.

После вступления в брак жизненный тонус, уровень общей энергетики организма повышается, особенно, у юношей. Учитывали, что различия значений качеств юношей и девушек определяются как половым диморфизмом, так и социальными факторами, в том числе, социальным статусом и семейным положением, особенно акцентируемыми феминистски настроенными авторами [18].

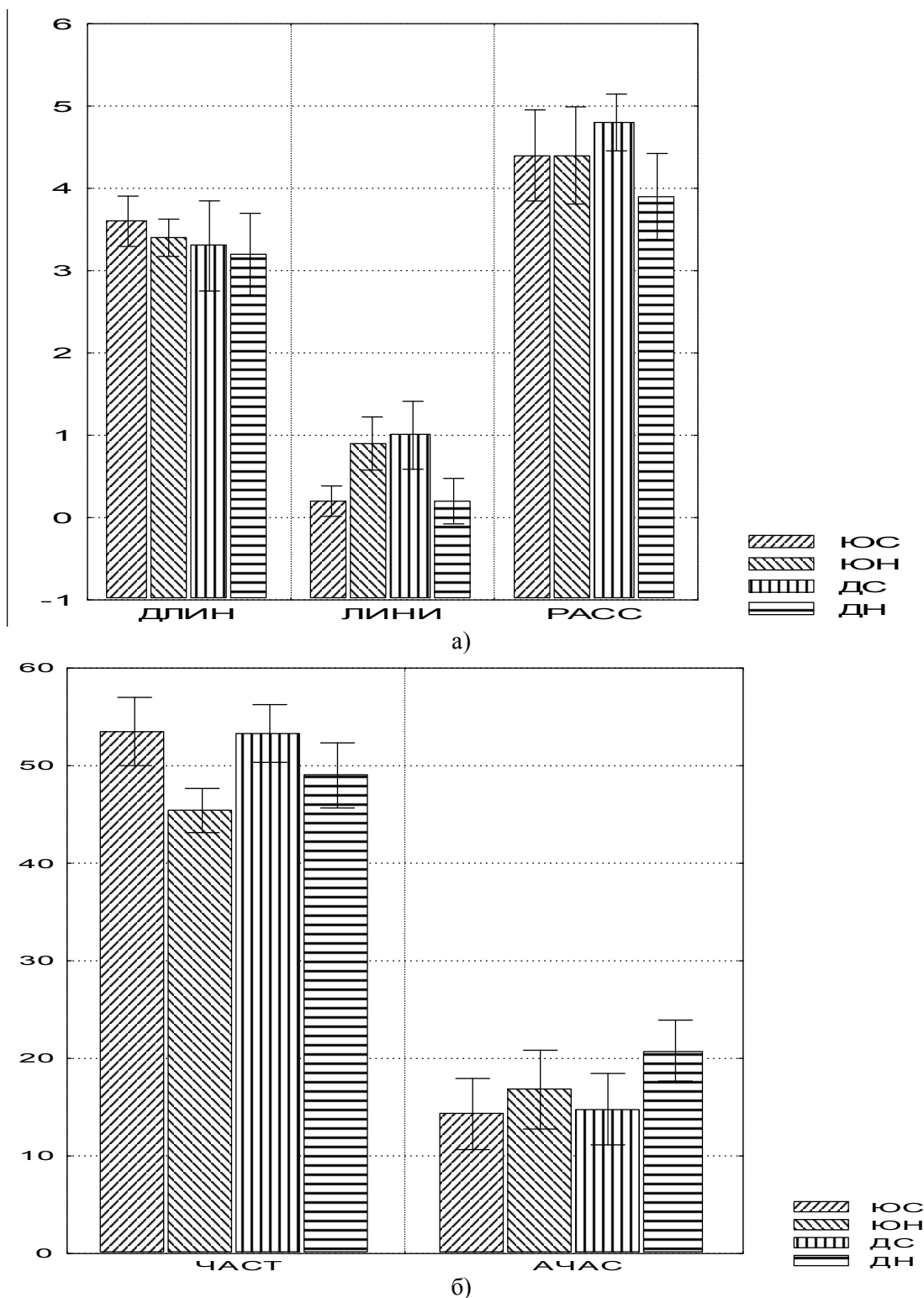


Рисунок 1 – Психофизиологические характеристики студентов:

а) ДЛИН – показатель самоконтроля моторики (-); ЛИНИ – показатель самоконтроля моторики; РАСС – показатель самоконтроля моторики (-); б) ЧАСТ – уровень развития моторики кисти, общей энергетики; АЧАС – функциональная асимметрия моторики кисти. ЮС – юноши, состоящие в браке; ЮН – юноши, не состоящие в браке; ДС – девушки, состоящие в браке; ДН – девушки, не состоящие в браке

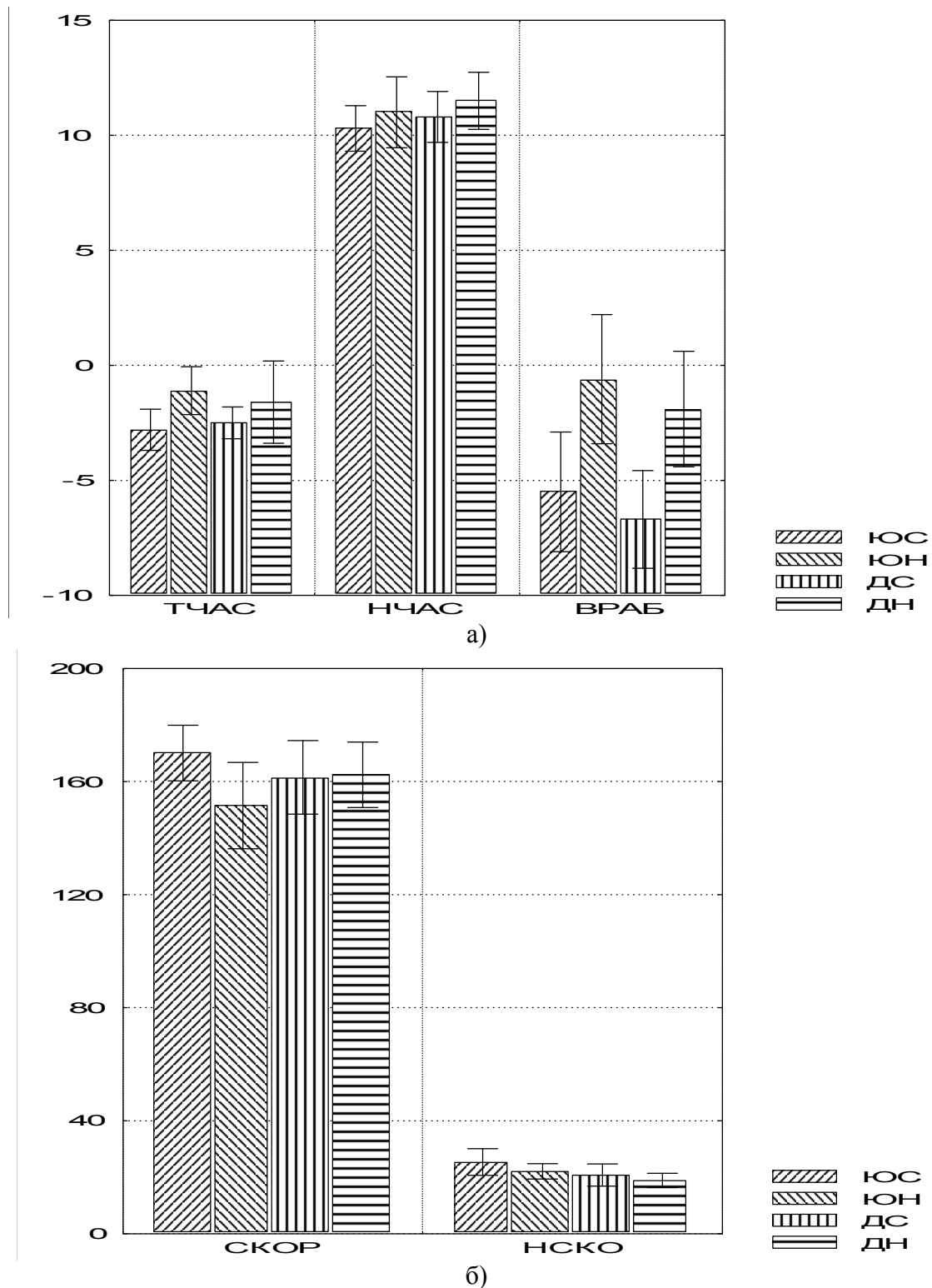


Рисунок 2 – Психофизиологические характеристики студентов:

а) ТЧАС – показатель силы нервных процессов; НЧАС – показатель нестабильности моторики; ВРАБ – выраженность процесса вработывания; б) СКОР – показатель среднего объема внимания; НСКО – показатель нестабильности объема внимания. ЮС – юноши, состоящие в браке; ЮН – юноши, не состоящие в браке; ДС – девушки, состоящие в браке; ДН – девушки, не состоящие в браке

Функциональная асимметрия моторики кисти, то есть разница продуктивности деятельности правой и левой рук у девушек выше, чем у юношей (рис. 1б). После вступления в брак эта асимметрия значительно снижается, особенно, у девушек. Иначе говоря, руки сближаются по своим функциональным возможностям в направлении

амбидекстрии. Это свидетельствует также и об изменениях функционального баланса полушарий головного мозга.

Сила нервных процессов у мужчин незначительно выше, после вступления в брак она снижается, особенно, у мужчин (рис. 2а). Это можно интерпретировать как повышение чувствительности индивидов, состоящих в браке. Нестабильность моторики выше у девушек (рис. 2а), что соответствует литературным данным [18]. После вступления в брак нестабильность незначительно снижается как у юношей, так и у девушек. Процесс вработывания у мужчин выражен сильнее, то есть подтверждается их большая сила нервных процессов (рис. 2а). После вступления в брак вработывание становится менее выраженным, то есть подтверждается снижение силы нервных процессов у состоящих в браке, как у мужчин, так и у женщин.

Пол не влияет на объём внимания студентов (рис. 2б). У состоящих в браке объём внимания выше, особенно, у мужчин. Это может быть связано с повышением общей энергетики организма, высвобождением его резервных возможностей, которое тоже выше у мужчин. Нестабильность объёма внимания выше у мужчин (рис. 2б). После вступления в брак эта нестабильность незначительно растёт.

Сила нервных процессов, определённая по корректурной пробе, у девушек ниже (рис. 2). У состоящих в браке она ниже, особенно, у мужчин, что соответствует результату, полученному в теппинг-тесте (рис. 2б). Концентрация внимания у женщин выше, чем у мужчин (рис. 3а). У состоящих в браке концентрация внимания существенно выше, особенно, у мужчин.

Уровень оптимальности, экономичности движений кисти не зависит от пола и повышается после вступления в брак (рис. 3б). Оба показателя самооценки у девушек выше, чем у юношей, и у состоящих в браке резко растут, особенно, у девушек. Это и понятно с учётом того, что для девушки вступление в брак существенно повышает её социальный статус, что для мужчины имеет меньшее значение [18]. Нестабильность моторики кисти у юношей выше, чем у девушек и после вступления в брак снижается, особенно, у девушек (рис. 3б). Последний вывод аналогичен полученному по результатам теппинг-теста (рис. 2а).

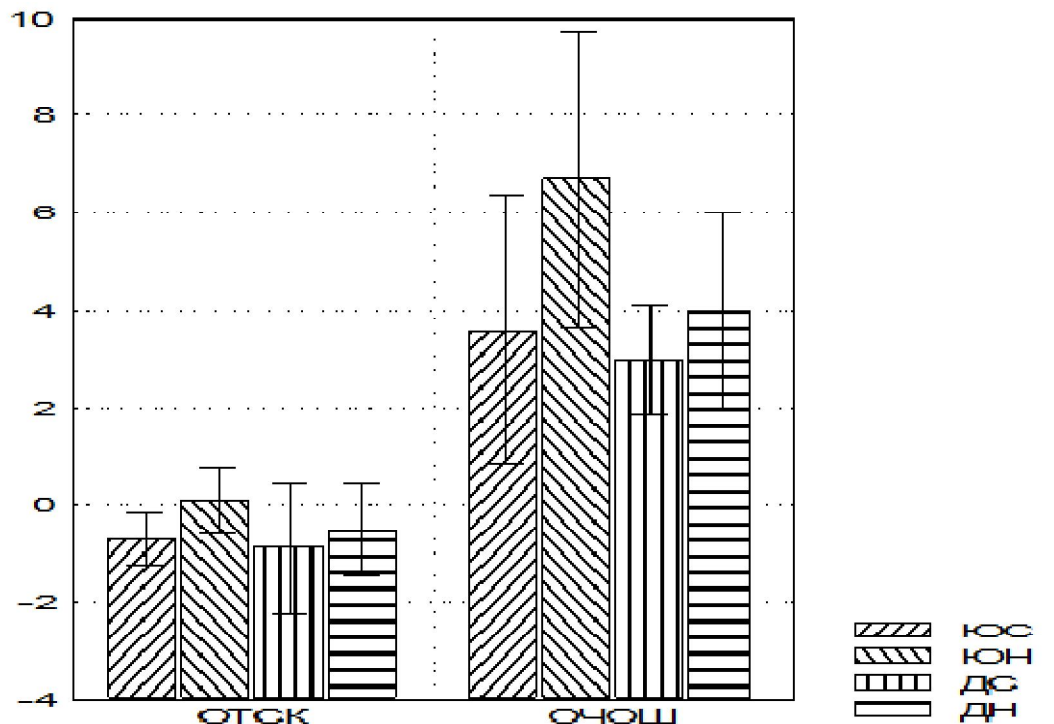
Уровень развития моторики кисти мало зависит от пола и повышается в браке, особенно, у девушек. Аналогичный вывод был сделан по результатам теппинга (рис. 1б). Сила нервных процессов выше у девушек и после вступления в брак растёт, особенно, у девушек. Эти выводы не соответствуют полученным по результатам теппинга и корректурной пробы. Видимо, содержание выполняемой деятельности оказывает определённое влияние на силу нервных процессов при её регулировании.

Уровень притязаний юношей выше, чем у девушек, что соответствует литературе. Интересно, что после вступления в брак уровень притязаний у юношей растёт, а у девушек падает. Это свидетельствует о том, что полоролевые ожидания, экспектации в браке асимметричны, неравноценны, что еще раз опровергает популярный миф о «равенстве полов». Важно рассмотреть тенденции динамики притязаний на протяжении эксперимента. У не состоящих в браке, как юношей, так и девушек завышенные притязания на протяжении эксперимента ещё более завышаются, то есть уходят от реальности. У супружеских пар завышенные в начале эксперимента притязания к его концу становятся более реалистическими. Это свидетельствует о том, что брак «опускает человека с небес на землю», делает его мышление более реалистичным, отражение окружающей действительности становится более адекватным.

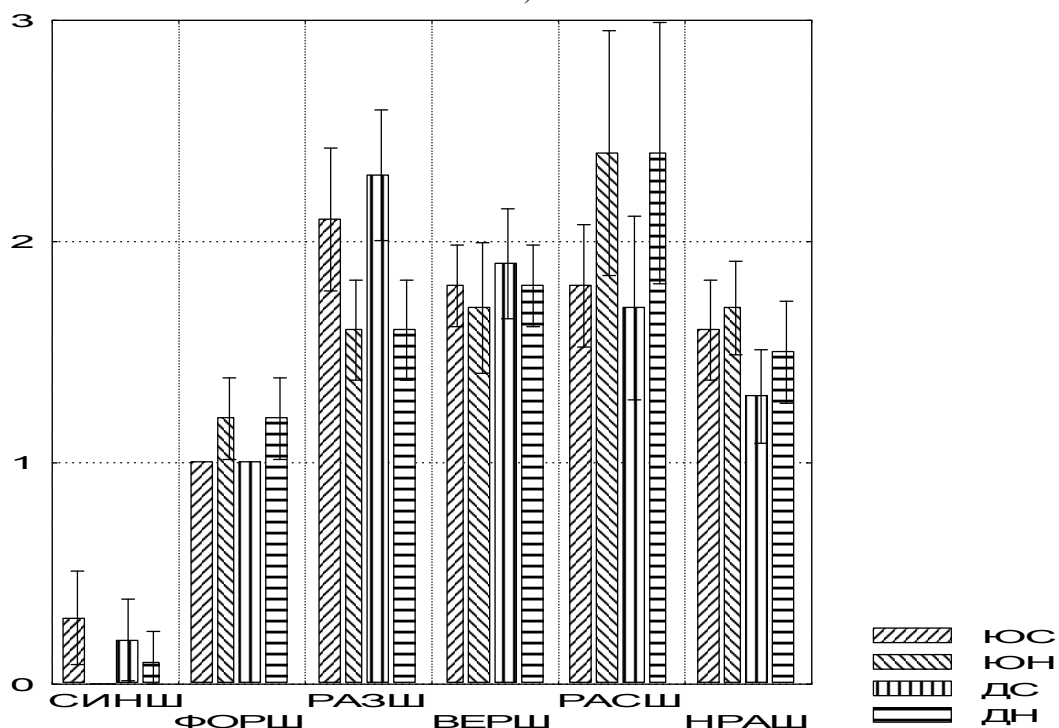
Нестабильность как моторных проявлений, так и уровня притязаний у супружеских пар выше, что соответствует результатам корректурной пробы и противоречит результатам теппинга. Видимо, у супружеских пар результаты выполнения одних видов деятельности становятся более стабильными, других – менее стабильными.

Показатели креативности, продуктивности мышления выше у девушек, что не соответствует данным литературы. После вступления в брак креативность у юношей

растёт, а у девушек падает. Таким образом, влияние брака на креативность (тест Гилфорда) и уровень притязаний (моторная проба Шварцландера) совпадает. Это ещё раз подтверждает имманентную асимметрию половых ролей, хотя не исключено и влияние культуры.



а)



б)

Рисунок 3 – Психофизиологические характеристики студентов:

а) ОТСК – показатель силы нервных процессов; ОЧОШ – концентрации внимания (-);
 б) СИНШ – показатель тревожности, агрессивности; ФОРШ – оптимальности моторики кисти;
 РАЗШ – самооценки; ВЕРШ – самооценки; РАСШ – оптимальности моторики кисти;
 НРАШ – нестабильности моторики кисти; ЮС – юноши, состоящие в браке; ЮН – не состоящие в браке; ДС – девушки, состоящие в браке; ДН – не состоящие в браке

У девушек, по сравнению с юношами, среди ассоциаций больше одушевлённых объектов, больше объектов природного, а не техногенного происхождения, больше объектов - продуктов воображения, а не воспоминания. У супружеских пар, по сравнению с не состоящими в браке студентами, как у юношей, так и у девушек, снижается доля объектов одушевлённых, объектов природного происхождения, объектов – продуктов воображения. Это дополнительно подтверждает предположение о роли брака как средства социализации, приближении к реальности, повышения практичности, прагматичности, адаптивности [19].

С помощью контент-анализа выделяли также долю объектов мужского, женского и среднего рода среди ассоциаций в тесте Гилфорда. У девушек после свадьбы растёт доля объектов женского рода и снижается – мужского, у юношей – повышается доля объектов мужского рода, то есть усиливается идентификация с объектами своего рода.

Таким образом, брак является мощным инструментом полоролевой идентификации, позволяет мужчине ощутить себя в полной мере мужчиной, а женщине – женщиной. Это соответствует взглядам Е. Эриксона, считавшего, что полоролевая идентификация - это процесс, не заканчивающийся в детстве, как принято в классическом психоанализе [20], а длящийся на протяжении всей жизни индивида [19]. Этот факт еще раз указывает на недопустимость непрекращающихся попыток уничтожения института семьи на Западе.

Необходимо указать на ещё одну важную методическую особенность интерпретации полученных данных. Все экспериментальные факты, полученные в настоящем исследовании, допускают две альтернативные, но дополняющие друг друга интерпретации:

- как влияние вступления в брак на характеристики личности. При этом молчаливо полагаем, что до вступления в брак характеристики обеих групп студентов (состоящих и не состоящих в браке) были одинаковы, что является достаточно сильным допущением;

- как влияние характеристик личности на принятие решения о вступлении в брак (в данной работе не разделяли гражданский брак, совместное проживание, брак официальный, зарегистрированный и брак церковный, с обрядом венчания). При этом полагаем, что вступление в брак не влияет на характеристики личности.

Видимо, наиболее реалистическим будет подход, интегрирующий обе точки зрения, так как понятно, что характеристики личности сильно влияют на раннее или более позднее решение о вступлении в брак, в то же время такой сильный фактор как супружество не может не повлиять на многие стороны личности супругов. Такой способ рассмотрения позволяет преодолеть узость одностороннего причинно-следственного подхода.

Теперь целесообразно рассмотреть мотивационно-потребностное ядро личности. Наиболее сильно влияние рассмотренных факторов на уровни материальных потребностей и потребностей в признании. Материальные потребности у юношей выше, чем у девушек, что опровергает известную мужскую легенду о жадных женщинах, из-за которых мужчинам приходится пускаться во все тяжкие для добывания денег правдами и неправдами.

При вступлении в брак уровень материальных потребностей у мужчин падает, а у женщин – растёт. Это естественно, так как в нашей культуре (кроме богатых) деньги часто находятся в руках у супруги, которая, в отличие от мужа, в полной мере ощущает нехватку денег на удовлетворение тех или иных нужд семьи.

Уровень потребности в признании у мужчин выше, чем у женщин. После вступления в брак уровень потребности в признании растёт как у мужчин, так и у женщин. Видимо, это связано с тем, что молодая семья особенно остро нуждается в социальном признании, прежде всего со стороны ближайшего окружения: родителей супругов, близких друзей.

Молодой семье необходимо признание социумом её нового социального статуса, некая «инициация», социально-психологическая легитимация. После периода первоначальной адаптации эта потребность, вероятнее всего, притупляется.

Удовлетворенность материальных потребностей у мужчин выше, чем у женщин, но после вступления в брак она падает. Удовлетворённость потребности в безопасности у мужчин несколько выше. После вступления в брак у мужчин она растёт, а у женщин падает. Невольно напрашивается вопрос: кто кого защищает в семье? Согласно известному мифу – мужчина женщину (по крайней мере, физически), согласно полученным данным – наоборот (по крайней мере, психически).

Удовлетворённость социальных потребностей мало зависит от пола. После вступления в брак она повышается как у мужчин, так и у женщин. И здесь опять прослеживается социализирующая роль брака и семьи. Удовлетворённость потребности в самовыражении у женщин выше, после свадьбы она повышается у обоих супругов. Фрустрация (неудовлетворённость) социальных потребностей инвариантна относительно пола. После вступления в брак она резко снижается у обоих супругов.

Фрустрация потребности в самовыражении сильнее у мужчин. Это и понятно: именно от них социум требует позитивных достижений. Вступление в брак существенно снижает фрустрацию этой потребности. Таким образом, жизнь в браке существенно меняет структуру основных потребностей и степень их удовлетворения: в браке значительно выше степень удовлетворения прежде всего высших (по А. Маслоу) потребностей - социальных потребностей и потребностей в самовыражении.

Взаимосвязи между показателями личности студентов изучали с помощью корреляционного анализа. Рассматривали коэффициенты парной линейной корреляции К. Пирсона, значимые с вероятностью не менее 0,995. У состоящих в браке ниже сила нервных процессов (-0,45), выше уровень самооценки согласно результатам моторной пробы Шварцландера (+0,45).

Значительно влияние соматического здоровья, в частности, полученных травм, на психологические показатели, в частности, на выраженность астенического синдрома по результатам теппинг-теста и пробы Шварцландера (+0,56 и +0,70), а также на нестабильность уровня притязаний (+0,49).

Астенический синдром проявляется рядом взаимосвязанных показателей: слабым нажимом кисти, низкой частотой движений кисти, нестабильностью частоты движений (0,65). Астенический синдром связан с обращённостью в будущее, с фантазированием, с мечтательностью (+0,70). Это связано с тем, что выполнение текущих планов, задач настоящего сопряжено для астеника с рядом трудностей. Высокая энергетика организма коррелирует с нестабильностью уровня притязаний (+0,55). Низкоэнергетичные индивиды вынуждены не только умерять свои притязания, но и поддерживать большую равномерность деятельности, экономнее расходовать жизненную энергию.

Объём внимания согласно тесту Бурдона связан с уровнем креативности по тесту Гилфорда (0,51). Можно предположить, что оба эти показателя отражают продуктивность когнитивных процессов индивида. В моторной пробе Шварцландера выбор оптимального направления движений связан с высокой самооценкой (-0,45). Эти два факта показывают, что сенсомоторные показатели отражают и достаточно глубокие «слои личности», компоненты её Я-концепции, что коррелирует с [11, 12].

Низкая концентрация внимания, слабость нервных процессов связаны с высокими имажинативными способностями, способностями воображения (+0,50), низким уровнем фрустрации потребности в самовыражении (-0,46) – это комплекс качеств креативных и сенситивных индивидов.

Уровень волевых усилий коррелирует с уровнем притязаний (+0,45 и +0,46). Высокий уровень притязаний соответствует низкой фрустрации потребности в безопасности (-0,44), здесь ощущение безопасности выступает условием активности индивида, направленной на повышение его статуса, реализацию высоких притязаний.

Высокая сила нервных процессов коррелирует с реалистическим, адаптивным подходом к оценке своих возможностей (-0,55). Нестабильность результатов пробы Шварцландера связана с низкой потребностью в безопасности (-0,46). Это свойство креативных, творческих, смелых, рискованных натур. Нестабильность частоты движений соответствует высокой степени удовлетворения социальных потребностей (+0,60). У лиц с развитым воображением высокая удовлетворенность потребности в самовыражении (+0,48 и -0,46). Этот комплекс можно рассматривать как один из показателей духовности личности.

Выводы. Таким образом:

- разработана батарея тестов - психодиагностический комплекс, позволяющий эффективно выявлять психофизиологические и психологические характеристики студентов вуза;
- уточнено влияние пола и семейного положения на психофизиологические и психологические характеристики студентов вуза;
- установлены взаимосвязи показателей ряда психофизиологических и психологических характеристик студентов вуза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Habermas J. Zur Entwicklung der Interaktion Kompetenz // Manuskript, Starnberg : Max Planck Institut, 1975. – 69 p.
2. Сохан Л. Життєва компетентність у технології життєздійснення / Сохан Л., Єрмаков І. // Кроки до компетентності та інтеграції в суспільство : науково-методичний збірник. – К. : Контекст, 2000. – 336 с.
3. Клименко Н. Ю. Социально-педагогическая компетентность специалистов социальной сферы / Н. Ю. Клименко // Педагогика. – 2003. – № 2. – С. 22-28.
4. Сидоренко Е. В. Тренинг коммуникативной компетентности в деловом взаимодействии. – СПб : Речь, 2002. – 208 с.
5. Kompetenztraining / Hrsg. W.D. Oswald, T. Gunzelmann. – Göttingen, 2001. – 546 p.
6. Вяликова Г. С. Духовность в структуре профессиональной компетентности учителя и пути ее формирования в высшей школе / Г. С. Вяликова // Духовность личности : проблемы образования и воспитания (история и воспитание). – М., 2001. – С. 197-206.
7. Рукасов В. И. Управление высшим учебным заведением на основе идей патернализма и конвергенции ценностей / В. И. Рукасов, Г. Л. Хае́т, Ю. Н. Марилова // Придніпровський науковий вісник. Донбаський випуск : матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми і практика управління в економічних системах», 1998. – № 108 (175). – С. 107-109.
8. Calchera F., Weber J C. Entwicklung und Forderung von Basiskompetenzen // Schlüsselqualifikationen. – 1990. – Н. 116. – Р. 178-201.
9. Хае́т Л. Г. Обобщенная модель процесса профессиональной адаптации учителя / Хае́т Л. Г., Солодухова О. Г. Саврасов В. П. // Математичне моделювання в психологічних і педагогічних дослідженнях та навчанні. – Дніпропетровськ : ДДУ, 1996. – С. 84-86.
10. Хае́т Л. Г. Социальные экспектации и жизненные ценности выпускников школы и студентов / Хае́т Л. Г., Давудова Е. Г., Кротовская Л. И. // Продуктивність : науково-практичний журнал. – 1999. – № 3. – С. 89-100.
11. Ильин Е. П. Психомоторная организация человека. – СПб. : Питер, 2003. – 384 с.
12. Хае́т Л. Г. Психомоторные и сенсомоторные тесты в диагностике стрессовых состояний / Л. Г. Хае́т, Е. В. Зозуля, А. В. Темиров // Наука и освіта : матеріали

Міжнародного конгресу «Стреси в повсякденному житті дітей». – Одеса : Південний науковий центр АПН України, 2000. – С. 107-108.

13. Основы психологии : практикум / ред.-сост. Л. Д. Столяренко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 1999. – 576 с.

14. Практикум по общей, экспериментальной и прикладной психологии / под ред. А. А. Крулова, С. А. Маничева. – СПб. : Питер, 2000. – 560 с.

15. Практическая психодиагностика : методика и тесты / Ред.-сост. Д. Я. Райгородский. – Самара : Бахрах, 1998. – 672 с.

16. Психологические тесты / Ред.-сост. Е. Р. Ахмеджанов. – М. : Светотон, 1995. – 320 с.

17. Перлз Ф. Практика гештальттерапии. – М. : Институт общегуманитарных исследований, 2002. – 480 с.

18. Практикум по гендерной психологии / Под ред. И. С. Клетсиной. – СПб. : Питер, 2003. – 480 с.

19. Erikson E. H. Identity : Youth and Crisis. – London: Faber & Faber, 1968. – 336 p.

20. Фрейд З. Основные психологические теории в психоанализе. Очерк истории психоанализа. – СПб. : Алетейя, 1999. – 256 с.

REFERENCES

1. Habermas J. Zur Entwicklung der Interaktion Kompetenz // Manuskript, Starnberg: Max Planck Institut, 1975. – 69 p.

2. Sokhan L. Zhitteva kompetentnistj u tekhnologii zhittezdijysnennya / Sokhan L., Ćrmakov I. // Kroki do kompetentnosti ta integracii v suspiljstvo : naukovu-metodichnij zbirnik. – K. : Kontekst, 2000. – 336 s.

3. 3. Klimenko N. Yu. Socialjno-pedagogicheskaya kompetentnostj specialistov socialnoj sferih / N. Yu. Klimenko // Pedagogika. – 2003. – № 2. – S. 22-28.

4. 4. Sidorenko E. V. Trening kommunikativnoj kompetentnosti v delovom vzaimodejstvii. – SPb : Rechj, 2002. – 208 s.

5. Kompetenztraining / Hrsg. W.D. Oswald, T. Gunzelmann. – Göttingen, 2001. – 546 s.

6. Vyalikova G. S. Dukhovnostj v strukture professionalnoj kompetentnosti uchitelya i puti ee formirovaniya v vihsshej shkole / G. S. Vyalikova // Dukhovnostj lichnosti : problemih obrazovaniya i vospitaniya (istoriya i vospitanie). – M., 2001. – S. 197-206.

7. Rukasov V. I. Upravlenie vihsshim uchebnim zavedeniem na osnove idej paternalizma i konvergencii cennostej / V. I. Rukasov, G. L. Khaet, Yu. N. Marilova // Pridniprovsjkiy naukoviy visnik. Donbasjkiy vipusk : materiali mizhnarodnoĭ naukovu-tekhnichnoĭ konferencii «Problemi i praktika upravlinnya v ekonomichnikh sistemakh», 1998. – № 108 (175). – S. 107-109.

8. Calchera F., Weber J C. Entwicklung und Forderung von Basiskompetenzen // Schlüsselqualifikationen. – 1990. – H. 116. – P. 178-201.

9. Khaet L. G. Obobthennaya modelj processa professionalnoj adaptacii uchitelya / Khaet L. G., Solodukhova O. G. Savrasov V. P. // Matematichne modelyuvannya v psikhologichnikh i pedagogichnikh doslidzhennyakh ta navchanni. – Dnipropetrovsk : DDU, 1996. – S. 84-86.

10. Khaet L. G. Socialjnihe ekspektacii i zhiznennihe cennosti vihpuschnikov shkolih i studentov / Khaet L. G., Davydova E. G., Krotovskaya L. I. // Produktivnistj : naukovu-praktichnij zhurnal. – 1999. – № 3. – S. 89-100.

11. Iljin E. P. Psikhomotornaya organizatsiya cheloveka. – SPb. : Piter, 2003. – 384 s.

12. Khaet L. G. Psikhomotornihe i sensomotornihe testih v diagnostike stressovihkh sostoyaniy / L. G. Khaet, E. V. Zozulya, A. V. Temirov // Nauka i osvita : materiali Mizhnarodnogo kongresu «Stresi v povsyakdennomu zhitti ditej». – Odessa : Pivdenniy naukoviy centr APN Ukraĭni, 2000. – S. 107-108.

13. Osnovih psikhologii : praktikum / red.-sost. L. D. Stolyarenko. – Rostov-na-Donu : Feniks, 1999. – 576 s.
14. Praktikum po obthej, eksperimental'noj i prikladnoj psikhologii / pod red. A. A. Krylova, S. A. Manicheva. – SPb. : Piter, 2000. – 560 s.
15. Prakticheskaya psikhodiagnostika : metodiki i testih / Red.-sost. D. Ya. Raygorodskiy. – Samara : Bakhrakh, 1998. – 672 s.
16. Psikhologicheskie testih / Red.-sost. E. R. Akhmedzhanov. – M. : Svetoton, 1995. – 320 s.
17. Perlz F. Praktika geshtaltterapii. – M. : Institut obthehumanitarnihk issledovaniy, 2002. – 480 s.
18. Praktikum po gendernoy psikhologii / Pod red. I. S. Kletsinoy. – SPb. : Piter, 2003. – 480 s.
19. Erikson E. H. Identity: Youth and Crisis. - London: Faber & Faber, 1968. - 336 p.
20. Freyd 3. Osnovnye psikhologicheskie teorii v psikhoanalize. Ocherk istorii psikhoanaliza. – SPb.: Aleteyya, 1999. – 256 s.

Євдокимова В.А., Кисляк Р.П., Хаєт Л.Г., Шупік І.Є. ОСОБЛИВОСТІ ОСОБИСТОСТІ СТУДЕНТА ЯК СКЛАДОВІ ЙОГО ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

У статті розглянуто особливості особистості студента як складові його професійної компетентності. Вказані тенденції розвитку суспільства, що підвищують внесок особистісних властивостей у професійну компетентність. Відзначено важливість проблеми створення системи визначення та розвитку, крім знань, умінь і навичок, особистісної, насамперед, комунікативної компетентності випускника ВНЗ. Розроблено систему психодіагностичних методик, що дозволяє ефективно виявляти психофізіологічні і психологічні характеристики студентів вузу. Показані статеві відмінності психофізіологічних і психологічних характеристик студентів ВНЗ, вплив сімейного стану (шлюбу) на основні психофізіологічні та особистісні властивості, встановлено взаємозв'язки різних показників психофізіологічних і психологічних характеристик студентів ВНЗ, які мають високу статистичну значущість.

Ключові слова: професійна компетентність, психофізіологічні властивості, особливості особистості, психодіагностичний комплекс, статеві відмінності.

Evdokimova V.A., Kislyak R.P., Khayet L.G., Shupik I.E. PERSONALITY CHARACTERISTICS OF STUDENTS AS A COMPONENT OF ITS PROFESSIONAL COMPETENCE

In the article the peculiarities of the students personality as components of its professional competence were discussed. Trends in the development of society, increasing the contribution of personality traits in professional competence are indicated. The importance of the problem of creation of system for definition and development, in addition to knowledge, skills, personality, first of all, communicative competence of a University graduate are noted. The system of psycho-diagnostic methods that effectively identify physiological and psychological characteristics of University students is developed. Sex differences of psycho-physiological and psychological characteristics of students, the influence of marital status (marriage) for the main psycho-physiological and personal characteristics, the relationships of various indicators of psycho-physiological and psychological characteristics of students with high statistical significance are described.

Keywords: professional competence, psycho-physiological characteristics, personality traits, psycho-diagnostic complex, sexual differences.

© Євдокимова В. А., Кисляк Р. П., Хаєт Л. Г., Шупік І. В.

Статтю прийнято
до редакції 17.10.15

РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЕТЕНТІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ТЕХНОЛОГІЇ МАТЕРІАЛІВ

Моїсєєнко Л.Л.

Херсонська державна морська академія

В роботі розглянуті методичні матеріали та інструментарії формування ключових компетентностей дисциплін матеріалознавчого циклу на основі низки факторів, що забезпечують ефективну реалізацію компетентісного підходу згідно міжнародним стандартам навчання. Зокрема, приведено приклад інтегрування даної навчальної дисципліни у процес формування майбутніх фахівців морського транспорту з компетентісним підходом через виконання курсового проекту.

Суттєво компетентісний підхід в курсі матеріалознавства реалізується через експериментальні дослідження в лабораторних роботах шляхом постановки проблемних завдань.

Ключові слова: компетентісний підхід, проблемне навчання, матеріалознавчі дисципліни, моделювання проблемних ситуацій, тестові завдання, склад, властивості та маркування сплавів у суднобудуванні.

Вступ. Головним завданням сучасної освіти є її переорієнтація на формування й розвиток компетенцій особистості майбутнього фахівця, що повинне забезпечити якість освіти, адекватну вимогам часу та ринку праці [1].

Дослідженню компетентісного підходу приділено чимало уваги вітчизняними та зарубіжними вченими [2-7].

Враховуючи, що компетентність, згідно документів Міжнародного Департаменту стандартів для навчання [8], досягнення й освіти, визначається як інтегрована характеристика особистості, під якою розуміють набір знань, вмінь, навичок, ставлень, що дають змогу кваліфіковано і ефективно проводити діяльність або виконувати певні функції, спрямовані на досягнення певних стандартів у професійній галузі або конкретній діяльності, кожен навчальну дисципліну слід розглядати через призму забезпечення неперервності формування компетентностей впродовж усього періоду навчання.

Реалізація компетентісного підходу при викладанні матеріалознавчих дисциплін, зокрема, для фахівців морського та річкового транспорту можлива за наступних основних умов:

- забезпечення неперервності формування компетентностей завдяки існуванню вертикальних та горизонтальних зв'язків між дисциплінами та елементами курсів впродовж усього періоду навчання;
- максимальна наближеність завдань і питань матеріалознавства та технології матеріалів до практичної сфери компетентності роботи суднового механіка.

Для реалізації компетентісного підходу при вивченні матеріалознавства та технології матеріалів одним з головних аспектів є формування зацікавленості курсанта (студента) в самому процесі отримання знань та орієнтації на результат. Це особливо важливо в даному випадку, оскільки мова йде про першокурсників. При цьому необхідно не лише викликати інтерес до навчання, але й підтримувати його в процесі всього навчання.

У межах зазначеної навчальної дисципліни можна говорити про предметну компетентність, як результативно-діяльну характеристику освіти, де рівнем компетентності є досягнутий рівень діяльності випускника, що необхідний і достатній для мінімальної успішності в досягненні його результату.

Кожна компетентність побудована на комбінації (поєднанні) взаємовідповідних пізнавальних ставлень і практичних навичок, цінностей, емоцій, поведінкових компонентів, знань і вмінь, усього того, що можна мобілізувати для активної дії.

Сформувати ключові компетентності можна завдяки наступним факторам, розробленими провідними фахівцями Університету Кембриджу, наведеними в [9]:

- простоті і наочності навчально-методичних матеріалів;
- мотивації до пізнання від самого початку навчання;
- інтеграції в інші дисципліни і курси загально-інженерного та профілюючого напрямку;
- міцних взаємозв'язків із різними видами навчальної діяльності: розгляду проблемних ситуацій під час лабораторних занять, виконанню курсових проектів у групах та комплексних дипломних робіт;
- можливості самоосвіти в будь-який час;
- набуттю навичок постановки завдань та пошуку оптимальних рішень, необхідних для майбутньої професійної діяльності.

Постановка задачі. Запропонувати мотивацію та методичне забезпечення окремих інструментаріїв реалізації компетентнісного підходу формування майбутніх фахівців морського транспорту при вивченні матеріалознавства та технології матеріалів.

Основна частина. Загалом, компетентнісний підхід в межах навчальної дисципліни повинен реалізуватися через її мотивацію та засоби досягнення мети.

Заслуговує на особливу увагу мотивація вивчення зазначеної навчальної дисципліни під кутом зору подальшого оволодіння наступних загально-інженерних (технічна механіка, опір матеріалів, деталі машин) та спеціальних за профілем (суднові дизельні двигуни; теорія, будова судна та рушії; суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх експлуатація; технічне обслуговування і ремонт суднових технічних засобів і ін.) дисциплін. Необхідно чітко уявляти роль і місце зазначеної навчальної дисципліни у формуванні майбутніх фахівців, зокрема, при свідомому засвоєнні спеціальних профільних навчальних дисциплін.

Стосовно засобів реалізації компетентнісного підходу при вивченні матеріалознавства та технології матеріалів, на нашу думку, доцільним є *моделювання* виробничих (експлуатаційних) умов роботи, технічного обслуговування і поточного ремонту суднового обладнання із створенням необхідного навчально-методичного забезпечення.

Реалізуючи компетентнісний підхід у курсі «Матеріалознавство та технологія матеріалів» нами розроблені навчально-методичні матеріали, зокрема,

- прості і доступні для оволодіння за рівнем підготовки курсантів тексти лекцій (електронні варіанти);
- комплекти слайдів (20-30 поз. до кожної з лекцій для всіх спеціальностей і форм навчання), як презентація лекційного програмного матеріалу;
- методичні рекомендації до виконання лабораторного практикуму;
- робочі зошити (електронні і паперові варіанти) для лабораторних робіт;
- комплекти тестів (20-30 поз. до кожної лабораторної роботи);
- металографічний атлас металів і сплавів;
- тлумачний словник з матеріалознавства;
- комплексний навчальний посібник з матеріалознавства та технології матеріалів (затверджений вченою радою ХДМА, 2015 р.).

Докладніше:

Тексти лекцій. Структура кожного тексту лекції передбачає: тему лекції згідно робочій програмі, її мету, орієнтовний план, за яким будується зміст програмного матеріалу лекції та стислий текст за темою лекції. До лекції зазначається рекомендована література для самостійної роботи курсантів. Мету професійної підготовки сучасного фахівця формують як очікуваний результат – формування професійної компетентності. В процесі озвучення текстового матеріалу на початку лекції пропонується мотивація теми, використання фактичного матеріалу у наступних темах курсу та при вивченні інших навчальних дисциплін при формуванні професійних компетентностей, вказуються

конкретні проблемні ситуації, моделюються експлуатаційні умови та вимоги і можливі їх вирішення шляхом використання одержаної інформації під час даної лекції. В процесі викладання теми надходять коментарі викладача, уточнюючі пояснення та тлумачення, демонстрація наочності та промислових зразків виробів та обладнання, використання набору слайдів-презентацій, навчальних планшетів та плакатів, графічного матеріалу на паперових та електронних носіях тощо.

Презентація слайдів. Лекційний матеріал кожної теми супроводжується демонстрацією набору слайдів-презентацій (біля 20-35 поз.). За структурою всі слайди різноманітні: найважливіший текстовий матеріал, графіки, діаграми, схеми будови та роботи обладнання, маркування, конкретні приклади використання конструкційних матеріалів у суднобудуванні та судноремонті.

Методичні рекомендації до виконання лабораторного практикуму. Виконання лабораторних робіт є передовою і переконливою формою пізнавальної діяльності курсантів, де вимагається їх активна участь у проведенні експериментів під керівництвом та контролем викладача, і здійснюється один із найважливіших дидактичних принципів – зв'язок теорії з практикою, де, зокрема, і формуються елементи професійних компетентностей.

Структура кожної лабораторної роботи передбачає мету її проведення, короткі теоретичні відомості, приведені обладнання та порядок виконання експерименту, зміст звіту із поставленими завданнями, а також орієнтовні тестові завдання для самоперевірки та контролю знань і перелік рекомендованих літературних джерел. В кінці методичного посібника приведені короткі довідкові дані про матеріали, якими курсант може скористуватися при виконанні індивідуального завдання.

Робочі зошити передбачають крім теми, назви та мети із зазначенням формування професійної компетентності, результати експериментальних досліджень, пошукову самостійну роботу з конкретних питань (механічні властивості, технологічне обладнання, використання у суднобудуванні та судноремонті тощо) в межах зазначеної теми, а також індивідуальні комплексні контрольні завдання.

Комплекти тестів складені у відповідності до кожної лабораторної роботи і передбачають контроль знань та вмінь, що отримали курсанти в процесі теоретичної і експериментальної роботи над темою. Тестові завдання закритого типу передбачають якісні питання з можливістю вибору правильної відповіді, що є свідченням не тільки формального засвоєння програмного матеріалу, а й ефективного правильного рішення у запропонованому питанні, як ознаці компетентного вибору правильної відповіді.

Металографічний атлас призначений для використання курсантами при виконанні лабораторних робіт по вивченню мікроструктури металів і сплавів та засвоєнню відповідного теоретичного матеріалу. Наведений в ньому фотоматеріал допоможе курсантам професійно підготувати мікрошліфи та ідентифікувати мікроструктури зразків із сталі, чавуну та сплавів кольорових металів, що є одним з елементів професійної компетентності.

Тлумачний словник. Озброєння курсантів навчально-методичним посібником «Короткий тлумачний словник з матеріалознавства» обумовлене необхідністю забезпечення курсантів морської академії тлумачними довідковими термінами та визначеннями, які використовуються в навчальному процесі при вивченні сучасних матеріалів, їх властивостей та способів обробки, зокрема, у сучасному суднобудуванні, при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті судового обладнання. Основна мета посібника – дати у стислій формі пояснення понять і термінів із різних розділів матеріалознавства і технології матеріалів. Кожна позиція містить, як правило, визначення поняття або терміну, короткий опис процесу, механізму приладу, матеріалу і т. д., їх призначення і галузь застосування.

Комплексний навчальний посібник з матеріалознавства та технології матеріалів розроблений згідно робочій програмі за напрямом 6.070104 – Морський та

річковий транспорт. В посібнику розглянуті основи теорії кристалічної будови і властивостей металів і сплавів, особливості їх виробництва, способи обробки і переробки та застосування у суднобудуванні, приведені лабораторний практикум з тестовим контролем знань, індивідуальні творчі завдання з методичними рекомендаціями їх розв'язання, тлумачний словник з матеріалознавства, необхідні довідкові дані про матеріали, короткий металографічний атлас. Таке зосередження всіх видів навчальної роботи в одному посібнику створює умови цілісного і свідомого сприйняття матеріалу і є фундаментом для формування професійних компетентностей.

Далі розглянемо приклад інтегрування даної навчальної дисципліни у процес формування майбутніх фахівців з компетентнісним підходом. Скажімо, в курсовому проєкті з дисципліни «Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх експлуатація» [10] передбачено 4-й розділ – Розрахунок на міцність деталей поршневої групи СДВЗ, де приводиться характеристика умов роботи окремих її елементів та зазначаються відповідні матеріали, з яких вони виготовляються.

Так, зокрема, вказується, що, наприклад, поршень сприймає силу тиску газів і через поршневі кільця передає тиск на стінки циліндра. Днище головки поршня бере участь у створенні обсягу камери згоряння, працює в зоні підвищених температур. В результаті в матеріалі поршня виникають значні механічні і теплові напруги. Велика різниця температур поверхні днища поршня з боку камери згоряння і з протилежного боку призводить до появи внутрішніх напружень. І далі зазначається, що матеріал для виготовлення поршнів повинен мати високі механічні міцність і жаростійкість, хорошу теплопровідність і малі значення коефіцієнта лінійного розширення. Матеріал поршнів дизелів тронкового типу повинен володіти також хорошими антифрикційними якостями і зносостійкістю. На завершення, приводиться перелік можливих матеріалів (сірих і високоміцних чавунів, легованих сталей і алюмінієвих сплавів) та їх відповідних марок, з яких виготовляються поршні різних судових двигунів. Зокрема, чавунні поршні відливають із сірого і високоміцного чавунів марок СЧ24, СЧ28, СЧ32, ВЧ45-5.

Цей приклад яскраво обумовлює необхідність розгляду цих матеріалів у курсі матеріалознавства.

То ж, в темі «Виробництво, властивості та застосування чавунів у суднобудуванні» розглядаються питання видів чавунів за структурою, їх механічні і технологічні властивості, маркування та застосування в судно-будуванні з відповідними коментарями та презентацією набору слайдів-презентацій. Далі приводимо деякі з них (рис. 1, 2, 3, 4), що характеризують структуру різних видів чавунів, інформацію про властивості закладену в маркуванні тощо.

Чавуни: класифікація за видом зламу і структурою

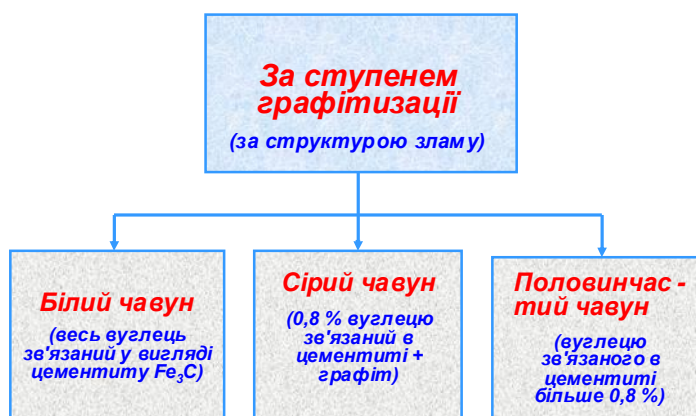


Рисунок 1 – Класифікація чавунів за видом зламу і структурою

Види чавунів за формою графітних включень

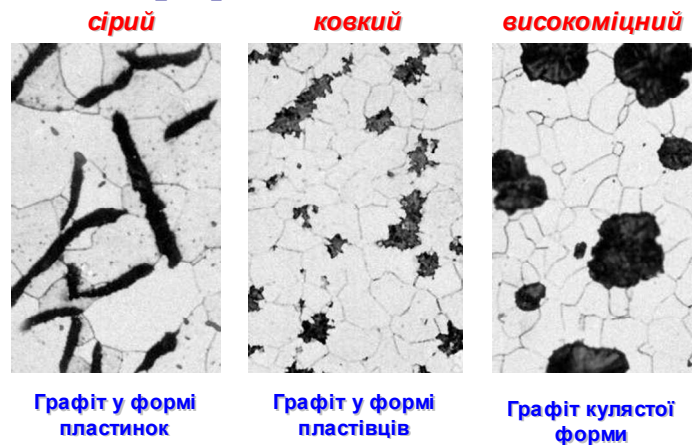


Рисунок 2 – Види чавунів за формою графітних включень

Маркування чавунів (приклади маркування)

Чавуни маркують двома **буквами**, що показують основний **характер** або **призначення** чавуну, і **цифрами**, що вказують його **механічні властивості**, відповідно Державним стандартам:

- **сірий чавун** позначають буквами **"СЧ"** (ГОСТ 1412-85);
- **високоміцний** – **"ВЧ"** (ГОСТ 7293-85);
- **ковкий** – **"КЧ"** (ГОСТ 1215-85);
- **антифрикційний** – **"А"** (АСЧ, АВЧ, АКЧ) (ГОСТ 1585-85).

Для **сірих** чавунів приводять регламентовані показники межі міцності при **розтягуванні** та **згинанні** (у кг/мм^2), наприклад СЧ21-40.

Для **високоміцного** і **ковкого** чавуну цифри визначають **межу міцності** при розтягуванні (у кг/мм^2) і **відносне видовження** (у %), наприклад ВЧ60-2.

Рисунок 3 – Позначення в маркуванні чавунів

Маркування чавунів (приклади маркування)



Рисунок 4 – Приклади маркування чавунів

В курсовому проєкті зазначається, що широке поширення для виготовлення поршнів отримали також **алюмінієві сплави**, які володіють низкою переваг, і вказуються деякі їх марки (АЛ1, АЛ10В, АЛ19, В300, В14А, АК2, АК4, АК4-1, Д20, Д21) та приводяться їх характеристики. Тож при вивченні теми з матеріалознавства та технології матеріалів про сплави кольорових металів, їх властивості, маркування та застосування значна увага зосереджується на сплавах на основі алюмінію і демонструються аналогічні слайди-презентації (рис. 5 та 6).

Алюміній: властивості і застосування

Алюміній (Al) – це **метал сріблясто-білого** кольору ($\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{пл.}} \approx 660 \text{ }^\circ\text{C}$). Al (№13) – має ГЦК решітку.

У відпаленому стані володіє **міцністю** $\sigma_{\text{в}} = 80 \dots 100 \text{ МПа}$, невисокою **твердістю** ($\text{НВ} \approx 25 \dots 30$) та достатньою **пластичністю** ($\delta \approx 45 \%$).

Висока електропровідність та низька густина чистого **алюмінію** обумовили його застосування в електро-техніці, як провідникового матеріалу, а корозійна стійкість – застосування в хімічному та суднобудуванні.

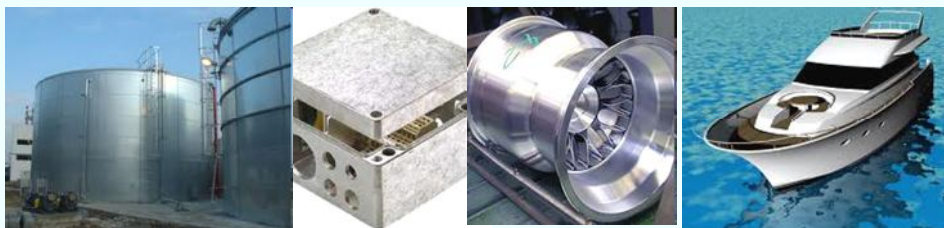


Рисунок 5 – Приклади застосування алюмінію та його сплавів

Сплави на основі алюмінію: маркування та властивості

Дюралюміній – **деформівний** сплав, системи елементів **Al-Cu-Mg** з домішками **Mn**. Маркуються дюралюмінії буквами "Д" і цифрами, що вказують номер сплаву, наприклад, **Д1**, **Д16**, **Д20**, **Д21**. Д1 – класичний дюралюміній (3,5...4,5% Cu; 0,4...0,8% Mg; 0,4...1,0 Mn).

До деформівних сплавів на основі алюмінію належать крім **дюралюмінію** – **авіаль (Al-Mg-Si)**, **алюміній кувальний** і ін. **Дюралюмінії** широко застосовують у літакобудуванні, суднобудуванні (поршні, головки блоків циліндрів, диски, лопатки компресорів тощо). Жаростійкість досягається за рахунок легування Ni, Fe, Ti, (Д20, Д21, АК-4-1).



Рисунок 6 – Маркування сплавів на основі алюмінію

Іншим елементом поршневої групи СДВЗ є поршневі ущільнювальні (компресійні) кільця, які служать для запобігання прориву газів з камери згоряння в картер і для відводу частини тепла в охолоджуючу воду. Вони працюють в дуже важких умовах, здійснюючи зворотно-поступальний рух, сильно нагріваються від зіткнення з гарячими газами і нагрітої стінкою циліндра, а також від тертя.

Отже, матеріал для виготовлення поршневих кілець повинен володіти достатньою механічною міцністю при високих температурах, значною твердістю, високою зносостійкістю, малим коефіцієнтом тертя в умовах високої температури і недостатнім мащенням. Для виготовлення поршневих кілець найбільш часто застосовують чавуни марок СЧ18, СЧ21, СЧ24, СЧ28, а також модифікований чавун СЧ38. Зазначене вище ще раз вказує на необхідність формування компетентності з питань властивостей та маркування чавунів.

Поршневий палець в дизелях з'єднує поршень з шатуном. У чотиритактних двигунах поршневий палець працює при знакозмінних навантаженнях. Крім цього, ці деталі зазнають теплове навантаження від головки поршня, тепла, що виділяється при терті пальця по поверхні бобишки поршня і головки шатуна, від тертя плазунів по напрямній (паралелі). Внаслідок тертя знос пальця виходить підвищеним. Важкі умови роботи сполучних деталей обумовлюють підвищені вимоги до матеріалу для їх виготовлення. Основні з них такі: висока опірність ударного навантаження (в'язка серцевина), висока міцність, висока зносостійкість (твердий поверхневий шар).

У швидкохідних двигунах для виготовлення поршневих пальців найчастіше отримали застосування низьковуглецеві леговані сталі марок 20Х, 15ХМ, 12ХМ3А, та ін., маркування яких показано на рис. 7. Пальці і поперечки з низьковуглецевих сталей після основної механічної обробки піддають цементації на глибину 0,5..1,5 мм, потім проводять загартування з низьким відпусканням і поверхнєве шліфування.

Маркування легованих сталей

Легуючі елементи, що входять до складу сталей позначають літерами Кирилиці, а їх масовий вміст у відсотках – цифрами. Літера А на початку марки вказує, що сталь – автоматна, а в кінці – сталь якісна:

Дві цифри, що стоять на початку марки легованої сталі, вказують на **вміст вуглецю в сотих долях відсотка** (для **конструкційної** сталі), а одна цифра – в **десятих долях відсотка** (для **інструментальної** сталі).

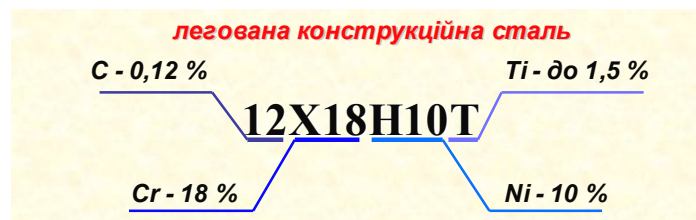


Рисунок 7 – Маркування легованих сталей

Для виготовлення поршневих пальців застосовують також середньовуглецеві сталі марок 40, 45, 45Х, 45ХН, 50ХФА, що піддаються поверхневому загартуванню, а також сталі марки 38 ХМЮА, що піддаються азотуванню.

Такий приклад використання легованих сталей з подальшою хіміко-термічною обробкою поршневих пальців вкотре мотивує необхідність не тільки і не стільки розгляду цих питань в курсі матеріалознавства, а й забезпечення свідомого компетентнісного засвоєння зазначених питань, пов'язаних з будовою, властивостями, маркуванням, технологією термічної обробки легованих сталей і їх конкретного використання (рис. 8 та 9) для морських фахівців.

характеристик та презентацію слайдів.

Приклади використання марок сталі в суднобудуванні



Рисунок 8 – Приклади використання легованих сталей у суднобудуванні

Вироби в суднобудуванні



Рисунок 9 – Приклади виробів у суднобудуванні

Пояснення на лекції технології термічної та хіміко-термічної обробки знаходить відображення у наступних слайдах-презентаціях (рис. 10, 11, 12).

Обладнання для термічної обробки

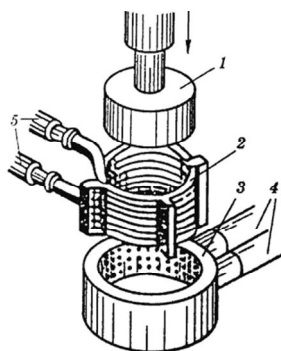


Схема індукційного нагріву струмами СВЧ

Оброблювальну деталь 1 для **поверхневого гартування** з нагріванням струмом високої частоти (СВЧ) встановлюють у середину котушки індуктора 2, який складається з одного або кількох витків мідної трубки 5.

Через індуктор 2 пропускають струм високої частоти і значної сили. При цьому в **поверхневому шарі** виробу виникають **вихрові струми**, які нагрівають лише поверхню виробу. Через трубки 4 вода підводиться до пустотілого кільця 3 (охолодника).

Для **поверхневого гартування** застосовують **вуглецеві сталі**, які містять майже 0,4...0,5 % С, рідше леговані (хромисті, хромонікелеві).

Рисунок 10 – Обладнання для проведення поверхневого гартування

Обладнання для термічної обробки



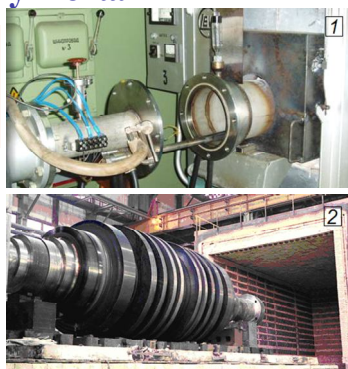
Термічна обробка (в муфельних печах, індукційним нагріванням) заготовок деталей, ланцюгів, зубчастих коліс, кнехтів, тросів і ін.

Рисунок 11 – Приклади обладнання та технології термічної обробки виробів

Поняття про хіміко-термічну обробку металів

Хіміко-термічна обробка – процес **хімічного** і **термічного** впливу на поверхневий шар сталі з метою зміни складу, структури і властивостей.

Насичення поверхневого шару **вуглецем** (**цементация** – 900-950 °С), **азотом** (**азотування** – 500-560 °С) або одночасно і **вуглецем**, і **азотом** (**ціанування** – 540-600 °С) підвищує твердість поверхні, її зносостійкість, корозійну стійкість, кислотостійкість тощо.



1 – устаткування для хіміко-термічної обробки, 2 – азотування в шахтній печі

Рисунок 12 – Технологія та обладнання хіміко-термічної обробки виробів

Суттєво компетентнісний підхід в курсі матеріалознавства реалізується через експериментальні дослідження в лабораторних роботах, де курсанти набувають не тільки певних навичок експериментального характеру (вивчення промислових зразків обладнання, самостійне проведення експериментів по визначенню властивостей

матеріалів, робота з довідковою літературою, особисті пропозиції щодо застосування вивчених матеріалів тощо), а й на підставі зазначених видів роботи пропонують ймовірні марки матеріалів та конкретні приклади їх використання в суднобудуванні і судноремонті.

Так, скажімо, лабораторна робота №3 «Визначення виду металів і сплавів за їх зовнішніми ознаками та деякими властивостями» передбачає експериментальне визначення фізичних (кольору, густини) та механічних (твердості, часового опору) характеристик запропонованих матеріалів. Далі курсантам пропонується за наявності експериментальних результатів та відповідної довідкової літератури зробити висновок про ймовірну марку матеріалу та орієнтовний перелік деталей, що можуть виготовлятися з цього матеріалу і використовуватися в суднобудуванні.

Контроль сформованих компетентностей з даної теми здійснюється шляхом обговорення одержаних результатів, або за допомогою виконання курсантами тестових завдань. Наприклад:

На якій основі утворюється найпоширеніший із подвійних сплавів – сталь?

- 1) вуглецю; 2) марганцю; 3) нікелю; 4) заліза; 5) титану.

В яких межах у відсотках присутній вуглець у складі сталі?

- 1) 0...4,3%; 2) 0...6,67%; 3) 0...2,14%; 4) 2,14...6,67%; 5) 2,14...4,3%.

Які основні елементи входять до складу дюралюмінію?

- 1) мідь – олово – титан; 2) алюміній – мідь – магній;
- 3) олово – свинець – алюміній; 4) мідь – цинк – алюміній.

Що означають цифри після букв у маркуванні сірих чавунів?

- 1) % вмісту вуглецю;
- 2) відносне видовження;
- 3) відносне звуження;
- 4) межу міцності на розтяг;
- 5) число твердості за Роквеллом.

За якими ознаками можна визначити вид металу?

- 1) межа міцності – густина – колір;
- 2) колір – густина – число твердості;
- 3) межа міцності – густина – відносне звуження;
- 4) колір – густина – відносне видовження.

З якою метою здійснюють термічну обробку сталі?

- 1) зміна складу сплаву;
- 2) зміна фізичних властивостей сплаву;
- 3) надання необхідних механічних властивостей;
- 4) покращення корозійної стійкості.

Також контроль знань та комплексу компетентностей, сформований в процесі вивчення матеріалознавства, можливий шляхом виконання курсантами комплексного (творчого) завдання. В творчому завданні курсантам пропонується дати відповідь на 12 питань стосовно вибору матеріалу виробу, його механічних характеристик, технології виготовлення, термічної та механічної обробки і ін. для зазначеного варіанту (всього 170 варіантів) – конкретної деталі машин, інструменту, пристосування тощо.

Такий підхід стимулює свідомий творчий пошук рішень, самостійну роботу курсанта з довідковою літературою, унеможливорює формалізм знань, дає можливість перевірити фактичний компетентнісний рівень готовності курсанта до подальшої самостійної і ефективної роботи як у навчальному процесі, так і у майбутній практичній діяльності при виконанні функціональних обов'язків.

Висновки. Наведені інструментарії та їх методичне забезпечення суттєво допоможуть реалізувати компетентнісний підхід в процесі вивчення матеріалознавства та технології матеріалів, як інтегрованої дисципліни, при формуванні фахівців морського транспорту. Моделювання проблемних (нестандартних) ситуацій у навчальному процесі безперервного інтегрування загально інженерних та спеціальних дисциплін та

використанням в організації навчальних занять новітніх технологій мультимедійного супроводження є одним з ефективних засобів досягнення результату у формуванні компетентного фахівця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пометун О. І. Теорія та практика послідовної реалізації компетентнісного підходу в досвіді зарубіжних країн / О. І. Пометун // Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи : Бібліотека з освітньої політики ; під заг. ред. О. В. Овчарук. – К. : «К. І.С.», 2004. – 112 с.
2. Овчарук О. В. Розвиток компетентнісного підходу: стратегічні орієнтири міжнародної спільноти / О. В. Овчарук // Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи : бібліотека з освітньої політики / Під заг. ред. О. В. Овчарук. – К.: «К.І.С.», 2004. –112 с.
3. Трубачева С. Е. Умови реалізації компетентнісного підходу в навчальному процесі / С. Е. Трубачева // Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи : бібліотека з освітньої політики / Під заг. ред. О. В. Овчарук. – К. : «К.І.С.», 2004. – 112 с.
4. Луговий В. І. Європейська концепція компетентнісного підходу у вищій школі та проблеми її реалізації в Україні / В. І. Луговий // Педагогіка і психологія. – 2009. – № 2. – С. 13–25.
5. Бех І. Д. Теоретико-прикладний сенс компетентнісного підходу в педагогіці // Педагогіка і психологія. – 2009. – № 2 (63). – С. 27-31.
6. Шубін О. Реалізація компетентнісного підходу у формуванні майбутніх фахівців як основа конкурентоспроможності сучасного ВНЗ // Вища освіта України. – 2011. – № 3. – С. 119-126.
7. Заблоцька О. С. Реалізація компетентнісного підходу у вітчизняній освіті / О. С. Заблоцька // Вісник Житомирського державного університету : педагогічні науки. – 2009. – № 43 – С. 58-62.
8. Лебеденко Ю. М. Компетентнісний підхід в системі вищої освіти : стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти / Ю. М. Лебеденко – К. : Ленвіт, 2006. – 35 с.
9. Лушнікова Н. В. Реалізація компетентнісного підходу при викладанні матеріалознавчих дисциплін у фаховій підготовці бакалаврів архітектури: європейський та вітчизняний досвід. // Н. В. Лушнікова // Нова педагогічна думка. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування, 2015. – спец. вип. № 2. – С. 122-129.
10. Белоусов Е. В. Тепловой, кинематический, динамический и прочностной расчет двух- и четырехтактных судовых ДВС : Методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Судовые двигатели внутреннего сгорания и их эксплуатация» / Е. В. Белоусов – Херсон, 2009. – 133 с.

REFERENCES

1. Pometun O. I. Teoriya ta praktika poslidovnoï realizacii kompetentnisnogo pidkhdou v dosvidi zarubizhnikh kraïn / O. I. Pometun // Kompetentnisnij pidkhid u suchasnijj osviti: svitovijj dosvid ta ukraïnsjki perspektivi : Biblioteka z osvitnjoï politiki ; pid zag. red. O. V. Ovcharuk. – K. : «K. I.S.», 2004. – 112 s.
2. Ovcharuk O. V. Rozvitok kompetentnisnogo pidkhdou: strategichni orientiri mizhnarodnoï spiljnoti / O. V. Ovcharuk // Kompetentnisnijj pidkhid u suchasnijj osviti: svitovijj dosvid ta ukraïnsjki perspektivi : biblioteka z osvitnjoï politiki / Pid zag. red. O. V. Ovcharuk. – K. : «K.I.S.», 2004. –112 s.
3. Trubacheva S. E. Umovi realizacii kompetentnisnogo pidkhdou v navchaljnomu procesi / S. E. Trubacheva // Kompetentnisnijj pidkhid u suchasnijj osviti: svitovijj dosvid ta

ukraïnsjki perspektivi : biblioteka z osvithnoï politiki / Pid zag. red. O. V. Ovcharuk. – K. : «K.I.S.», 2004. – 112 s.

4. Lugoviy V. I. Ėvropeysjka koncepciya kompetentnisonogo pidkhodu u vithiy shkoli ta problemi ïï realizaciï v Ukraïni / V. I. Lugoviy // Pedagogika i psikhologiya. – 2009. – № 2. – S. 13–25.

5. Bekh I. D. Teoretiko-prikladnij sens kompetentnisonogo pidkhodu v pedagogici // Pedagogika i psikhologiya. – 2009. – № 2 (63). – S. 27-31.

6. Shubin O. Realizaciya kompetentnisonogo pidkhodu u formuvanni mayjbutnikh fakhivciv yak osnova konkurentospromozhnosti suchasnogo VNZ // Vitha osvita Ukraïni. – 2011. – № 3. – S. 119-126.

7. Zablocjka O. S. Realizaciya kompetentnisonogo pidkhodu u vitchiznyaniyj osviti / O. S. Zablocjka // Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo universitetu : pedagogichni nauki. – 2009. – № 43 – S. 58-62.

8. Lebedenko Yu. M. Kompetentnisnij pidkhid v sistemi vithoï osviti : standarti i rekomendaciï thodo zabezpechennya yakosti v Ėvropeysjkomu prostori vithoï osviti / Yu. M. Lebedenko – K. : Lenvit, 2006. – 35 s.

9. Lushnikova N. V. Realizaciya kompetentnisonogo pidkhodu pri vikladanni materialoznavchikh disciplin u fakhoviy pidgotovci bakalavriv arkhitekturi: evropeysjkiyj ta vitchiznyaniyj dosvid. // N. V. Lushnikova // Nova pedagogichna dumka. – Rivne : Nacionalnij universitet vodnogo gospodarstva ta prirodoznavstva, 2015. – spec. vip. № 2. – S. 122-129.

10. Belousov E. V. Teplovoyj, kinematičeskiyj, dinamatičeskiyj i prochnostnoyj raschet dvukh- i četihrekhtaknihh sudovihkh DVS : Metodicheskoe posobie k vihpolneniyu kursovogo proekta po discipline «Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya i ikh ehkspluataciya» / E. V. Belousov – Kherson, 2009. – 133 s.

Моисеенко Л. Л. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ИЗУЧЕНИИ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

В работе рассмотрены методические материалы и инструментари формироваия ключевых компетентностей дисциплин материаловедческого цикла на основе ряда факторов, которые обеспечивают эффективную реализацию компетентностного подхода согласно международным стандартам образования. В частности, приведен пример интегрирования данной учебной дисциплины в процесс формирования будущих специалистов морского транспорта с компетентностным подходом через выполнение курсового проекта.

Существенно компетентностный подход в курсе материаловедения реализуется через экспериментальные исследования в лабораторных работах путем постановки проблемных заданий.

Ключевые слова: компетентностный подход, проблемное обучение, материаловедческие дисциплины, моделирования проблемных ситуаций, тестовые задания, состав, свойства и маркировки сплавов в судостроении.

Moiseenko L. L. REALIZATION OF COMPETENCY APPROACH AT STUDY OF MATERIAL SCIENCE AND MATERIALS TECHNOLOGY

Methodical materials and tools for key competencies forming of material science subjects on the basis of several factors providing effective realization of competency approach according to the international standards of education are investigated in the article. In particular, example of integration of this subject in the process of general competency forming of future marine transport specialists is given through course project fulfilment.

Competency approach is realized through experimental research during laboratory works while putting problem tasks.

Keywords: competency approach, problem studies, material science subjects, problem situations designing, test tasks, composition, properties and marking of alloys in shipbuilding.

© Моисеенко Л.Л.

Статтю прийнято
до редакції 17.10.15

***РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА***

МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ ТА ПРОБЛЕМИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Шановалов Ю.О., Семенов М.М., Коробейнікова Н.В.

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала С.Й. Макарова, м. Миколаїв*

У даній статті приведено визначення біогазу й основних його характеристик. Розглянуто цикл виробництва та використання біогазу на прикладі Швеції, де відзначено, що біогаз можна використовувати в якості палива у стаціонарній енергетиці. Для використання біогазу в транспорті необхідне його збагачення та доочистка. Розглянуті технології збагачення й очистки біогазу. Відзначено, що отриманий біометан можна використовувати через мережі природного газу, тому що він має практично ті ж характеристики. Його можна вільно застосовувати в автомобілях, двигуни яких пристосовані під природний газ. Приведені приклади використання біометану в двигунах внутрішнього згоряння, які працюють як від самозапалювання, так і з примусовим запаленням палива. Аналіз можливостей отримання та використання біогазу в енергетичних установках виявив, що в якості палива для транспортних засобів слід використовувати виключно очищений та збагачений біогаз – біометан.

Ключові слова: біогаз, біометан, отримання, збагачення, використання, транспортні засоби.

Постановка проблеми. Проблеми екологічної безпеки автомобільного транспорту є складовою частиною екологічної безпеки країни. Значимість і гострота цієї проблеми зростає з кожним роком. Викликає тривогу той факт, що викиди забруднюючих речовин в атмосферу від автотранспортних засобів збільшується на рік у середньому на 3,1 %. Один автомобіль щорічно поглинає з атмосфери в середньому більше 4 т кисню, викидаючи при цьому з відпрацьованими газами приблизно 800 кг чадного газу, 40 кг оксидів азоту і майже 200 кг різних вуглеців. У результаті по Україні від автотранспорту за рік в атмосферу надходить величезна кількість тільки канцерогенних речовин: 27 тис. т бензолу, 17,5 тис. т формальдегіду, 1,5 т бензапірена і 5 тис. т свинцю. У цілому, загальна кількість шкідливих речовин, яка щорічно викидається автомобілями, перевищує цифру в 20 млн. т. Із погляду нанесення екологічного збитку, автотранспорт лідирує в усіх видах негативних впливів: забруднення повітря – 95 %, шум – 49,5 %, вплив на клімат – 68% [1].

Крім того, стрімке зростання цін на нафтопродукти і природний газ обумовлює необхідність інтенсифікації робіт з пошуку і освоєнню альтернативних джерел енергії. Для України один із пріоритетних напрямків досліджень у цій сфері - отримання енергії з біомаси тваринного і рослинного походження, твердих побутових відходів і каналізаційних стоків [2].

Останнім часом велике застосування в якості альтернативних джерел палива знаходить біогаз. Інтерес до біогазу як альтернативного палива виник завдяки екологічно чистому процесу його спалювання та можливості отримання біогазу в місцевих умовах [3].

Аналіз досліджень і публікацій. Біогаз виникає внаслідок розкладу органічної субстанції в результаті анаеробного мікробіологічного процесу (метанового бродіння). Різні групи бактерій розкладають органічні субстрати, які складаються переважно з води, білка, жиру, вуглеводів і мінеральних речовин на їх первинні складові – вуглекислий газ, мінерали та воду. Як продукт обміну речовин при цьому утворюється суміш газів, що отримала назву біогаз.

Розглянемо цикл виробництва та використання біогазу на прикладі Швеції [6]. Завод, що займається переробкою картопляних відходів був введений ще у 2006 році. На даний момент він виробляє кількість палива еквівалентно приблизно 15 тис. МВт. Проект активно підтримується Євросоюзом. Якщо жителі країни чистять картоплю, то відходи вони скидають у спеціальний контейнер. Туди ж відправляється морквяна та бурякова гичка, листя салату і т.д. Тут все залежить від бактерій, які в анаеробній середовищі розкладають біосміття. Виділяється газ, а також виходить компост, який можна використовувати у вигляді добрива сільгоспугідь. Потрібно вибудувати схему таким

чином, щоб природі не наносилася шкода і відходи використовувалися досить раціонально. Підключити до цього процесу можна будь-яке фермерське господарство. Після того як розкладеться біосміття, виходить добриво, яке 100 % натуральне, ефективне а не шкодить природі. Досвід роботи з газовими двигунами, що використовують біогаз в якості палива, є на різних підприємствах з очищення стоків, де двигуни служать для приводу вентиляційних установок і генераторів, як правило, великої потужності.

Таблиця 1 – Характеристика біогазу [4, 5]

Характеристика	Компоненти біогазу				Біогазова суміш (60% $CH_4 + 40\%CO_2$)
	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	
Об'ємна доля, %	55...70	27...44	<1	<3	100
Об'ємна теплота згоряння, МДж/м ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Границя займистості (вміст у повітрі), %	5...15	-	4...80	4...45	6...12
Температура займистості, °С	650...750	-	585	-	650...750
Критичний тиск, МПа	4,7	7,5	1,3	8,9	7,5...8,9
Критична температура, °С	-82,5	31,0	-	100,0	-2,5
Нормальна густина, г/л	0,72	1,93	0,09	1,54	1,2
Критична густина, г/л	102	468	31	349	320
Густина відносно повітря	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Крім позитивних сторін є і причини, що стримують використання біогазу в якості моторного палива, це: прогорання випускних клапанів; нижча теплота згоряння біоповітряних сумішей, а відповідно і гірші техніко-економічні показники роботи двигунів, при простій заміні бензинів біогазом втрати потужності досягають 20–22 %, а економічності до 25 %; менша швидкість згоряння біосуміші, а в підсумку цього – розтягування процесу згоряння на такт розширення і, як результат, зменшення потужності та збільшення питомої ефективної витрати палива, (або зменшення ефективного ККД); нижча температура самозаймання, а звідси утруднений запуск ДВС, особливо при низьких температурах.

Для перевезення газу необхідно високе його стиснення, щоб можна було запасати в балонах необхідну кількість цього палива. Але таке застосування біогазу не економічно, по-перше, через необхідність застосування багатоступінчастої компресорної установки, по-друге, через дуже жорсткі вимоги до техніки безпеки. Це означає, що сьогодні мова може йти про застосування біогазу тільки у стаціонарному газовому двигуні низького тиску, наприклад для приводу вентиляторів, насосів, транспортерів, генераторів та ін.

Якщо зібрати біогаз та очистити його від вуглекислого газу та домішок, то отриманий газ називають біометаном. Його можна закачувати в особливі резервуари, відвозити на автозаправні станції. Наприклад, сьогодні, одна така заправка, обслуговує більше 40 міських автобусів, 200 автомобілів і 15 вантажівок, які відвозять зібране сміття на завод. Екологи зауважують, що згорянні у двигуні газ не виділяє шкідливих викидів, крім того, знижується попит на вуглеводневі види палива, економляться значні кошти в бюджеті. Поки ініціатори проекту говорять лише про те, що виявили одні плюси з усього цього і жодного мінуса [6].

Мета роботи. Розгляд можливостей використання біогазу на транспортних засобах і визначення його якості для економічно обґрунтованого зберігання, транспортування та використання.

Виклад основного матеріалу. Видалення двоокису вуглецю потрібне, в першу чергу, для подальшої подачі біогазу в мережі природного газу. Завдяки збільшенню вмісту метану можлива адаптація якості горіння біометану до вимог робочого стандарту DVGW. І 2006 року в Німеччині запущено 38 установок, які дають біометан в мережі природного газу. Для підготовки біогазу в Німеччині, а також в інших країнах Європи використовуються переважно промивка водою під тиском і установки короткоциклової безнагрівної адсорбції з подальшим хімічним промиванням. Вирішальне значення для вибору технології мають характеристики біогазу, досягну якість товарного біометану, втрати метану і в підсумку витрати на підготовку, які можуть коливатися в залежності від місцевих умов. У табл. 2 наведені основні характеристики технологій підготовки.

Таблиця 2 – Порівняння технологій збагачення метану [7]

<i>Технологія</i>	<i>Принцип дії/ характеристики</i>	<i>Досяжна доля CH_4</i>	<i>Інші характеристики</i>
Адсорбція	Чергуються фізична адсорбція та десорбція внаслідок зміни тиску	> 97%	Велика кількість реалізованих проектів, необхідне попереднє видалення сірководню та видалення вологи, мала керованість установки, велика потреба в електричній енергії, немає потреби в тепловій енергії, великі втрати метану, непотрібні технологічні хімікати
Промивка водою під тиском (ПДТ)	Фізична абсорбція водою в якості розчинника, регенерація зниженням тиску	> 98%	Велика кількість реалізованих проектів, не потрібне попереднє видалення сірководню и видалення вологи, гнучка керованість до об'ємів газу, велика потреба в електричній енергії, немає потреби в тепловій енергії, великі втрати метану, не потрібні технологічні хімікати
Амінова промивка	Хімічна абсорбція лугами для промивки, регенерація через пари води	> 99%	Реалізована мало, мала потреба в електроенергії, дуже велика потреба в тепловій енергії, мінімальні втрати метану, велика потреба в хімікатах
Промивка з Genosorb	Аналогічно ПДТ з Genosorb в якості розчинника	> 96%	Реалізовано мало проектів, рекомендується для великих установок, не потрібне попереднє видалення сірководню та видалення вологи, гнучка керованість до об'ємів газу, велика потреба в електричній енергії, немає потреби в тепловій енергії, великі втрати метану.
Мембранна технологія розділення	При пористих мембранах різниця тиску для розділення газу, в протилежному випадку швидкість дифузії газів	>96%	Реалізовано всього кілька проектів, необхідне попереднє видалення сірководню и видалення вологи, велика потреба в електричній енергії, немає потреби в тепловій енергії, великі втрати метану, не потрібні технологічні хімікати
Кріогенні технології	Зрідження газів, розділення при низьких температурах	>98%	Пілотні проекти установок, необхідне попереднє видалення сірководню та видалення вологи, велика потреба в електричній енергії, немає потреби в тепловій енергії, малі втрати метану, не потрібні технологічні хімікати.

На думку тих, хто розробляє схеми переробки, біометан – оптимальний вид палива. Не викидається нічого: солома, макуха та інші відходи сільського господарства так само йдуть в хід і переробляються. Із точки зору співвідношення «ціна-якість», претензій до ланцюжка немає. Біометан за собівартістю виходить набагато дешевше, ніж аналогічна кількість дизельного палива.

Слід зазначити, що використання природного газу, основою якого є метан, як альтернативного палива в Україні почалося вже давно [8]. На цей газ активно переходить автомобільний транспорт. Нині у країні проводиться потужна рекламна кампанія з переведення автомашин зі звичайного пального на природний газ. Економічна вигода від такого переходу очевидна. Природний газ виявився майже вдвічі дешевшим за пропан, який значно вигідніший за бензин.

Біометан має ті ж характеристики, що і природний газ. Тому його можна вільно застосовувати в автомобілях, двигун яких пристосований під природний газ.

Вигода від виробництва та застосування біометана:

- зниження енергетичної напруженості в країнах, де відсутні природні джерела енергії;
- вирішення проблем з утилізацією органічних відходів;
- різке зниження концентрації шкідливих речовин у вихлопних газах автомобілів;
- збільшення терміну служби двигунів внутрішнього згоряння автомобілів, за рахунок незмивною масляної плівки.

У всьому світі виробництву біометана приділяється величезна увага (США, країни Західної Європи, Китай тощо), оскільки він вважається паливом майбутнього, адже це паливо, що добувається практично з нічого, а скоріше з того, що становить велику загрозу для людства – з відходів.

Із точки зору екології газові види палива успішно конкурують з традиційними видами палива. Найважливішими характеристиками будь-якого моторного палива є: енергетичні (теплохімічні) властивості, величина відношення вмісту водню та вуглецю, розміри та характер будови молекул. У газових видів палива співвідношення «водень – вуглець» складає 2,5–4; молекули хімічно стійкі і прості за будовою. Це забезпечує високоякісне протікання процесу згоряння, бездетонаційну роботу двигуна та велику екологічну чистоту продуктів згоряння [1].

Дизельні автомобілі найчастіше не переводяться повністю на біометан, оскільки в такому разі довелося б серйозно модифікувати сам двигун. Зазвичай встановлюється гібридний газодизельний варіант. У циліндри подається біометан, але в кінці такту стиснення надходить також невелика порція дизельного палива. Вона підпалює біометан, який не може самостійно спалахнути від стиснення. У циліндрах перед займанням знаходиться приблизно 70% біометану і 30% дизельного палива. Така пропорція зберігається при їзді по замських трасах. При русі автомобіля на низьких передачах (режим, характерний для міста), співвідношення біометану і дизельного палива змінюється в зворотному порядку. Крім прямої економічної вигоди є і ряд інших переваг газобалонного обладнання (ГБО). Перш за все, ГБО є всього лише додатковою системою і не вимагає глобальної переробки двигуна. Поряд з цим, воно дозволяє використовувати як біометан, так і традиційні види палива в одному автомобілі. Значно збільшується і запас ходу, оскільки машина оснащена паливним баком і одним або декількома газовими балонами. Біометан набагато менше забруднює масло у двигуні і заміну масла можна проводити рідше. Приблизно на 70% знижується викид шкідливих речовин в атмосферу. Газоповітряна суміш зменшує утворення нагару на поршнях і голівці блоку циліндрів. Збільшується і термін служби свічок. Оскільки біометан володіє високим октановим числом, він не викликає в двигуні детонаційні процеси. Автомобіль із ГБО працює тихіше. На газодизельних автомобілях спостерігається підвищення потужності та досягнення максимального крутного моменту на більш низьких обертах, що важливо для вантажівок великої вантажопідйомності [9, 10].

Оскільки біометан має велике значення октанового числа, це відкриває можливість для усунення недоліків, характерних для використання біометану. Правильно виставлене запалювання або використання октан-коректора назавжди закрийє це питання. Біометан в двигуні горить повільніше, ніж бензин. За рахунок цього трохи знижується динаміка розгону і спостерігається втрата потужності двигуна. Втрата потужності безпосередньо залежить від ступеня стиснення робочого об'єму двигуна і від алгоритму запалювання. Чим вище ступінь стиснення, тим менше втрати потужності (двигуни, розраховані під 95 бензин, добре працюють на біометані та видають до 98% потужності, що розвивається на бензині). А що стосується запалювання, то коригування під біометан допоможе максимізувати ККД. Для цього для займання біоповітряної суміші потрібно більш висока температура, ніж при займанні бензоповітряної суміші. З урахуванням вище викладеного робимо висновки, що для стійкого займання біоповітряних сумішей необхідно збільшити ступінь стиснення або ж потрібно збільшити енергію іскри запалювання. Наприклад, цього можна домогтися шляхом застосування механізму форсуночного запалювання або разточкою головки циліндра.

Висновки. Аналіз можливостей отримання та використання біогазу в енергетичних установках виявив, що в якості палива для транспортних засобів слід використовувати виключно очищений і збагачений біогаз – біометан.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Криницький Е. Экологичность автотранспорта должен определять Федеральный закон // Автомобильный транспорт. – 2000. – № 9.
2. Калетнік Г. М. Біопалива : ефективність їх виробництва та споживання в АПК України : навч. посіб. / Г. М. Калетнік, В. М. Пришляк. – Вінниця : Енозіс, 2008. – 192 с.
3. Біопалива (технологія, машини і обладнання) / [В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло та ін.]. – К. : Енергетика і електрифікація, 2004 – 256 с.
4. Барбара Эдер Хайнц Шульц. Биогазовые установки : практическое пособие Издано в 1996 г. Переклад з німецького компанією Zorg Biogas в 2011 р. Під науковою редакцією А. Реддих. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.zorg-biogas.com>
5. Васильева И. Г. Энергетический потенциал отходов сельскохозяйственного производства / И. Г. Васильева. – 1981. – № 7. – С. 57.
6. Производства биогаза в Республике Беларусь и Швеции. Обмен опытом : отчет о выполнении проекта / Ларс Риден. – CSD Upsala, 2012. – 40 с.
7. Хитров А. Н. Сельскохозяйственная биомасса как источник энергии / А. Н. Хитров – 1980. – № 4 – С. 57.
8. Чаговец В. М. Природный газ як моторне паливо. Перспективи використання на транспорті / В. М. Чаговец, В. Р. Козак, І. О. Орлов // VII Міжнародна конференція «Нафта та газ 2003». – 2003. – С. 4.
9. Карпенко В. И. Биотехнология в сельском хозяйстве и промышленности / В. И. Карпенко, Н. В. Реутская, Т. А. Игнатова // Технологическая биоэнергетика. – 1988. – Выпуск 3. – С. 97.
10. Карпенко В. І. Перспективи отримання палива з використанням природних і штучно створених біосистем / В. І. Карпенко, Д. В. Чернишенко // Україна: людина, суспільство, природа : тези доповідей міжнародної наукової студентської конференції. – К. : ВД «Києво-Могилянська академія», 1995. – С. 25.

REFERENCES

1. Krinickiyj E. Ehkologichnostj avtotransporta dolzhen opredelyatj Federaljnihiy zakon // Avtomobiljnihiy transport. – 2000. – № 9.
2. Kaletnik G. M. Biopaliva : effektivnistj ikh virobnictva ta spozhivannya v APK Ukraїni : navch. posib. / G. M. Kaletnik, V. M. Prishlyak. – Vinnicya : Enozis, 2008. – 192 s.

3. Biopaliva (tekhnologiya, mashini i obladnannya) / [V. O. Dubrovin, M. O. Korchemniy, I. P. Maslo ta in.]. – K. : Energetika i elektrifikaciya, 2004 – 256 s.
4. Barbara Ehder Khayjnc Shuljc. Biogazovihe ustanovki : prakticheskoe posobie Izdano v 1996 g. Pereklad z nimeckjogo kompanieyu Zorg Biogas v 2011 r. Pid naukovoyu redakcieyu A. Reddikh. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.zorg-biogas.com>
5. Vasiljeva I. G. Ehnergeticheskiy potencial otkhodov seljskokhozyayjstvennogo proizvodstva / I. G. Vasiljeva. – 1981. – № 7. – S. 57.
6. Proizvodstva biogaza v Respublike Belarusj i Shvecii. Obmen opihtom : otchet o vihpolnenii proekta / Lars Riden. – CSD Upsala, 2012. – 40 c.
7. Khitrov A. N. Seljskokhozyayjstvennaya biomassa kak istochnik ehnergii / A. N. Khitrov – 1980. – № 4 – S. 57.
8. Chagovecj V. M. Prirodniy gaz yak motorne palivo. Perspektivi vikoristannya na transporti / V. M. Chagovecj, V. R. Kozak, I. O. Orlov // VII Mizhnarodna konferenciya «Nafta ta gaz 2003». – 2003. – S. 4.
9. Karpenko V. I. Biotekhnologiya v seljskom khozyayjstve i promihshlennosti / V. I. Karpenko, N. V. Reutskaya, T. A. Ignatova // Tekhnologicheskaya bioehnergetika. – 1988. – Vihpusk 3. – S. 97.
10. Karpenko V. I. Perspektivi otrimannya paliva z vikoristannyam prirodnikh i shtuchno stvorenikh biosistem / V. I. Karpenko, D. V. Chernishenko // Ukraïna: lyudina, suspiljstvo, priroda : tezi dopovidey mizhnarodnoï naukoï studentsjkoï konferenciï. – K. : VD «Kievo-Mogilyansjka akademiya», 1995. – S. 25.

Шаповалов Ю.А., Семенов М.М., Коробейникова Н.В. ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Представлено определение биогаза и основных его характеристик. Рассмотрен цикл производства и использования биогаза на примере Швеции, где определено, что биогаз возможно использовать в качестве топлива в стационарной энергетике. Для использования биогаза на транспорте необходимо его обогащение и доочистка. Рассмотрены технологии обогащения и очистки биогаза. Отмечено, что полученный биометан можно использовать через сети природного газа, так как он имеет практически те же характеристики. Его можно свободно использовать в автомобилях, двигатели которых переоборудованы под природный газ. Приведены примеры использования биометана в двигателях внутреннего сгорания, которые работают как от самовоспламенения, так и с принудительным воспламенением топлива. Анализ возможностей получения и использования биогаза в энергетических установках показал, что в качестве топлива для транспортных средств необходимо использовать исключительно очищенный и обогащенный биогаз – биометан.

Ключевые слова: биогаз, биометан, получение, обогащение, использование, транспортные средства.

Shapovalov Yu.A., Semenov M.M., Korobeynikova N.V. POSSIBILITIES FOR BIOGAS AND PROBLEMS OF ITS APPLICATION TO TRANSPORT.

Presented by the definition of biogas and its main characteristics. The cycle the production and utilization of biogas from Example Sweden, where it is determined that the possibility to use biogas as a fuel in a fixed energy. For the use of biogas in transport is necessary to its enrichment and post-treatment. The technology of enrichment and purification of biogas. It is noted that the resulting biomethane can be used via the network of natural gas, since it has substantially the same characteristics. It can be freely used in cars, engines which are converted by natural gas. Examples of the use of biomethane in internal combustion engines, which work both on the auto-ignition and forced ignition of fuel. Analysis of opportunities and the use of biogas in power plants has shown that as a fuel for vehicles must use only purified and enriched biogas - biomethane.

Key words: biogas, biomethane, obtaining, refining, use, vehicles.

© Шаповалов Ю. О., Семенов М. М., Коробейнікова Н. В.

Статтю прийнято
до редакції 17.11.15

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ЗАЩИТНЫЕ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТЕ

Агеев М.С.

Херсонская государственная морская академия;

Волков Ю.В.

Кировоградский национальный технический университет;

Чиграй С.Л.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Судоремонт является важной частью судоходства. В настоящее время технологическое обеспечение судоремонтного производства в некоторых случаях не соответствует современным технологическим, экономическим и экологическим требованиям, вызывает необходимость отбраковки деталей в связи с невозможностью их восстановления. Это создает дефицит запасных частей, повышает материальные затраты на ремонт, увеличивает его продолжительность. Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям деталей судовых машин и механизмов при выполнении капитального ремонта показывал, что значительное количество деталей восстанавливается разными методами, однако часть бракуется по причине недопустимо износа и отсутствия технологий их восстановления. Поэтому решение задачи расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей требует внедрения в практику судоремонта технологических процессов восстановления таких как электродуговое напыление для нанесения антикоррозионных покрытий и электроконтактное припекание покрытий дискретной структуры для восстановления валов судовых дизельных генераторов.

Ключевые слова: суда, судовые дизельные генераторы, ремонт, эксплуатация, восстановление, сварка, газопламенное напыление, электродуговое напыление, электроконтактное припекание, дискретные покрытия.

Состояние проблемы. Современное судно, независимо от его назначения (перевозка грузов по морям и океанам или по внутренним водным путям, вылов и переработка морепродуктов, добыча углеводородов или других полезных ископаемых, проведение научно-исследовательских работ), представляет собой сложное инженерное сооружение, предназначенное для автономного плавания, в том числе, в экстремальных гидрометеорологических условиях [1].

К сожалению, переход на рыночную экономику имел негативные последствия: суда и их технические средства начали эксплуатироваться на «износ» при не всегда оправданном сокращении численности судовых экипажей; крайне сократилось поступление новых современных судов; большинство судов, находящихся в эксплуатации, имеют предельный возраст [2]. Техническая эксплуатация судов с изношенными корпусными конструкциями и техническими средствами требует особой ответственности и внимания для предотвращения аварийных выходов из строя технических средств и обеспечения безопасности плавания. Необходимо большое внимание уделять оценке тепловой и механической напряженности двигателей, вопросам технического использования главных двигателей различных конструкций с ограничительными характеристиками с целью предотвращения аварий судовых дизелей [3–4]. С целью обеспечения работоспособности, надежности, экономичности и безопасности судна в процессе эксплуатации экипаж судна и береговые службы должны осуществлять его техническое обслуживание и ремонт [5–9].

Ремонт судна включает капитальный ремонт, техническое обслуживание, переоборудование, ремонт крупных и незначительных повреждений [10]. Техническое обслуживание и судоремонт включают следующие работы [11–13]:

- продувку и повторную покраску корпуса судна, надводного борта, надстроек, внутренних поверхностей резервуаров и производственных помещений;
- реконструкцию и монтаж основного машинного оборудования (дизельных двигателей, турбин, генераторов и насосных станций);

– капитальный ремонт, техническое обслуживание и монтаж систем (промывка, испытание и монтаж системы трубопровода).

Судоремонт является важной частью судоходства [1, 10]. Работы по ремонту на судостроительных заводах составляют приблизительно 25% [1, 10]. Обычный ремонт судов длится от 3 дней до 2 месяцев, в то время как более важные типы ремонта и переоборудования могут длиться более года. Работы по переоборудованию и ремонту иногда являются более рентабельными, чем строительство новых судов. Процесс судоремонта во многом сходен с судостроением, за исключением того, что он является менее масштабным и выполняется более быстрыми темпами. Объемы ремонтных работ для поддержания работоспособности судов с каждым годом увеличиваются, так как большинство судов находится в эксплуатации более 20 лет [1, 4–5]. В настоящее время технологическое обеспечение судоремонтного производства в некоторых случаях не соответствует современным технологическим, экономическим и экологическим требованиям, вызывает необходимость отбраковки деталей в связи с невозможностью их восстановления. Это создает дефицит запасных частей, повышает материальные затраты на ремонт, увеличивает его продолжительность [1, 4–5].

Многолетний опыт эксплуатации и ремонта показывает, что в большинстве случаев причиной неисправностей в узлах агрегатов судовых машин и механизмов (СММ) и выход их из строя является износ деталей [1, 4, 11–12]. В трибосопряжениях узлов и агрегатов СММ происходят механические, физические, химические процессы, вызывающие повреждения и разрушения поверхностей [1, 4, 11–12]. Основной причиной разрушения деталей является внешнее трение, которое приводит к интенсивному износу, повреждениям поверхностей, потери мощности и уменьшение надежности и долговечности механизмов в целом.

Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям деталей судовых машин и механизмов (СММ) [1–10] при выполнении капитального ремонта показывает, что значительное количество деталей восстанавливается разными методами [11–19], однако часть бракуется по причине недопустимо износа и отсутствия технологий их восстановления. Номенклатура таких деталей очень широкая, а количество их составляет около 22% от количества продефектованных деталей. На рис. 1 представлены статистические данные распределения количества бракованных деталей в зависимости от характера неисправности. Такое положение дел приводит к появлению дефицита запасных частей, увеличения стоимости и продолжительности ремонта СММ. Поэтому решение задачи расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей требует внедрения в практику ремонта СММ технологических процессов восстановления [14–19].

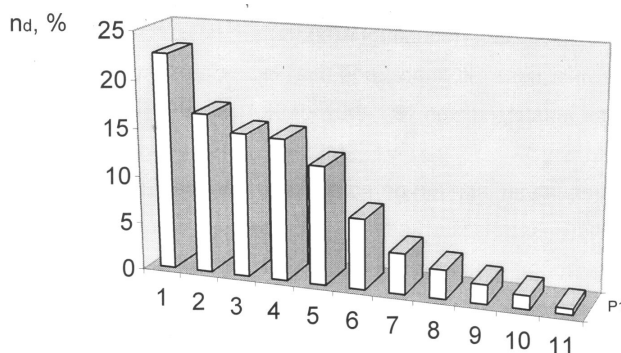


Рисунок 1 – Статистические данные распределения количества бракованных деталей СММ в зависимости от характера неисправностей:

1 – износ; 2 – забоины, вмятины, деформация; 3 – перегрев, прогар; 4 – трещины; 5 – срыв резьбы; 6 – повышенное биение; 7 – неперпендикулярность; 8 – коррозия; 9 – газовая коррозия; 10 – истощение ресурса; 11 – повреждения при демонтаже

Постановка задачі. Ежегодно на судоремонтных предприятиях восстанавливается и ремонтируется 75...80 % изношенных деталей СММ путем восполнения потери металла на изношенных участках и даже придания рабочей поверхности специальных свойств [20]. Восстановление деталей при одновременном повышении их ресурса – важный резерв развития ремонтного производства, повышения его эффективности. Использование восстановленных деталей позволяет уменьшить расходы судоремонтных предприятий на запасные части, сохранить большое количество металла. Внедрение технологических процессов ограничивается отсутствием научно-обоснованных рекомендаций по их применению при восстановлении деталей СММ. Существующие методики восстановления и упрочнения деталей, СММ в ряде случаев, не соответствуют существующим требованиям, так как они не позволяют комплексно учитывать эксплуатационные, экологические и экономические требования. В связи с этим разработка технологий восстановления и упрочнения с целью продления ресурса деталей СММ – актуальная задача, которая поможет сделать ремонтное производство рентабельным.

Результаты исследований. В настоящее время существуют различные способы восстановления путем нанесения защитных покрытий разного функционального назначения [17–19], многообразие которых объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность: каждый способ имеет свою область применения; один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами; большинство способов можно рассматривать как альтернативные [21–23].

Среди существующих способов восстановления и упрочнения наибольшую часть занимают сварочные технологии. Сварка – один из основных технологических процессов соединения деталей в современном судостроении и судоремонте [10, 14–19]. Способы электросварки – сварка плавлением и давлением [24–29].

Сварка плавлением выполняется почти на каждом участке судостроительной верфи [1, 10, 14, 17, 24–25]. При сварке плавлением металл сварного шва формируется из расплавленного основного металла, к которому добавляется присадочный материал. Свойства сварного соединения зависят от свойств химических элементов, количественного содержания основного и присадочного материалов, от окружающей среды, конструкции элементов, режимов сварки и др. факторов. Контакт расплавленного металла с воздухом приводит к окислению металла и растворению в нем азота и водорода. Поэтому при сварке плавлением используют защиту – шлаковую, газовую и комбинированную. Шлаковая защита может быть активной и пассивной. Функции активной защиты – раскисление, связывание фосфора и серы, дополнительное легирование и т. п. При газовой защите (в среде инертных газов) раскислители и легирующие элементы вводятся через сварочную проволоку. Образование соединения происходит путем термодинамического преобразования вещества. Монолитность и прочность сварного соединения достигаются атомно-молекулярными связями между элементарными частицами соединяемых материалов.

Нагрев при сварке плавлением осуществляется пламенем сварочной горелки или электрической дугой. Наиболее распространены ацетиленокислородная (газовая) сварка и электросварка [24–25].

Газовая сварка использует тепло, вырабатываемое при сжигании горючего газа. Наиболее общепринятым горючим газом является ацетилен, используемый в сочетании с кислородом (газовая сварка ацетиленокислородным пламенем) [24–25].

Ацетиленокислородная (газовая) сварка может применяться при сварке металлов различных толщин и физико-химических свойств [24–25]. Процесс газовой сварки является сравнительно медленным, трудно поддается автоматизации. Она используется на судостроительных заводах для сварки тонких листов (приблизительно до 7 мм), а так же для сварки труб малого диаметра, вентиляции и кондиционирования воздуха (стальные листы), электрических кабелей, так же как и для пайки твердым и мягким припоем [10, 17].

Пайка твердым припоем и пайка мягким припоем являются технологическими приемами для соединения двух металлических поверхностей без расплава основного металла [24-25]. Если температура припаяемого металла ниже 450°C , процесс называется – пайка мягким припоем, если температура выше 450°C , то процесс называется – пайка твердым припоем. Швы, выполненные при помощи пайки мягким или твердым припоем, не обладают такими свойствами прочности, как сварные швы. Поэтому, пайка твердым припоем и пайка мягким припоем применяется в судостроении для выполнения швов на трубах малого диаметра, изготовления тонких металлических пластин, для технического обслуживания [10, 17].

Электродуговая сварка, является наиболее универсальным процессом сварки, которая используется в судостроении [10, 17]. Процессы при электродуговой сварке требуют защиты сварного соединения от атмосферного воздуха и подразделяются на флюсозащитные и газозащитные [24-25].

На судостроительных верфях используется электродуговая сварка с флюсозащитой [10, 17], называемая сваркой под флюсом [24-25]. Электрод служит в качестве наполнителя. Дуга, погруженная в поверхностный слой флюса, расплавляет его для создания защитного изолированного расплавленного экрана в зоне сварочного соединения. После выполнения сварки, расплавленный металл предохраняется при помощи слоя наплавленного флюса, который впоследствии удаляется и может регенерироваться. Сварка под флюсом идеально подходит для торцевой сварки листов на линиях сборки секций, на участках сварки листов и в монтажных зонах [10, 17]. Процесс сварки под флюсом является автоматическим.

Газоэлектрическая сварка – разновидность электродуговой сварки, включающая газозащитные процессы. Эти процессы используют электродную проволоку с внешней подачей защитного газа, который может являться инертным или активным газом, или сочетанием и того и другого [24-25]. В точке, где электрод встречается со сварочной дугой, в сварочный пистолет подается аргон или гелий, используемый в качестве защитного газа. Для сварки стали может использоваться сочетание CO_2 и/или инертного газа. Газоэлектрическая сварка – непрерывная сварка без прерывания работы с целью замены электродов.

Процессом сварки с газовой защитой является дуговая газовая сварка вольфрамовым электродом, иногда называемая вольфрамовой сваркой в инертном газе или по имени торговой марки – Heliarc, так как гелий первоначально использовался в качестве газовой защиты [24-25]. Дуговая газовая сварка вольфрамовым электродом применяется на судостроительных верфях для сварки алюминия, стальных листов, а так же труб и трубопроводов малого диаметра [1, 10, 17]. Дуга вырабатывается между обрабатываемым изделием и вольфрамовым электродом, который является неплавящимся электродом. Дуга не передает присадочный материал, а просто расплавляет материал и электродную проволоку, приводя к более чистой сварке [24-25].

Дуговая сварка трубчатым электродом используется при резке металла в судостроении и требует дополнительной газовой защиты согласно требованиям судостроительной промышленности [1, 10, 17]. Электрод является трубчатой электродной проволокой с флюсовой сердцевинкой, обеспечивает более высокое качество сварных швов при высокой производительности сварочного аппарата по сравнению с процессами дуговой сварки с защитой зоны сварки [24-25].

Плазменная сварка в инертном газе является процессом сварки с газовой защитой. Плазменная сварка имеет большое сходство с дуговой газовой сваркой вольфрамовым электродом, за исключением того, что дуга усиливается реактивной струей движущейся плазмы [24-25]. Плазмой является ионизированный поток газа, несущий дугу, который вырабатывается путем сжатия дуги для прохода через малое отверстие в горелке.

Существуют дополнительные типы сварочных работ [1, 10, 17], которые могут применяться в судостроении. Электрошлаковая сварка и электрогазосварка являются эффективными процессами в судостроении для автоматического выполнения

вертикальных торцевых швов и имеют значительное преимущество при сварке тонких листов [1, 10, 17]. Термическая сварка является процессом, который имеет сходство с литьем и, прежде всего, используется для ремонта литевых или поковочных форм, а также для сварки объемных конструкций, таких как ахтерштевень [1, 10, 17, 24–25]. Стержневая сварка является формой электрической дуговой сварки, в которой стержень сам по себе является электродом [24–25]. Сварочный пистолет удерживает стержень, в то время как образуется дуга. Стержневая сварка является полуавтоматическим процессом, который обычно используется в судостроении для облегчения монтажа неметаллических материалов, таких как изоляция для стальных поверхностей [1, 10, 25].

К сварке давлением относятся: контактная, точечная, роликовая (шовная) и стыковая [26–28]. Наиболее распространенная точечная сварка используется для сварки легких переборок и выгородок, вентиляционных труб, деталей судового оборудования, и др. изделий из стали и алюминиевых сплавов [1, 10, 17].

С помощью сварки и наплавки восстанавливаются детали путем нанесения на их рабочие поверхности покрытий, которые противодействуют коррозионному и другим видам износа и разрушения. При этом используются способы электродуговой, газовой, плазменной, индукционной наплавки, а также газотермического напыления, гальванические и химико-термические методы.

Покраска выполняется почти на каждом участке судостроительной верфи [1, 10, 17]. Природа судостроения и ремонта требует несколько типов покраски. Типы покраски классифицируются от покрытий на водной основе до высококачественных эпоксидных покрытий. Тип покраски зависит от окружающей среды, которой будет подвергаться покрытие. Оборудование для нанесения покраски варьируется от простых кистей и валиков до безвоздушных распылителей и автоматических механизмов.

Судовая покраска [1, 10, 17] предусматривается на следующих участках: подводная часть (нижняя часть корпуса); ватерлиния; надстройки в верхней части; внутренние площади и резервуары; верхние палубы; оборудование для подъема якоря. Большинство судостроительных заводов имеют специальные производственные помещения и участки, где происходит покраска. Крытые производственные помещения являются дорогостоящими, но обеспечивают высокое качество и эффективность покраски. Покраска на открытом воздухе имеет более низкую эффективность и ограничивается хорошими погодными условиями. Покраска используется для выполнения ряда целей на различных участках судов. Одна краска не может выполнить все требуемые функции: предотвращение ржавчины, биологического обрастания и щелочного образования). Краски состоят из трех ингредиентов: пигмента, связующего материала и растворителя. Пигмент (оксид цинка, тальк, углерод, каменноугольный деготь, свинец, слюда, алюминий и цинковая пыль) определяет цвет и свойства, связанные с покрытием. Связующий материал (эпоксидная смола, алкидная смола, уретан, винил, фенол) удерживает пигменты краски между собой. Связующее вещество определяет характеристики покрытия (гибкость, химическое сопротивление, стойкость, шероховатость). Растворитель (ацетон, уайт-спирт, ксилол, метилэтилкетон и вода) добавляется для разжижения краски. Часть растворителя краски испаряется по мере высыхания краски.

Антикоррозионные краски и краски с защитой от биологического обрастания обычно используются для корпуса судна в судостроительной промышленности [1, 2, 10, 17].

Антикоррозионные краски являются системами покрытия на основе винила, лака, уретана, эпоксидной смолы. В настоящее время эпоксидные системы характеризуют качество покрытия, которое используется в морских условиях [1, 2, 10, 17].

Краски с защитой от биологического обрастания используются для предотвращения роста и скопления морских микроорганизмов на корпусе судна [1, 2, 10, 17]. Краски на медной основе широко используются для защиты от биологического

обрастания. Для получения различных оттенков, в краску добавляется ламповая сажа, красный оксид железа или диоксид титана.

Для нанесения покраски существует множество типов оборудования, которое используется в судостроительной промышленности [1, 2, 10, 17, 21]. Используются распылитель на сжатом воздухе и безвоздушный распылитель. Система сжатого воздуха распыляет, и воздух, и краску, что приводит к высыханию некоторого количества краски до того, как она достигнет предназначенной поверхности. Эффективность распыления такого распылителя 65 %...80 %. Такая низкая эффективность распыления происходит из-за утечки при распылении, отброса ветром и неэффективности распылителя. Наиболее широко используемым инструментом для нанесения краски в судостроительной промышленности является безвоздушный распылитель [1, 2, 17, 21–22]. Перемещение краски происходит за счет гидравлического давления, а не давления воздуха. Для снижения утечки и пролива, судостроительные заводы увеличивают использование безвоздушных распылителей краски. Безвоздушные распылители более чистые в применении и имеют меньше проблем, связанных с утечкой, в отличие от распылителей на сжатом воздухе, потому что система требует меньшего давления. Эффективность безвоздушных распылителей в зависимости от условий приближается к 90 %. Новая технология, которая может служить дополнением к безвоздушному распылителю, называется «сильная струя при низком давлении» [17, 22]. Технология сильной струи при низком давлении предусматривает более высокую эффективность распыления.

После зоны розборки и сборки, детали, узлы и многосекционные модули транспортируются на участки продувки, где происходит их подготовка для покраски. На этой стадии детали проходят пескоструйную обработку до образования обнаженного металла. Наиболее часто используемым методом для подготовки поверхности является продувка воздушным соплом. На следующей стадии на стальные листы и компоненты наносится система первичного покрытия, которое является грунтовкой и относится к «цеховой грунтовке» [1, 10, 17]. Цеховая грунтовка имеет две важные функции: (1) предохранение металла до момента окончательной отделки продукции и (2) содействие продуктивности строительства. Большинство типов грунтовок обогащаются цинком с органическими или неорганическими связующими веществами. Силикат цинка является доминирующим среди неорганических цинковых грунтовок. Системы цинковой грунтовки предохраняют покрытие тем же способом, что и гальванизированные покрытия. Если цинк наносится на сталь, кислород вступает в реакцию с цинком и образует оксид цинка. Это создает плотный слой, который не допускает соприкосновение воды или воздуха со сталью. Грунтовка наносится на стальные листы, профили, секции трубопроводов и воздухопроводов. Следующий этап – покраска. Маляры обычно используют безвоздушные распылители. После нанесения покрытия, детали и сборочные узлы направляются на участки оснащения, где происходит комплектация принадлежностей. Перед процессом сборки необходимо нанести покраску на множество деталей, которые включаются в комплект судна. Например, трубопроводные катушки, воздухопроводы, фундаменты и двери окрашиваются до того, как они устанавливаются на сборочные узлы. Малогабаритные детали, в основном, подготавливаются под покраску на специальных участках судостроительной верфи. Покраска малогабаритных деталей может выполняться на других участках, если они отвечают производственной необходимости. Некоторые из малогабаритных частей окрашиваются в различных цехах, в то время, как покраска остальных деталей, осуществляется на предназначенных для этого участках.

Покраска выполняется практически на каждом участке судостроительной верфи – от первоначальной грунтовки стали до окончательной покраски судна [1, 10, 17]. Смешивание краски выполняется как вручную, так и механическим способом. Покраска обычно выполняется на участках, окруженных бермами или защитными стеллажами. Некоторые из них являются закрытыми зонами. Часто используются ограждения, выполненные из стали, пластмассы или арматурной сетки. В судостроительной

и судоремонтной промышленности процессы покраски на судостроительной верфи могут быть описаны на основании пяти основных участков:

- покраска корпуса выполняется как на судах, подлежащих ремонту, так и на вновь строящихся судах. Подготовка поверхности корпуса и нанесение краски на судах, подлежащих ремонту, обычно выполняется, когда судно находится в сухом доке (док на суше или плавающий сухой док). При постройке нового судна, корпус подготавливается и окрашивается в помещении, при использовании одного из методов, описанных выше. Продувка водой и/или воздухом при использовании мелких твердых частиц, является наиболее общим типом подготовки поверхности корпуса;

- покраска надстроек на судах, подлежащих ремонту, осуществляется на якорной стоянке. Надстройки судна включают открытую палубу, рубку и другие конструкции, расположенные над главной палубой. Покрасочный или продувочный материал может попадать в воду. Во избежание этого устанавливается защитное ограждение. Подготовка поверхности осуществляется при помощи воздушного сопла. После подготовки поверхности и ее очистки может начинаться покраска. Покраска обычно наносится при помощи безвоздушных распылителей. Защитное ограждение, которое использовалось при продувке, остается на месте во время распыления краски;

- резервуары и отсеки на борту судна должны иметь предварительное и повторное покрытие для увеличения срока службы судна. Повторное покрытие резервуаров на судах, подлежащих ремонту, требует тщательной подготовки поверхности перед покраской. Большинство емкостей (балластные цистерны, трюмы, топливные баки) находятся в нижней части судна. Подготовка резервуаров под покраску осуществляется при помощи растворителей и детергентов для удаления жировых и масляных отложений. Сточные воды, образующиеся во время очистки резервуаров должны тщательно очищаться и сбрасываться. После осушки резервуаров, они продуваются абразивным методом. Во время абразивной продувки, резервуар должен иметь подачу рециркуляции воздуха, а абразивный материал должен вакуумироваться. Вакуум должен быть высоким для удаления абразивного материала из резервуара. Вакуумные и вентиляционные системы располагаются на поверхности дока, а доступ к ним осуществляется через отверстия в корпусе. Покраску можно начинать после продувки поверхности и удаления абразивных материалов. Для подготовки и покраски поверхности резервуаров и отсеков (т.е. в закрытых и ограниченных пространствах) требуются респираторы и соответствующая вентиляция.

Наиболее распространенными способами нанесения антикоррозионных покрытий на поверхности деталей является напыление [21–25, 29–30]. Сущность способа напыления заключается в следующем: металл в виде проволоки или порошка подается в специальный аппарат; на выходе из него расплавляется и распыливается струей сжатого воздуха или инертных газов; осаждается на специально подготовленную поверхность детали при ударном столкновении с этой поверхностью. Основные достоинства напыления как способа нанесения защитных покрытий – простота используемого оборудования; возможность нанесения покрытий как на локальные участки поверхности деталей любой формы, так и на большие площади толщиной от 0,03 мм до нескольких миллиметров. Методы напыления по сравнению с другими методами нанесения покрытий имеют ряд преимуществ, которые способствуют более широкому внедрению их в производство: высокая производительность, управляемость процессов, универсальность используемых материалов (нанесения материалов различных составов) и другие [21–25, 29–30]. Они являются самыми массовыми и наиболее гибкими способами нанесения покрытий. К преимуществам напыления, особо ценным для ремонтного производства, относится возможность осуществления процесса в различных производственных условиях (на ремонтных предприятиях, в ремонтных мастерских).

Термическое напыление, известное как газопламенное напыление или напыление металла, является нанесением алюминиевых или цинковых покрытий на сталь для защиты от коррозии [21–25]. Имеется два основных базовых типа механизмов термического

покрытия: проволочный способ газопламенного (ГПН) и электродугового напыления (ЭДН) [29–30]. Электродуговым (ЭДН) и газопламенным (ГПН) напылением наносится более 75 % покрытий [22–25, 29–30]. Это связано с тем что они являются самыми дешевыми и простыми методами нанесения покрытий, которые не требуют применения высокостоимостного оборудования и обладают технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей.

Проволочный способ газопламенного напыления (ГПН) находит широкое применение при нанесении антикоррозионных покрытий. При газопламенном напылении (ГПН) источником тепловой энергии является газовое пламя, образующееся в результате горения смеси кислород (сжатый воздух) – горючий газ (ацетилен, пропан-бутан, природный газ и др.) [29–32]. Температура продуктов сгорания горючих газов при использовании в качестве окислителя кислорода достигает 2000...3000 градусов. Наивысшим удельным тепловым потоком обладает ацетиленокислородное пламя. К преимуществам газопламенного напыления покрытий относятся: возможность гибкого регулирования газового режима работы горелки, что позволяет управлять химическим составом среды (восстановительная, окислительная, нейтральная) и энергетическими характеристиками пламени и напыляемых частиц; высокая производительность процесса (до 8–10 кг/ч) и высокий коэффициент использования материала (более 95%); относительно низкий уровень шума и излучений, позволяющий работать оператору без дополнительных средств защиты; возможность нанесения покрытий в любом пространственном положении; гибкость и мобильность, что позволяет производить напыление на месте, без демонтажа изделий; лёгкость введения в существующие технологические линии, возможность автоматизации и встройки в автоматическую линию с небольшими затратами.

В условиях сложившейся экономической ситуации в Украине возрастает востребованность в обеспечение судоремонтных и судостроительных предприятий недорогими технологиями нанесения защитных покрытий, такими как электродуговое напыление (ЭДН) [1, 10, 17, 34, 35]. Сущность процесса электродугового напыления заключается в нагреве (до плавления) электрической дугой сходящихся проволок (электродов) и распылении расплавленного металла сжатым воздухом [29, 33]. В мировой практике антикоррозионной защиты электродуговой метод напыления получил значительное распространение. Оборудование, на котором производят напыление, является сравнительно простым, легким и его можно достаточно быстро перемещать. Целесообразность применения ЭДН обеспечивается его такими преимуществами [33]: доступностью источника энергии; технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей; высокой производительностью нанесения покрытия (до 20 кг/час стали); получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 и более миллиметров; отсутствием значительного термического влияния на деталь (температура нагрева детали 100–150 °C); отсутствием деформации деталей; простотой и технологичностью процесса; возможностью нанесения покрытия на поверхности деталей из различных материалов (сталь, чугун, и др.); получением покрытий из различных материалов проволоки с заданными свойствами.

Поверхность должна быть тщательно подготовлена для соответствующей адгезии напыляемых материалов. Наиболее общим методом подготовки поверхности является продувка воздухом с мелкими твердыми частицами (например, оксид алюминия) [24, 25, 29].

Заводская себестоимость термического напыления высока по сравнению с покраской, хотя если принимать во внимание срок службы, термическое напыление более экономичный процесс. Многие судостроительные верфи имеют собственные механизмы термического напыления, а другие заводы заключают субподряд на проведение термического покрытия. Термическое напыление может выполняться в цехе или на борту судна [1, 10, 17, 34, 35].

При выборе способа нанесения защитных покрытий необходимо учитывать основные условия их формирования [36, 37]:

- термические воздействия на деталь должны полностью предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле;
- доля участия основного металла в покрытии должна быть близка к нулю;
- в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, которые способны изменить ее структуру и фазовый состав.

Из широкого спектра современных методов нанесения защитных покрытий разного функционального назначения этому условию формирования покрытий наиболее полно отвечают электроконтактные методы (наплавка, наварка, припекания) [38–41]. Процесс электроконтактного припекания покрытий (ЭКПП) [38–41] характеризуется использованием электрического тока силой 1,5...32 кА, вторичным напряжением 1...6 В, давлением до 100 МПа и отличается высокой скоростью нагрева. Однако температура нагревания порошка находится в пределах 0,9...0,95 $T_{пл}$. При ЭКПП нанесение покрытий осуществляется в твердой фазе. Главным принципом электроконтактного припекания является сохранение наследственности, т.е. начальных свойств материала покрытия. ЭКПП имеет незначительное влияние на металл восстанавливаемых поверхностей, температура детали не превышает 60...80 °С, отсутствует термическое коробление и поводки деталей. Покрытия, которые наносятся способом ЭКПП, характеризуются малою зоной термического влияния. Получение покрытий без расплавления присадочного материала позволяет наносить слои с требуемыми физико-механическими свойствами. Технология ЭКПП относится к категории «холодных» и «сухих», не требует жидких технологических сред. Покрытия характеризуются прочностью сцепления 150 ... 350 МПа, пористостью до 10 %), низкой энергоемкостью процесса, высокой производительностью, отсутствием излучения и газовыделения, минимальными припусками на финишную обработку [42]. Однако, широкое применение метода ЭКПП в ремонтном производстве ограничивается неравномерностью нагрева восстанавливаемой поверхности и наносимого материала покрытия по сечению, что приводит к ухудшению эксплуатационных свойств восстановленных деталей. Основной недостаток технологии ЭКПП – краевой эффект, который приводит к неравномерному распределению температуры и давления по ширине электрода [43]. Следствием этого является неоднородная пористость покрытия, максимальная в зонах кромки электрода, а также неравномерность адгезионной прочности со снижением ее в зоне кромки [43].

Краевой эффект, который имеет место при восстановлении деталей электроконтактным припеканием, предложено устранять путем нанесения на восстанавливаемые поверхности покрытий дискретной структуры [44]. Суть принципа формирования покрытий состоит в том, что традиционный сплошной слой заменяется на прерывистый слой, мозаично-дискретной структуры покрытия [45]. Использование подобного решения для газотермического напыления дискретных покрытий протекторного типа на длинномерных теплообменниках повысило граничное состояние детали, которая деформируется, больше, чем в 3 раза за счет повышения когезионной и адгезионной стойкости покрытия [45]. На основании литературных источников показано, что использование преимуществ дискретных покрытий, которые получают традиционными электроискровым и вакуум-плазменным методами не представляется возможным для восстановления деталей со значительной величиной износа (больше 1 мм) [45]. Электроконтактный способ обеспечивают нанесение дискретных покрытий с повышенными механическими свойствами толщиной более 1мм [44]. Размеры и конфигурация отдельных участков покрытия устанавливаются из условия минимизации уровня напряженно-деформированного состояния [36, 37]. ЭКПП покрытий дискретной структуры позволяет получать восстанавливаемые поверхности деталей с равномерными свойствами [44].

Способ электроконтактного припекания покрытий дискретной структуры целесообразно использовать при восстановлении деталей типа «вал» судовых дизельных

генераторов, в частности распределительных и коленчатых валов. Восстановление и упрочнение валов дизельных генераторов является одной из сложных проблем судоремонтного производства. На запасные части приходится основная доля затрат (40...75 %) в себестоимости капитального ремонта ДГ. К настоящему времени на судоремонтных предприятиях проблема повышения ресурса деталей типа «вал» судовых дизельных генераторов (СДГ) до нормативных значений остается весьма актуальной.

Выводы. Результаты проведенных исследований и их анализ показал, что разработка эффективных ресурсосберегающих технологий с использованием современных методов упрочнения и восстановления, организация специализированных участков ремонта на предприятиях водного транспорта представляет собой серьезную задачу. Перспективным и эффективным решением проблемы нанесения антикоррозионных покрытий является использование электродугового напыления, а применение электроконтактного припекания покрытий дискретной структуры актуально при восстановлении и повышении ресурса валов СДГ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин А. А. Судостроение и судоремонт // Сборник научных трудов. – СПб : Из-во С.-Петербург. гос. ун-т вод. коммуникаций, 2000. – 89 с.
2. Бочкарев В. Н. Технологическая наследственность в управлении качеством судовых машин и механизмов : монография / В. Н. Бочкарев, Н. Я. Яхьяев – Махачкала : Дагестанский филиал АН СССР, 1990. – 200 с.
3. Возницкий И. В. Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания / И. В. Возницкий, Л. А. Иванов. – М. : Транспорт, 1971.
4. Возницкий И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин / И. В. Возницкий. – С-Петербург, 2006.
5. Захаров Г. В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок / Г. В. Захаров – М. : Транслит, 2009. – 256 с.
6. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок / [Камкин С. В., Возницкий И. В., Большаков В. Ф. и др.]. – М. : Транспорт, 1996.
7. Возницкий И. В. Судовые дизели и их эксплуатация / И. В. Возницкий, Е. Г. Михеев. – М. : Транспорт, 1990.
8. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – С-Петербург, 2007.
9. Овсянников М. К. Эксплуатационные качества судовых дизелей / М. К. Овсянников, В. А. Петухов – Л. : Судостроение, 1982.
10. Ремонт речных судов : справочник / Ю. К. Аристов, Ф. Ф. Бенуа, А. А. Вышеславцев и др. : под ред. А. Ф. Видецкого. – М. : Транспорт, 1988. – 431 с.
11. Тилипалов В. Н. Ремонт машин: технологии, эффективность, прогнозирование / [Тилипалов В. Н., Схиртладзе А. Г., Минаков А. П. и др.]. – Калининград : изд-во КГТУ, 2005. – 315 с.
12. Надежность и ремонт машин / [В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др.] – М. : Колос, 2000. – 776 с.
13. Ершов К. Задачи сервисных организаций по ремонту оборудования / К. Ершов // Гл. механик. – 2005. – № 10. – С. 54-59.
14. Сторожев В. П. Восстановление деталей судовых технических средств / В. П. Сторожев // Серия «Судоремонт». – 1990. – Вып. 1(17) – С. 1-60.
15. Семькин В. Н. Обзор современных способов восстановления деталей машин / В. Н. Семькин, Ю. С. Золототрубова, В. Н. Проценко // Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении : меж. вуз. сб. науч. трудов. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2004. – С. 82-86.
16. Кондратьев В. А. Классификация видов технологических процессов восстановления деталей / В. А. Кондратьев, М. В. Кондратьев // Иновационные

технологии и оборудование машиностроительного комплекса : меж. сб. науч. трудов. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2005. – Вып. 4. – С. 32-34.

17. Половинкин В. Н. Новые высокие технологии на пути к внедрению в судостроении. Успехи ожидаемые и неожиданные / В. Н. Половинкин // Материалы конференции. – СПб. : «Моринтех», 2001. – С. 9-10.

18. Нахимович Е. Комплексный подход к решению задач по повышению долговечности и износостойкости материалов и деталей машин / Е. Нахимович // Трение, износ и смазка. – 2003. – 5, № 4. – С. 61-64.

19. Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях / Ф. И. Пантелеенко // Производство и ремонт машин : сб. матер. Междун. науч-техн. конф. [г. Ставрополь, 28 февр.-6 марта 2005 г.]. – Ставрополь : Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – С. 58-63.

20. Голубев И. Г. Мониторинг технологических процессов восстановления деталей / Голубев И. Г., Быков В. В., Батищев А. Н. и др. // Науч. тр. Моск. гос. ун-т леса. – 2000. – № 306. – С. 31-34.

21. Покрытия и их использование в технике. В кн. «Прочность материалов и конструкций» / под ред. В. Т. Трощенко. – К. : Академперіодика, 2006. – С. 981-1074.

22. Современные достижения в области нанесения защитных и упрочняющих покрытий / Борисов Ю. С. // Порош. металлургия – Киев, 1993. – № 7. – С. 5-14.

23. Интегрированный банк данных по защитным покрытиям / Борисов Ю. С., Бернадский В. Н., Овсиенко А. В., Соляник Т. Н., Пашина Н. В. // Соврем. достиж. в обл. техн. и применения газотерм. и вакуум. покрытий. АН УССР. Ин-т электросварки. – Киев, 1991. – С. 102-107.

24. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.

25. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей машин. – М. : Колос, 1981. – 351 с.

26. Кочергин К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 272 с.

27. Кочергин К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 240 с.

28. Сварка трением : справочник / В. К. Лебедев, И.А. Черненко и др. – Л. : Машиностроение, 1987. – 236 с.

29. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.

30. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 10-13.

31. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Обзор. Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление / С. Г. Мchedlov. // Свароч. пр-во. – 2007. – № 10. – С. 35-45, 63.

32. Витязь П. А. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, Е. Д. Манойло и др. // Наука и техника. – Минск, 1993. – 294 с.

33. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов // Физико-химические закономерности. – Екатеринбург : УрГУ; Екатеринбург : Унив. изд-во, 2012. – 267 с.

34. Дубчак В. С. Опыт Мурманского СРЗ по восстановлению деталей методами газотермического напыления / В. С. Дубчак // В/О «Мортехинформреклама», серия «Судоремонт». – Москва, 1987. – Вып. 20. – С. 1-10.

35. Корнев А. Б. Разработка стратегии ремонта трибосопряжений крупногабаритных деталей с применением газотермического напыления в судоремонтном производстве: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.08.04 / Корнев Андрей Борисович. – Н. Новгород, 2006. – 23 с.

36. Кондратьев В. А. Выбор рационального метода восстановления / В. А. Кондратьев, М. В. Кондратьев // Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса : меж. сб. науч. трудов. Воронеж. гос. техн. ун-та. – Воронеж : Изд-во ВГТУ 2005. – Вып. 4. – С. 35-38.
37. Кравченко И. Н. Комплексный анализ методик выбора рациональных способов восстановления деталей машин // Ремонт, строительство, модернизация. – Балашиха : Военно-технический университет при Федеральном агентстве специального строительства РФ. – 2007. – № 3. – С. 40-44.
38. Карпенко В. М. Электроконтактная наплавка порошковых материалов в металлической оболочке : учебн. пособие / В. М. Карпенко, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков. – Краматорск : ДГМА, 2002. – 128 с.
39. Пономарев А. И. Разработка технологии восстановления поверхностей качения электроконтактной наваркой проволокой : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Москва : Моск. гос. техн. ун-т, 2004. – 16 с.
40. Черновол М. И. Получение износостойких покрытий электроимпульсным припеканием композиционных порошков / М. И. Черновол, Л. А. Лопата, М. В. Красота // Композиционные материалы в промышленности : тезисы докладов конференции. – Киев : Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, 1999. – С. 194.
41. Лопата Л. А. Спосіб зміцнення поверхонь електроімпульсним припінанням композиційних зносостійких покриттів / Л. А. Лопата, Ф. Й. Златопольський, М. В. Красота // Проблеми підвищення надійності та довговічності машин : збірник наукових праць. – Кіровоград : КІСМ, 1996. – С. 32-38.
42. Лопата Л. А. Поєднання процесів електроконтактного припінання порошків і теплового пластичного деформування / Л. А. Лопата, М. В. Красота // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – Вип. 12. – С. 79-86.
43. Лопата Л. А. Досягнення рівномірного нагріву порошкових шарів при електроімпульсному припінанні металевих порошків / Л. А. Лопата, М. В. Красота // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь, 1999. – Вип. 2, Том 7. – С. 67-69.
44. Лопата Л. А. Получение износостойких дискретных покрытий электроконтактным припеканием / Л. А. Лопата, Б. А. Ляшенко, Ю. В. Волков // Проблема тертя та зношування : науково-технічний збірник. – Київ, НАУ, 2009. – № 51. – С. 139-148.
45. Ляшенко Б. А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Б. А. Ляшенко, А. Я. Мовшович, А. И. Долматов // Технологические системы. – 2001 – № 4 (10). – С. 17-25.

REFERENCES

1. Kuzjmin A. A. Sudostroenie i sudoremont // Sbornik nauchnikh trudov. – SPb : Iz-vo S.-Peterburg. gos. un-t vod. kommunikacij, 2000. – 89 s.
2. Bochkarev V. N. Tekhnologicheskaya nasledstvennostj v upravlenii kachestvom sudovihkh mashin i mekhanizmov : monografiya / V. N. Bochkarev, N. Ya. Yakhjhaev – Makhachkala : Dagestanskiy filial AN SSSR, 1990. – 200 s.
3. Voznickiy I. V. Predotvrathenie avariij sudovihkh dvigateleyj vnutrennego sgoraniya / I. V. Voznickiy, L. A. Ivanov. – M. : Transport, 1971.
4. Voznickiy I. V. Povrezhdeniya i polomki dizeleyj. Primerih i analiz prichin / I. V. Voznickiy. – S-Peterburg, 2006.
5. Zakharov G. V. Tekhnicheskaya ehkspluataciya sudovihkh dizeljniikh ustanovok / G. V. Zakharov – M. : TransLit, 2009. – 256 s.
6. Ehkspluataciya sudovihkh dizeljniikh ehnergeticheskikh ustanovok / [Kamkin S. V., Voznickiy I. V., Boljshakov V. F. i dr.]. – M. : Transport, 1996.

7. Voznickiy I. V. Sudovihe dizeli i ikh ehkspluatatsiya / I. V. Voznickiy, E. G. Mikheev. – M. : Transport, 1990.
8. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya. – S-Peterburg, 2007.
9. Ovsyannikov M. K. Ehkspluatatsionnihe kachestva sudovikh dizeley / M. K. Ovsyannikov, V. A. Petukhov – L. : Sudostroenie, 1982.
10. Remont rechnikkh sudov : spravochnik / Yu. K. Aristov, F. F. Benua, A. A. Vihsheslavcev i dr.: pod red. A. F. Videckogo. – M. : Transport, 1988. – 431 s.
11. Tilipalov V. N. Remont mashin: tekhnologii, ehffektivnostj, prognozirovanie / [Tilipalov V. N., Skhirtladze A. G., Minakov A. P. i dr.]. – Kaliningrad : izd-vo KGTU, 2005. – 315 s.
12. Nadezhnostj i remont mashin / [V. V. Kurchatkin, N. F. Teljnov, K. A. Achkasov i dr.] – M. : Kolos, 2000. – 776 s.
13. Ershov K. Zadachi servisnikh organizacij po remontu oborudovaniya / K. Ershov // Gl. mekhanik. – 2005. – № 10. – С. 54-59.
14. Storozhev V. P. Vosstanovlenie detaley sudovikh tekhnicheskikh sredstv / V. P. Storozhev // Seriya «Sudoremont». – 1990. – Vihp. 1(17) – S. 1-60.
15. Semihkin V. N. Obzor sovremennikh sposobov vosstanovleniya detaley mashin / V. N. Semihkin, Yu. S. Zolototrubova, V. N. Prochenko // Progressivnihe tekhnologii i oborudovanie v ehlektronike i mashinostroenii : mezh. vuz. sb. nauch. trudov. – Voronezh : Izd-vo VGTU, 2004. – S. 82-86.
16. Kondratjev V. A. Klassifikatsiya vidov tekhnologicheskikh processov vosstanovleniya detaley / V. A. Kondratjev, M. V. Kondratjev // Inovatsionnihe tekhnologii i oborudovanie mashinostroitelnogo kompleksa : mezh. sb. nauch. trudov. – Voronezh : Izd-vo VGTU, 2005. – Vihp. 4. – S. 32-34.
17. Polovinkin V. N. Novihe vihsokie tekhnologii na puti k vnedreniyu v sudostroenii. Uspekhi ozhidaemihe i neozhidannihe / V. N. Polovinkin // Materialih konferencii. – SPb. : «Morintekh», 2001. – S. 9-10.
18. Nakhimovich E. Kompleksniy podkhod k resheniyu zadach po povisheniyu dolgovechnosti i iznosostoykosti materialov i detaley mashin / E. Nakhimovich // Trenie, iznos i smazka. – 2003. – 5, № 4. – S. 61-64.
19. Panteleenko F. I. Novoe v vosstanoviteljno-uprochnyayuthikh tekhnologiyakh / F. I. Panteleenko // Proizvodstvo i remont mashin : sb. mater. Mezhdun. nauch-tekhn. konf. [g. Stavropolj, 28 fevr.-6 marta 2005 g.]. – Stavropolj : Izd-vo StGAU «AGRUS», 2005. – S. 58-63.
20. Golubev I. G. Monitoring tekhnologicheskikh processov vosstanovleniya detaley / Golubev I. G., Bihkov V. V., Batithev A. N. i dr. // Nauch. tr. Mosk. gos. un-t lesa. – 2000. – № 306. – S. 31-34.
21. Pokrihtiya i ikh ispolzovanie v tekhnike. V kn. «Prochnostj materialov i konstrukcij» / pod red. V. T. Trothenko. – K. : Akademperiodika, 2006. – S. 981-1074.
22. Sovremennihe dostizheniya v oblasti naneseniya zathitnikh i uprochnyayuthikh pokrihtij / Borisov Yu. S. // Porosh. metallurgiya – Kiev, 1993. – № 7. – S. 5-14.
23. Integrirovanniy bank dannikh po zathitnim pokrihtiyam / Borisov Yu. S., Bernadskiy V. N., Ovsienko A. V., Solyanik T. N., Pathina N. V. // Sovrem. dostizh. v obl. tekhn. i primeneniya gazoterm. i vakuum. pokrihtij. AN USSR. In-t ehlektrosvarki. – Kiev, 1991. – S. 102-107.
24. Molodihk N. V. Vosstanovlenie detaley mashin / N. V. Molodihk, A. S. Zenkin. – M. : Mashinostroenie, 1989. – 480 s.
25. Volovik E. L. Spravochnik po vosstanovleniyu detaley mashin. – M. : Kolos, 1981. – 351 s.
26. Kochergin K. A. Svarka davleniem / K. A. Kochergin. – L. : Mashinostroenie, 1972. – 272 s.
27. Kochergin K. A. Kontaktnaya svarka / K. A. Kochergin. – L. : Mashinostroenie, 1987. – 240 s.

28. Svarka treniem : spravochnik / V. K. Lebedev, I.A. Chernenko i dr. – L. : Mashinostroenie, 1987. – 236 s.
29. Khasui A. Naplavka i napihlenie / A. Khasui, O. Morigaki. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 239 s.
30. Kharlamov Yu. A. Gazotermicheskoe napihlenie pokrihtiy i ehkologichnostj proizvodstva, ehkspluatatsii i remonta mashin / Yu. A. Kharlamov // Tyazheloe mashinostroenie. – 2000. – № 2. – S. 10-13.
31. Gazotermicheskoe pokrihtie v tekhnologii uprochneniya i vosstanovleniya detaley mashin: Obzor. Ch. 1. Gazoplamennoe i detonacionnoe napihlenie / S. G. Mchedlov. // Svaroch. pr-vo. – 2007. – № 10. – S. 35-45, 63.
32. Vityazj P. A. Teoriya i praktika gazoplamennogo napihleniya / P. A. Vityazj, B. C. Ivashko, E. D. Manoyjlo i dr. // Nauka i tekhnika. – Minsk, 1993. – 294 s.
33. Boronenkov V. N. Osnovih dugovoyj metallizatsii / V. N. Boronenkov, Yu. S. Korobov // Fiziko-khimicheskie zakonomernosti. – Ekaterinburg : UrGU; Ekaterinburg : Univ. izd-vo, 2012. – 267 s.
34. Dubchak B. C. Opiht Murmanskogo SRZ po vosstanovleniyu detaley metodami gazotermicheskogo napihleniya / V. S. Dubchak // V/O «Mortekhinformreklama», seriya «Sudoremont». – Moskva, 1987. – Vihp. 20. – S. 1-10.
35. Kornev A. B. Razrabotka strategii remonta tribosopryazheniy krupnogabartinihkh detaley s primeneniem gazotermicheskogo napihleniya v sudoremontnom proizvodstve: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk: 05.08.04 / Kornev Andreyj Borisovich. – N. Novgorod, 2006. – 23 s.
36. Kondratjev V. A. Vihbor racionaljnogo metoda vosstanovleniya / V. A. Kondratjev, M. V. Kondratjev // Inovacionnihe tekhnologii i oborudovanie mashinostroitelnogo kompleksa : mezh. sb. nauch. trudov. Voronezh. gos. tekhn. un-ta. – Voronezh : Izd-vo VGTU 2005. – Vihp. 4. – S. 35-38.
37. Kravchenko I. N. Kompleksnihyj analiz metodik vihbora racionaljnihkh sposobov vosstanovleniya detaley mashin // Remont, stroitelstvo, modernizatsiya. – Balashikha : Voenno-tekhnicheskij universitet pri Federalnom agenstve specialjnogo stroitelstva RF. – 2007. – № 3. – S. 40-44.
38. Karpenko V. M. Ehlektrokontaktnaya naplavka poroshkovihkh materialov v metallicheskoj obolochke : uchebn. posobie / V. M. Karpenko, V. T. Katrenko, V. A. Presnyakov. – Kramatorsk : DGMA, 2002. – 128 s.
39. Ponomarev A. I. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya poverkhnostey kacheniya ehlektrokontaktnoy navarkoyj provolokoyj : avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk. – Moskva : Mosk. gos. tekhn. un-t, 2004. – 16 s.
40. Chernovol M. I. Poluchenie iznosostoyjkikh pokrihtiy ehlektroimpuljsnim pripekaniem kompozicionnihkh poroshkov / M. I. Chernovol, L. A. Lopata, M. V. Krasota // Kompozicionnihe materialih v promishlennosti : tezisih dokladov konferencii. – Kiev : Institut sverkhhtverdihihkh materialov NAN Ukrainih, 1999. – S. 194.
41. Lopata L. A. Sposib zmichennya poverkhonj elektroimpuljsnim pripikannyam kompoziciynihkh znosostiyjkikh pokritj / L. A. Lopata, F. Yj. Zlatopoljskijj, M. V. Krasota // Problemi pidvithennya nadiynosti ta dovgovichnosti mashin : zbirnik naikovihk pracj. – Kirovograd : KISM, 1996. – S. 32-38.
42. Lopata L. A. Poednannya procesiv elektrokontaktnogo pripikannya poroshkiv i teplogo plastichnogo deformuvannya / L. A. Lopata, M. V. Krasota // Cistemni metodi keruvannya, tekhnologiya ta organizatsiya virobniictva, remontu i ehkspluatatsii avtomobiliv. – Kiiv, NTU, 2001. – Vip. 12. – S. 79-86.
43. Lopata L. A. Dosyagnennya rivnomirnogo nagrivu poroshkovihkh shariv pri elektroimpuljsnomu pripikanni metalevikh poroshkiv / L. A. Lopata, M. V. Krasota // Trudih Tavricheskoyj gosudarstvennoy agrotekhnicheskoyj akademii. – Melitopolj, 1999. – Vip. 2, Tom 7. – S. 67-69.
44. Lopata L. A. Poluchenie iznosostoyjkikh diskretnihkh pokrihtiy ehlektrokontaktnim pripekaniem / L. A. Lopata, B. A. Lyashenko, Yu. V. Volkov // Problema

tertya ta znoshuvannya : naukovo-tekhnichniyj zbirnik. – Kiïv, NAU, 2009. – № 51. – S. 139-148.

45. Lyashenko B. A. Uprochnyayuthie pokrihtiya diskretnoyj strukturih / B. A. Lyashenko, A. Ya. Movshovich, A. I. Dolmatov // Tekhnologicheskie sistemih. – 2001 – № 4 (10). – S. 17-25.

Агеев М.С., Волков Ю.В., Чиграй С.Л. ЗАХИСТНІ ТА ЗМІЦНЮЮЧИ ПОКРИТТЯ У СУДНОБУДУВАННІ ТА СУДНОРЕМОНТІ

Судноремонт є важливою частиною судноплавства. В даний час технологічне забезпечення судноремонтного виробництва в деяких випадках не відповідає сучасним технологічним, економічним та екологічним вимогам, викликає необхідність відбраковування деталей у зв'язку з неможливістю їх відновлення. Це створює дефіцит запасних частин, підвищує матеріальні витрати на ремонт, збільшує його тривалість. Аналіз статистичних даних по дефектах і несправності деталей суднових машин і механізмів при виконанні капітального ремонту показав, що значна кількість деталей відновлюється різними методами, однак частина бракується через неприпустимий знос і відсутність технологій їх відновлення. Тому рішення задачі розширення номенклатури відновлюваних деталей вимагає впровадження в практику судноремонту технологічних процесів відновлення, таких як електродугове напилення для нанесення антикорозійних покриттів і електроконтактне припикання покриттів дискретної структури для відновлення валів суднових дизельних генераторів.

Ключові слова: судна, суднові дизельні генератори, ремонт, експлуатація, відновлення, зварювання, газополуменеве напилення, електродугове напилення, електроконтактне припикання, дискретні покриття.

Ageev M.S., Volkov Y.V., Chigray S.L. INCREASES OF RESOURCE OF SHIP PUMPS ONBASIS OF THE COMBINED TECHNOLOGY OF RENEWAL

Ship repair is an important part of navigation. Currently, technological support ship repair production in some cases, does not correspond with modern technological, economic and environmental requirements necessitates the rejection of parts due to the impossibility of their recovery. This creates a shortage of spare parts, increases the material costs for repairs, increases its duration. The statistical analysis of defects and defective parts ship machinery when performing overhaul show that a significant number of parts is reduced by different methods, but the part is rejected because of unacceptable wear and technologies for their recovery. Therefore, the solution of expanding the range of recoverable parts requires implementation in practice of ship repair recovery processes such as arc spraying for the application of anti-corrosion coatings and Electrocontact sintering coating discrete structure to restore shaft marine diesel generators.

Key words: ships, marine diesel generators, repair, maintenance, repair, welding, flame spraying, arc spraying, electric contact sintering, discrete coating.

© Агеев М. С., Волков Ю. В., Чиграй С. Л.

Статтю прийнято
до редакції 23.09.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРИХЛОРЭТИЛФОСФАТОМ

Акимов А.В.

Херсонская государственная морская академия

Постановка проблемы. С каждым днем во всем мире возрастает объем производства и потребления полимерных материалов. Среди таких материалов достаточно широко распространены и применяются термореактивные полимеры, например – эпоксидные смолы, которые являются одними из важнейших видов синтетических смол благодаря технологическим и эксплуатационным свойствам, а также разнообразию областей применения композитов на их основе. Их используют при получении и производстве как разнообразных лакокрасочных материалов и порошковых красок, электроизоляционных компаундов, так и в качестве связующих для композиционных материалов (эпоксикомпозитов), применяемых для изготовления изделий и защитных покрытий различного функционального назначения [1–3].

Эпоксидные полимеры имеют в наличии реакционноспособные гидроксильные и эпоксидные группы, что дает возможность их модифицировать другими полимерными добавками. В результате использования технологии гидродинамического совмещения компонентов получают пластифицированные связующие, которые отличаются улучшенными реологическими свойствами и пластичностью. Кроме этого, также формируют эпоксидные компаунды, которые в свою очередь характеризуются повышенными показателями физико-механических и теплофизических свойств. Поэтому эпоксидные олигомеры по-прежнему являются наиболее перспективными среди других органических высокомолекулярных веществ [3–5].

Вместе с тем, эпоксидные полимеры имеют недостатки, наиболее существенными из которых являются жесткость и высокая горючесть. Устранение данных недостатков предопределяет цель нашей работы. Несмотря на огромное количество работ, посвященных снижению пожарной опасности эпоксидных полимеров, эта проблема до настоящего времени остается актуальной. Одновременно со снижением горючести эпоксидных полимеров необходимо решить еще одну задачу, связанную с повышением показателей эксплуатационных характеристик эпоксикомпозитов различного функционального назначения [4, 6]. В связи с этим исследования, направленные на создание пожаробезопасных эпоксидных композитов с улучшенными физико-механическими и теплофизическими свойствами для обеспечения оптимального комплекса эксплуатационных характеристик защитных покрытий, являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодня широко и эффективно используют композиционные материалы (КМ) на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и отвердителя полиэтиленполиамина ПЭПА (ТУ 6-05-241-202-78) [4, 5]. Предварительно установлено, что оптимальная концентрация отвердителя ПЭПА для отверждения ЭД-20 составляет 10 масс.ч. отвердителя на 100 масс.ч. эпоксидиановой смолы [7, 8].

Известно, что прочность эпоксидных КМ составляет $\sigma = 100 \dots 150$ МПа. При этом широкое применение находят эпоксидиановые смолы марок ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22, представляющие собой жидкости желтого цвета различной вязкости. При введении отвердителя при комнатной температуре смола в течение времени $\tau = 2 \dots 4$ ч желатинизируется, а в течение времени $\tau = 8 \dots 12$ ч необратимо затвердевает. Нагревание ускоряет процессы полимеризации и увеличивает степень отверждения эпоксидных КМ. К положительной характеристике эпоксидиановых композитов относят незначительную усадку при отверждении, что повышает прочность и трещиностойкость защитных покрытий.

Для повышения эластичности в эпоксидные связующие вводят пластификаторы, а для снижения горючести – антипирены. Известно, что для снижения горючести эпоксидных полимеров, относящихся к классу карбонизирующихся материалов, в качестве замедлителей горения эффективно используют фосфорсодержащие соединения, инициирующие процессы карбонизации [4, 5]. Как показал проведенный анализ, для решения поставленной проблемы в качестве модифицирующих добавок можно использовать пластификатор-антипирен трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), одновременно пластифицирующий эпоксидную матрицу и снижающий ее горючесть. При этом в качестве отвердителя пластифицированного эпоксидного олигомера целесообразно применять полиэтиленполиамин. Наиболее рациональным является содержание, вводимого в эпоксидную композицию, пластификатора ТХЭФ в количестве 10...40 масс.ч., так как при таком его количестве достигают более высокие показатели ударной вязкости, кислородного индекса, что обеспечивает формирование материалов класса трудносгораемых [2, 9].

Вместе с тем, в научных литературных источниках отсутствует информация об исследовании тепло- и термостойкости эпоксикомпозитов, пластифицированных трихлорэтилфосфатом, который является для полимерных КМ ингибитором горения – антипиреном. Таким образом, экспериментальные исследования как физико-механических, так и теплофизических свойств таких эпоксикомпозитов и защитных покрытий на их основе имеют значительный теоретический и практический интерес, что позволяет не только расширить область их применения, но и даст возможность прогнозировать в комплексе их эксплуатационные характеристики.

Целью работы является исследование теплофизических свойств эпоксикомпозитов, модифицированных трихлорэтилфосфатом – пластификатором-антипиреном.

Материалы и методы исследования. Исследованы составы на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93) с молекулярной массой 360...470, содержащей 21,5 % эпоксидных групп. В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применяли отвердитель аминного типа – полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594-85), способный формировать трехмерную сетчатую структуру в отсутствии нагрева. Химическая формула ПЭПА – $H_2N(CH_2CH_2NH)_nH$, где $n = 1...4$, динамическая вязкость – 0,9 Па·с.

В качестве пластификатора применяли трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) (ТУ 6-05-1611-78). Молекулярная масса ТХЭФ – 285,49; внешний вид – низковязкая прозрачная маслянистая жидкость; химическая формула – $C_6H_{12}Cl_3O_4P$. ТХЭФ – трис-(2-моноклорэтил)фосфат – полный эфир ортофосфорной кислоты и этиленхлоргидрина; эффективный антипирен, значительно улучшающий противопожарные свойства материалов. ТХЭФ образует однородную физическую смесь с полимерами и не вступает с ними в химическую реакцию, что усиливает огнезащитный эффект. ТХЭФ хороший пластификатор, а присутствие атомов хлора в составе трихлорэтилфосфата не уменьшает его совместимость с полимерами. При введении в композицию ТХЭФ получают материал, горение которого быстро прекращается после нивелирования действия открытого пламени.

Эпоксидное связующее формировали по следующей технологии: дозирование компонентов, гидродинамическое совмещение пластификатора и эпоксидной диановой смолы ЭД-20 до получения однородной смеси и последующего полного растворения добавки в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин при комнатной температуре $T = 298 \pm 2$ К, ультразвуковая обработка продолжительностью $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, введение отвердителя ПЭПА и гидродинамическое совмещение компонентов в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, отверждение композиции. Отверждение КМ проводили по экспериментально установленному режиму: формирование образцов и их выдержка в течение $\tau = 12,0 \pm 0,1$ ч при температуре $T = 298 \pm 2$ К, нагрев со скоростью $v = 3$ К/мин до выбранных температур сшивания $T = 393 \pm 2$ К и $T = 413 \pm 2$ К [10] (принято по результатам предварительного

исследования адгезионных и физико-механических свойств исследуемых композитов), выдержка образцов при данной температуре в течение времени $t = 2,0 \pm 0,05$ ч, медленное охлаждение до температуры $T = 298 \pm 2$ К. С целью стабилизации структурных процессов в матрице образцы выдерживали в течение времени $t = 24$ ч на воздухе при температуре $T = 298 \pm 2$ К с последующим проведением экспериментальных исследований.

В работе исследовали теплофизические свойства КМ (теплостойкость по Мартенсу), термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР).

Теплостойкость по Мартенсу КМ определяли согласно ГОСТ 21341-75. Методика исследования заключается в определении температуры, при которой исследуемый образец нагревали со скоростью $v = 3$ К/мин под действием постоянной изгибающей нагрузки $F = 5 \pm 0,5$ МПа, в результате чего он деформируется на заданную величину ($h = 6$ мм).

ТКЛР образцов рассчитывали по кривой зависимости относительной деформации от температуры, аппроксимируя эту зависимость экспоненциальной функцией. Относительную деформацию определяли по изменению длины образца при повышении температуры в стационарных условиях (ГОСТ 15173-70). Размеры образцов для исследования: $65 \times 7 \times 7$ мм, непараллельность шлифованных торцов составляла не более 0,02 мм. Перед исследованием измеряли длину образца с точностью $\pm 0,01$ мм. Скорость подъема температуры составляет $v = 2$ К/мин. Погрешность определения температуры составляла $\Delta T = \pm 1$ К.

Результаты исследований и их обсуждения. На основе результатов экспериментальных исследований физико-механических свойств композитов [10] установлено оптимальное содержание пластификатора-антипирена трихлорэтилфосфата ТХЭФ ($q = 10 \dots 20$ масс.ч.) в эпоксидной матрице с улучшенными физико-механическими свойствами, состоящей из эпоксидного олигомера ЭД-20 (100 масс.ч.), отверждаемой полиэтиленполиамином ПЭПА (10 масс.ч.). В этом случае формируется материал со следующими свойствами: разрушающие напряжения при изгибе $\sigma_{изг} = 54,6 \dots 60,2$ МПа, модуль упругости при изгибе $E = 3,5 \dots 3,7$ ГПа. Дополнительно установлено, что показатели ударной вязкости композитов при введении в эпоксидный олигомер пластификатора ТХЭФ увеличиваются по сравнению с непластифицированной эпоксидной матрицей в 1,3 раза. При этом максимальной способностью противодействовать ударной нагрузке и улучшенной трещиностойкостью отличается КМ, пластифицированный ТХЭФ в количестве $q = 20$ масс.ч. и сформированный при температуре $T = 393 \pm 2$ К. Ударная вязкость такого композита составляет $W = 9,3$ кДж/м². Ввиду незначительной разницы в значениях физико-механических показателей сформированных эпоксиполимеров с содержанием пластификатора $q = 10$ и $q = 20$ масс.ч. в интервале температур сшивания $\Delta T = 373 \dots 453$ К выбрали оптимальную концентрацию ТХЭФ $q = 10$ масс.ч, что позволит сократить затраты на производство пластифицированных полимерных матриц.

Таким образом, исходя из приведенных выше результатов была поставлена задача исследовать теплофизические свойства КМ, сшитых при температурах $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К. При этом КМ формировали на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 ($q = 100$ масс.ч), отвержденной аминным отвердителем ПЭПА ($q = 10$ масс.ч), при введении пластификатора ТХЭФ в диапазоне концентраций $q = 10 \dots 40$ масс.ч.

На первом этапе определяли теплостойкость КМ по Мартенсу при увеличении содержания пластификатора ТХЭФ. Установлено (рис. 1), что значения теплостойкости по Мартенсу при температурах сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К отличаются незначительно, а общий характер кривых указывает на снижение указанной характеристики с увеличением количества вводимого пластификатора. Доказано, что для КМ с пластификатором в количестве $q = 0 \dots 10$ масс.ч. значения теплостойкости составляют $T_I = 354 \dots 355$ К, а для КМ с пластификатором в количестве $q = 30 \dots 40$ масс.ч. теплостойкость составляет $T_{II} = 336 \dots 343$ К. Однако, в интервале содержаний вводимого в КМ пластификатора $q = 10 \dots 30$ масс.ч. характер зависимости различный – при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К эта зависимость носит более плавный характер, чем при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К.

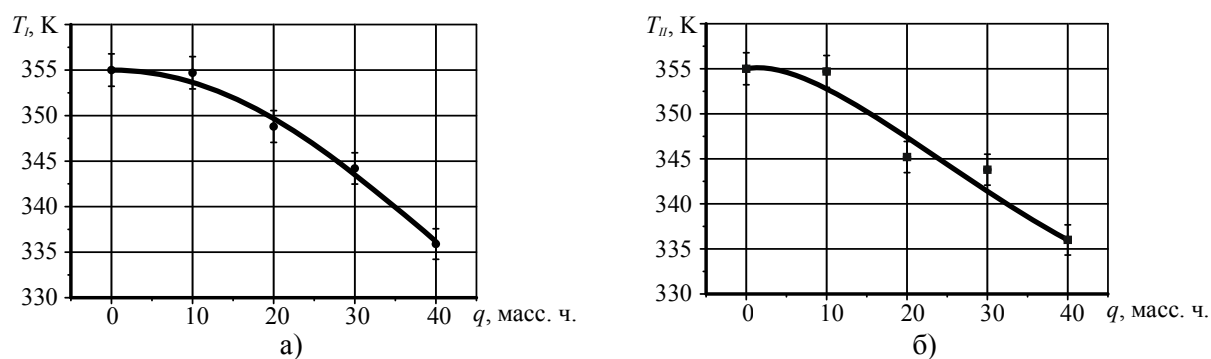


Рисунок 1 – Зависимость теплостойкости по Мартенсу (T_I и T_{II}) от содержания пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ:

а) температура сшивания КМ – $T_1 = 393$ К; б) температура сшивания КМ – $T_2 = 413$ К

Таким образом, для создания матрицы с повышенными показателями теплофизических свойств рекомендуется вводить в эпоксидное связующее пластификатор ТХЭФ в количестве $q = 10$ масс.ч. и отверждать матрицу при температуре $T_1 = 393$ К.

Для более детального анализа процессов структурообразования и, соответственно, для анализа поведения КМ под влиянием теплового поля исследовали термический коэффициент линейного расширения материалов. На основании полученных дилатометрических кривых зависимости деформации от температуры производили расчет ТКЛР КМ в различных диапазонах для температур сшивания КМ $T_1 = 393$ К (рис. 2) и $T_2 = 413$ К (рис. 3).

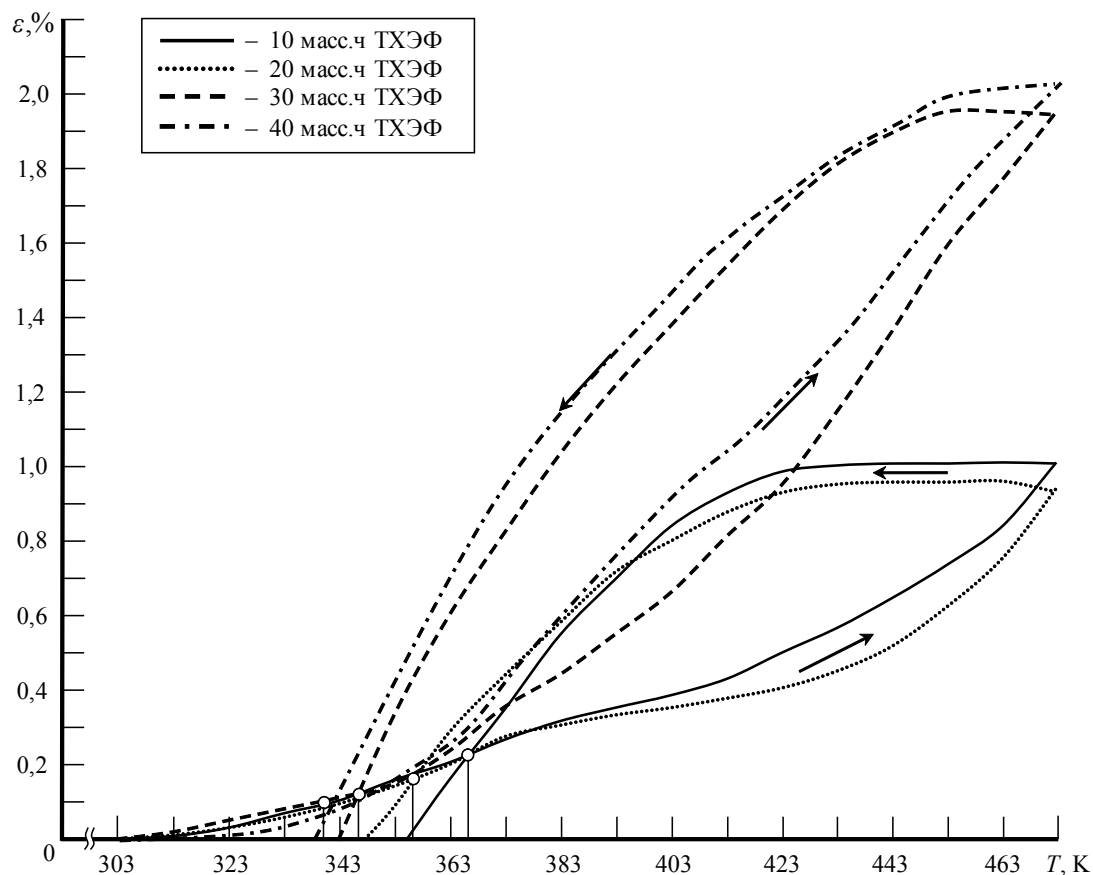


Рисунок 2 – Дилатометрические кривые с различным содержанием пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ при температуре сшивания $T_1 = 393$ К

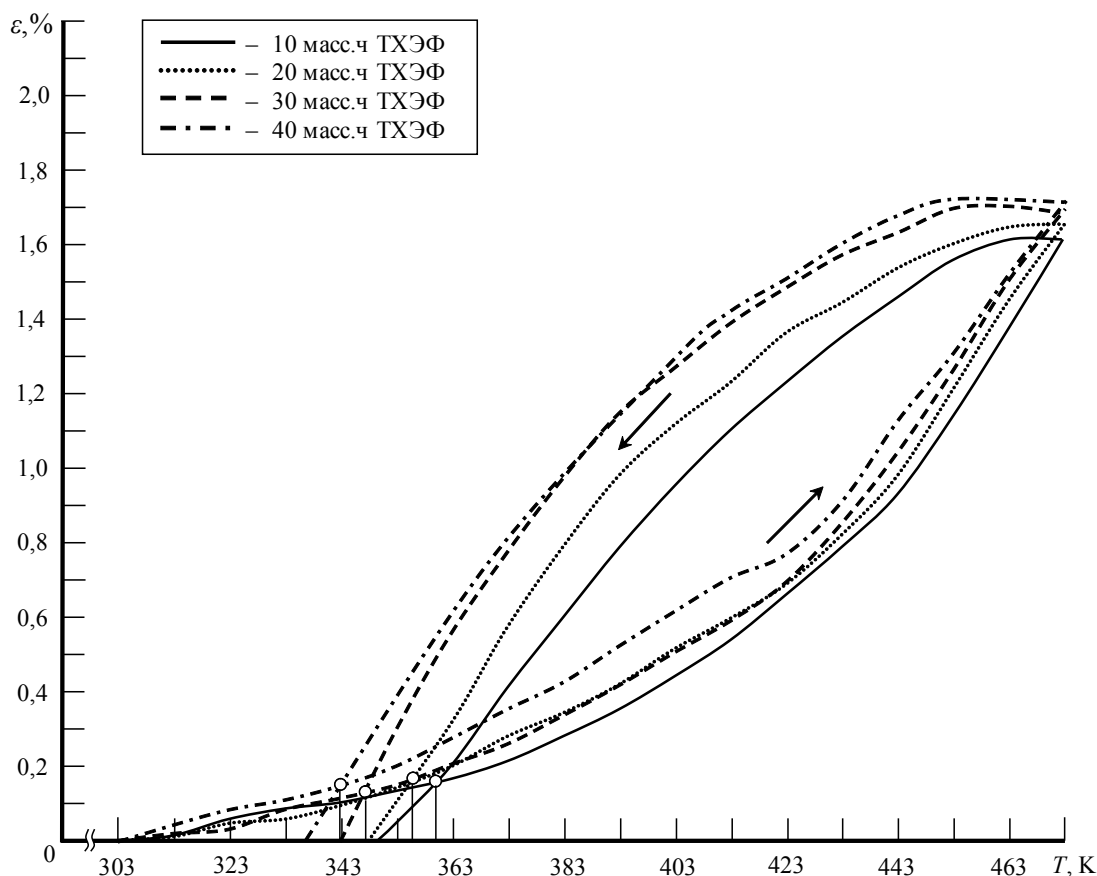


Рисунок 3 – Дилатометрические кривые с различным содержанием пластификатора ТХЭФ (q , масс.ч.) в КМ при температуре сшивания $T_2 = 413$ К

Результаты расчета ТКЛР композитов в различных температурных интервалах исследования приведены в табл. 2. Следует отметить, что при температурах сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К на различных температурных участках исследования ТКЛР материалов увеличивается с ростом температуры. Следует отметить, что в области линейного расширения $\Delta T = 303 \dots 473$ К при температурах сшивания $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К наименьшим показателем ТКЛР ($\alpha_1 = 9,56 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ и $\alpha_2 = 9,54 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, соответственно) отличается КМ с содержанием пластификатора ТХЭФ в количестве $q = 10$ масс.ч.

Можно предположить, что в КМ с оптимальным содержанием вводимого пластификатора происходит активация физико-химических процессов на границе раздела фаз «связующее – пластификатор», в результате чего формируется материал с меньшей степенью золь-фракции, а следовательно, и улучшенными не только физико-механическими, но и теплофизическими свойствами.

При анализе дилатометрических кривых (рис. 2 и рис. 3) дополнительно установлено, что при термическом нагреве происходит усадка материалов, значение которой приведено в табл. 2. Кроме того, в результате экспериментальных исследований установлено температуру стеклования КМ (табл. 2). Доказано, что среди всех исследуемых композитов материал, пластифицированный ТХЭФ (10 масс.ч.), характеризуется максимальным значением температуры стеклования ($T_{c1} = 367$ К при температуре сшивания $T_1 = 393$ К и $T_{c2} = 360$ К при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К).

Минимальные значения усадки наблюдаются также при содержании вводимого в КМ пластификатора в количестве $q = 10$ масс.ч. и составляет $\Delta l_1 = 0,81$ % при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $\Delta l_2 = 0,55$ % при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К. Значение усадки при температуре сшивания КМ $T_1 = 393$ К выше в 1,47 раза по сравнению со значением усадки при температуре сшивания КМ $T_2 = 413$ К, что, по нашему мнению, обусловлено испарением пластификатора при нагреве.

Таблица 1 – Термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) при различных температурных диапазонах исследований для температур сшивания КМ $T_1 = 393$ К и $T_2 = 413$ К

Содержание пластификатора ТХЭФ, q , масс.ч.	Термический коэффициент линейного расширения, $\alpha \times 10^{-5}, K^{-1}$			
	Температурные диапазоны исследования, $\Delta T, K$			
	303...323	303...373	303...423	303...473
Температура сшивания КМ $T_1 = 393$ К				
0 (контрольный образец)	2,44	2,79	4,27	8,32
10	2,58	3,82	4,39	9,56
20	2,57	3,85	4,89	9,97
30	2,37	4,96	7,89	11,60
40	2,79	6,97	10,40	12,10
Температура сшивания КМ $T_2 = 413$ К				
0 (контрольный образец)	3,42	3,67	5,62	9,73
10	3,94	3,04	5,51	9,54
20	3,94	4,27	5,64	9,82
30	3,94	4,51	5,78	10,00
40	4,33	4,95	5,91	10,10

Полученные результаты усадки и температуры стеклования коррелируют со значениями показателей теплостойкости, которые при содержании вводимого в КМ пластификатора в количестве $q = 10$ масс.ч. также среди всех исследуемых образцов являются самыми высокими (рис. 1 и табл. 2).

Таблица 2 – Теплофизические свойства КМ

Характеристики	Содержание вводимого в КМ пластификатора ТХЭФ, q , масс.ч.				
	0 (контрольный образец)	10	20	30	40
Температура сшивания КМ $T_1 = 393$ К					
Теплостойкость, T_l, K	355	354,7	348,8	344,7	335,9
Температура стеклования, T_{c1}, K	313	367	357	347	338
Усадка, $\Delta l_1, \%$	0,14	0,81	0,88	1,10	2,06
Температура сшивания КМ $T_2 = 413$ К					
Теплостойкость, T_{II}, K	355	354,7	345,2	343,8	336
Температура стеклования, T_{c2}, K	313	360	356	349	342
Усадка, $\Delta l_2, \%$	0,14	0,55	0,79	0,92	1,02

Выводы. По результатам экспериментальных исследований установлено влияние количества вводимого в эпоксидное связующее пластификатора на теплофизические свойства композитов. На основе экспериментальных исследований разработана пластифицированная эпоксидная матрица с улучшенными теплофизическими свойствами следующего состава: эпоксидиановая смола ЭД-20 – 100 масс.ч., аминный отвердитель – полиэтиленполиамин ПЭПА – 10 масс.ч., пластификатор – трихлорэтилфосфат ТХЭФ – 10 масс.ч. при температуре сшивания $T_2 = 413$ К. Матрица отличается следующими свойствами: теплостойкость по Мартенсу – $T_{II} = 355$ К; термический коэффициент линейного расширения в диапазоне температур $\Delta T = 303...473$ К – $\alpha = 9,54 \times 10^{-5} K^{-1}$. При этом температура стеклования составляет $T_{c2} = 360$ К, а усадка – $\Delta l_2 = 0,55$ %.

На основе проведенных экспериментальных исследований физико-механических и теплофизических свойств можно рекомендовать разработанный материал, в состав которого входит ингибитор горения (антипирен) трихлорэтилфосфат, в виде связующего для покрытия с целью защиты поверхностей деталей энергетического оборудования и механизмов, эксплуатируемых под воздействием открытого пламени, и в зонах с повышенными температурами рабочих поверхностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buketov A. V. A study of creep of epoxy composites with continuous fibers and modified fine filler in aggressive media / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, V. V. Levyts'kyi [and etc.] // *Strength of Materials*. – Vol. 43, Number 3. – 2011. – P. 338-346.
2. Федосеев М. С. Влияние природы эпоксидной матрицы, условий ее формирования на термомеханические, термические и адгезионные характеристики полимерного материала / М. С. Федосеев, И. Н. Шардаков, Л. Ф. Державинская, Д. М. Девятериков, Р. В. Цветков // *Перспективные материалы*. – 2013. – № 8. – С. 11-17.
3. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – 2-е изд. – СПб. : Научные основы и технологии. – 2010. – 822 с. – ISBN 978-5-91703-003-6.
4. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.] ; под ред. Берлина А. А. – [3-е изд.]. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
5. Технология полимерных материалов [А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов и др.] ; под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2008. – 544 с.
6. Букетов А. В. Дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей епоксикомпозитів із двокомпонентним бідисперсним наповнювачем / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, М. В. Браїло // *Проблемы прочности*. – 2014. – № 5. – С. 160-167.
7. Стухляк П. Д. Структурные уровни разрушения эпоксидных композитных материалов при ударном нагружении / [Стухляк П. Д., А. В. Букетов, С. В. Панин и др.] // *Физическая мезомеханика*. – 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 65-83.
8. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : Вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
9. Ширшова Е. С. Изучение влияния модификаторов на свойства эпоксидных композиций / Е. С. Ширшова, Е. А. Татаринцева, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // *Пластические массы*. – 2006. – № 12. – С. 34-36.
10. Букетов А. В. Исследование физико-механических свойств композитных материалов на основе эпоксидиановой смолы, отвержденной полиэтиленполиамином, с добавлением пластификатора-антипирена трихлорэтилфосфата / А. В. Букетов, А. В. Акимов, Д. А. Зинченко // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2015. – № 5. – С. 126-134.

REFERENCES

1. Buketov A. V. A study of creep of epoxy composites with continuous fibers and modified fine filler in aggressive media / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, V. V. Levyts'kyi [and etc.] // *Strength of Materials*. – Vol. 43, Number 3. – 2011. – R. 338-346.
2. Fedoseev M. S. Vliyanie prirodnih ehpoksidnoy matricih, usloviy ee formirovaniya na termomekhanicheskie, termicheskie i adgezionnihe kharakteristiki polimernogo materiala / M. S. Fedoseev, I. N. Shardakov, L. F. Derzhavinskaya, D. M. Devyaterikov, R. V. Cvetkov // *Perspektivnihe materialih*. – 2013. – № 8. – S. 11-17.
3. Mikhayjlin Yu. A. Konstrukcionnihe polimernihe kompozicionnihe materialih / Yu. A. Mikhayjlin. – 2-e izd. – SPb. : Nauchnihe osnovih i tekhnologii. – 2010. – 822 s. – ISBN 978-5-91703-003-6.
4. Polimernihe kompozicionnihe materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya [Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. i dr.] ; pod red. Berlina A. A. – [3-e izd.]. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 s.
5. Tekhnologiya polimernihkh materialov [A. F. Nikolaev, V. K. Krihzhanovskiy, V. V. Burlov i dr.] ; pod obth. red. V. K. Krihzhanovskogo. – SPb. : Professiya, 2008. – 544 s.

6. Buketov A. V. Doslidzhennya fiziko-mekhanichnikh ta teplofizichnikh vlastivostey epoksikompozitiv iz dvokomponentnim bidispersnim napovnyuvachem / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Braïlo // Problemih prochnosti. – 2014. – № 5. – S. 160-167.

7. Stukhlyak P. D. Strukturniye urovni razrusheniya ehpoksidnykh kompozitnykh materialov pri udarnom nagruzhennii / [Stukhlyak P. D., A. V. Buketov, S. V. Panin i dr.] // Fizicheskaya mezomekhanika. – 2014. – T. 17. – № 2. – S. 65-83.

8. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiy. – Ljviv : Vid. nac. univer. «Ljvivs'jka politehnika», 2005. – 240 s.

9. Shirshova E. S. Izuchenie vliyaniya modifikatorov na svoystva ehpoksidnykh kompoziciy / E. S. Shirshova, E. A. Tatarinceva, E. V. Plakunova, L. G. Panova // Plasticheskie massih. – 2006. – № 12. – С. 34-36.

10. Buketov A. V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv kompozitnykh materialov na osnove ehpoksidanovoy smolih, otverzhdennoy poliehtilenpoliaminom, s dobavleniem plastifikatora–antipirena trikhlorehtilfosfata / A. V. Buketov, A. V. Akimov, D. A. Zinchenko // Visnik Khmel'nic'jkoogo nacional'nogo universitetu. Tekhnichni nauki. – 2015. – № 5. – S. 126-134.

Акімов О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ, МОДИФІКОВАНИХ ТРИХЛОРЕТИЛФОСФАТОМ

Досліджено залежність вмісту антипірену трихлоретилфосфату, що вводиться в епоксидний композит, на теплофізичні властивості матеріалів для формування захисних покриттів. Установлено, що введення в композицію пластифікатора при оптимальному вмісті забезпечує поліпшення, поряд з фізико-механічними, теплофізичних властивостей покриттів. Оптимальний вміст введенного у епоксикомпозит (ЕД-20 – 100 мас.ч.; твердник ПЕПА – 10 мас.ч) пластифікатора ТХЕФ – 10 мас.ч. При цьому встановлено оптимальний режим формування і температура зшивання епоксикомпозиту, яка складає 413 К.

Ключові слова: теплофізичні властивості, захисні покриття, епоксикомпозит, антипірен, трихлоретилфосфат.

Akimov A.V. RESEARCH OF THERMAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES MODIFIED TRICHLOROETHYL PHOSPHATE

The dependence of the content of the fire-retardant agent introduced trichloroethyl phosphate on thermal properties of epoxy composites to form a protective coating. The introduction to the composition at optimal plasticizer content provides improved, along with physical and mechanical properties, thermal properties of the coatings. Optimal content introduced into epoxy composites (ED-20 – 100 parts; curing PEPA – 10 parts) plasticizer (TCEP – 10 parts by weight). At the same time it sets the optimum mode of formation and crosslinking temperature epoxy composites, which is 413 K.

The practical value lies in the fact that based on the carrying out of preliminary experimental studies of physico-mechanical and received thermal properties can be encouraged to develop the material, which includes a fire-retardant agent trichloroethyl, as a binder for coatings to protect surfaces of parts of energy equipment and machinery It operated under the influence of open flame, and in areas with high temperature of the working surfaces.

Keywords: thermal properties, protective coatings, epoxy composite, fire-retardant agent, trichloroethyl phosphate.

© Акімов О. В.

Статтю прийнято
до редакції 02.11.15

РОЗРОБЛЕННЯ ЕПОКСИПОЛІЕФІРНОЇ МАТРИЦІ З ПОЛІПШЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Брайло М.В.

Херсонська державна морська академія

Досліджено адгезійні властивості та залишкові напруження у композитних матеріалах на основі зв'язувача з епоксидного олігомеру і поліефірної смоли. Для полімеризації композиції використовували два твердники – Бутанокс-М50 та поліетиленполіамін. Експериментально встановлено оптимальне співвідношення поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL з епоксидним олігомером марки ЕД-20 та розроблено матрицю на їх основі з підвищеними адгезійними властивостями, наступного складу: епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), поліефірна смола Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ мас.ч.), твердник Бутанокс-М50 ($q = 1$ мас.ч.), твердник ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.). Матриця відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 66,5$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 12,5$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,5$ МПа. Водночас досліджено вплив кобальтового прискорювача на властивості розробленої матриці. Встановлено погіршення показників досліджуваних властивостей при додаванні вибраного прискорювача.

Ключові слова: епоксидний композит, поліефірна смола, полімер, твердник, адгезійні властивості.

Постановка проблеми. На сьогодні судновий флот є одним із основних засобів міжнародного транспортування вантажів різного призначення. Застосування такого виду транспорту є широкорозповсюдженим і економічно вигідним. Водночас, експлуатація засобів транспортування вантажів, тобто суден, відбувається у різних складних та агресивних умовах. Робота судна в умовах агресивного середовища призводить до швидкого виникнення корозії металу, з яких виготовленні деталі та механізми, що може призвести до їх виходу з ладу. У свою чергу це означає зупинку транспортного засобу, що призводить до втрати достатньо великої кількості часу. Одним із методів захисту деталей та механізмів від корозії є використання конструкційних матеріалів з поліпшеними властивостями [1, 2] та захисних покриттів на їх основі. Використання захисних покриттів є технологічно простим і економічно вигідним методом захисту металу. Водночас, наявність агресивного середовища ставить підвищені вимоги до захисних покриттів. Тому виникає проблема створення матеріалів, які матимуть наперед задані властивості і захищатимуть деталі корпусу судна та його енергетичної установки від впливу агресивних середовищ і попереджатимуть виникнення корозії металу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Епоксидні композитні матеріали (КМ) використовують у вигляді захисних покриттів в багатьох галузях промисловості. Зокрема, широко і ефективно використовують КМ на основі епоксидіанової смоли ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78) [4]. Водночас, слід зазначити про застосування поліефірних смол у вигляді захисних покриттів або несучих конструкцій у промисловості, у тому числі і у суднобудуванні. У працях А. В. Букетова [4, 5], П. Д. Стухляка [5], О. О Сапронова [4,6], Т. Т. Яковенка [8] зазначається про використання матеріалів як на основі епоксидних мол, для захисту деталей і механізмів від корозії, так і поліефірних. Водночас, цікавим і актуальним є поєднання даних компонентів у одному зв'язувачі та створення на їх основі матеріалів із поліпшеними властивостями для підвищення надійності експлуатації деталей суднових енергетичних установок.

Мета роботи – розробити епоксиполіефірну матрицю з поліпшеними адгезійними властивостями для підвищення надійності експлуатації деталей суднових енергетичних установок.

Матеріали та методика дослідження. Із метою формування матриці для КМ з підвищеними адгезійними властивостями використовували наступні інгредієнти.

1. Як основний компонент для зв'язувача вибрано низькомолекулярний епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20. Слід зазначити, що молекули епоксидних олігомерів містять гліцидилові та епоксидні групи, які здатні, взаємодіючи з твердником, формувати зшити структуру в матеріалах у вигляді сітки [1, 5].

2. Ортофталеву ненасичену передприскорену літтеву поліефірну смолу Norsodyne O 12335 AL.

3. Твердник холодного тверднення епоксидних смол поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78)

4. Твердник для поліефірних смол – Бутанокс-М50 (Butanox-M50), що є перекисом метилетилетилкетону (МЕКП).

5. Кобальтовий прискорювач (6%-ний розчин октоату кобальту в толуолі) (КБП) – використовується як каталізатор під час процесу полімеризації ненасичених поліефірних смол. При додаванні прискорювача прогнозовано керують тривалістю циклу полімеризації поліефірної смоли [5].

Із метою визначення оптимального співвідношення між концентрацією епоксидної та поліефірної смол у зв'язувачі досліджували адгезійну міцність при відриві та зсуві і залишкові напруження в матриці. Співвідношення концентрації поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL змінювали у межах: $q = (0...200)$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру марки ЕД-20. Концентрацію твердників у композиціях та температуру зшивання встановлено відповідно до попередніх результатів дослідження.

Адгезійну міцність КМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження при рівномірному відриві пари склесних зразків («метод грибків»), згідно з ГОСТ 14760-69. Дослідження адгезійної міцності при зсуві проводили згідно з ГОСТ 14759-69, аналогічно вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталейних зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталейних зразків при відриві становив – $d = 25$ мм. Слід зазначити, що площа склеювання зразків, які досліджували при відриві та зсуві, була однаковою.

Залишкові напруження у матеріалах визначали консольним методом. Покриття з товщиною $\delta = 0,1...0,3$ мм формували на сталійній основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм, робоча довжина – $l_0 = 80$ мм, товщина – $\delta = 0,3$ мм.

Затверджували матеріали за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $t = 12,0 \pm 0,1$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання зразків при даній температурі впродовж часу $t = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $t = 24$ год на повітрі за температури $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Результати досліджень та їх обговорення. Загальновідомо [4, 5], що для формування полімерної матриці на основі епоксидного олігомеру ЕД-20 (100 мас.ч) необхідно вводити $q = 10$ мас.ч. твердника ПЕПА, при температурі зшивання $T = 393$ К. Водночас, відомо [7, 8], що оптимальний вміст твердника на основі перекису метилетилетилкетону у поліефірній смолі становить $q = 1$ мас.ч. (ГОСТ 22181-91). Виходячи з цього, для створення матеріалів з поліпшеними адгезійними властивостями на основі епоксидних та поліефірних смол, було встановлена наступну послідовність гідродинамічного суміщення:

1. Епоксидний олігомер ЕД-20 – $q = 100$ мас.ч.
2. Поліефірна смола Norsodyne O 12335 AL – вміст змінювали у діапазоні $q = 0...200$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру
3. Твердник для поліефірних смол Butanox-M50 – $q = 1$ мас.ч. на 100 мас.ч. поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL

4. Твердник ПЕПА – $q = 10$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру.

На початковому етапі було досліджено адгезійну міцність матеріалів з додаванням до епоксидного олігомеру різного вмісту поліефірної смоли у діапазоні $q = 0 \dots 200$ мас.ч. з кроком $q = 10$ мас.ч. (рис. 1, крива 1, 2). Встановлено, що при збільшенні вмісту поліефірної смоли у епоксидному компаунді, полімеризованому твердниками Butanox-M50 та ПЕПА, підвищуються показники адгезійної міцності матеріалів. Зокрема проаналізовано, що максимальні показники мають матеріали із вмістом поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL у кількості $q = 100$ мас.ч. і епоксидного олігомеру ЕД-20 у кількості $q = 100$ мас.ч. При цьому адгезійна міцність при відриві зростає з $\sigma_a = 18,2$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 66,5$ МПа (рис. 1, крива 1), адгезійна міцність при зсуві підвищується з $\tau = 4,8$ МПа (для епоксидної матриці) до $\tau = 12,5$ МПа (рис. 1, крива 2). Очевидно, що при суміщенні компаунду за даних концентрацій інгредієнтів інтенсивно відбуваються процеси полімеризації з утворенням розгалужених незалежних двох тривимірних полімерних сіток. Тобто, вважали, що формуються міжмолекулярні хімічні зв'язки як епоксидної компоненти, зшиті твердником ПЕПА, так і поліефірної смоли, полімеризованої твердником Butanox-M50. Додатково передбачали виникнення незначної кількості хімічних зв'язків між двома сітками, що забезпечує підвищення показників адгезійної міцності розроблених композитів. Водночас, слід відмітити, що при збільшенні вмісту поліефірної смоли у епоксидному олігомері, а, відповідно, і твердника Butanox-M50, призводить до зниження показників адгезійних властивостей та підвищення залишкових напружень у матеріалах. Очевидно, що збільшення вмісту поліефірної смоли у зв'язувачі негативно впливає на співвідношення концентрації зв'язків молекул компонентів і функціональності їх груп.

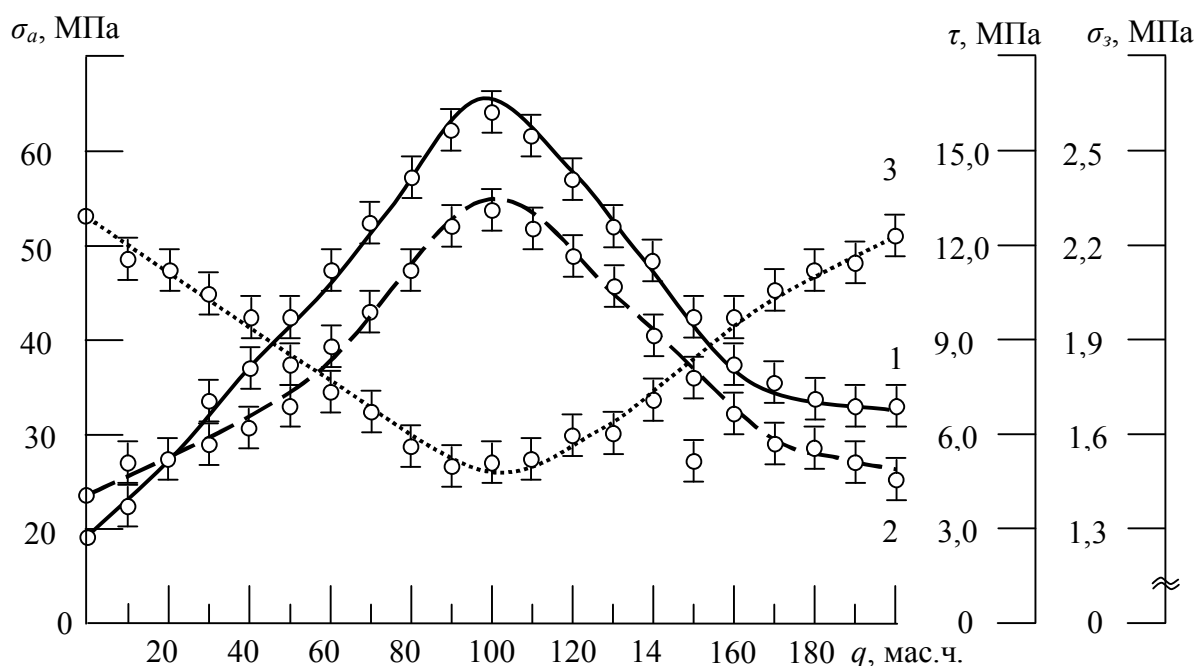


Рисунок 1 – Залежність адгезійної міцності при відриві (σ_a) та зсуві (τ), залишкових напружень (σ_3) у КМ на основі епоксидного олігомеру ЕД-20 від вмісту поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL:

1 – адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 – адгезійна міцність при зсуві (τ); 3 – залишкові напруження (σ_3)

Додатково досліджували залишкові напруження матеріалів на основі епоксидної та поліефірної смол. Встановлено (рис. 1, крива 3), що при збільшенні вмісту поліефірної смоли до $q = 100$ мас.ч. показники залишкових напружень зменшуються від $\sigma_3 = 2,3$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_3 = 1,5$ МПа. Однак, збільшення концентрації смоли Norsodyne O 12335 AL до $q = 200$ мас.ч. призводить до підвищення напружень

у матеріалах до $\sigma_3 = 2,3$ МПа. Отже, зміна показників залишкових напружень залежно від вмісту добавки у компаунді корелює з динамікою показників адгезійної міцності КМ. Це додатково підтверджує отримані максимальні значення адгезійної міцності КМ за оптимального співвідношення інгредієнтів, а також твердження про перебіг хімічних процесів та кінетику полімеризації розроблених матеріалів, про що зазначено попередньо.

Відомо [1, 3], що для пришвидшення перебігу процесу полімеризації та поліпшення властивостей КМ до поліефірних смол додають прискорювач. Виходячи з цього, на наступному етапі до попередньо розробленої полімерної матриці з поліпшеними адгезійними властивостями додавали кобальтовий прискорювач за вмісту $q = 0,1$ мас.ч. Експериментально встановлено (табл. 1), що введення даного прискорювача у зв'язувач призводить до зниження показників адгезійної міцності та підвищення залишкових напружень у матеріалах. При цьому показники адгезійної міцності матриці при відриві знижуються від $\sigma_a = 50,0 \dots 66,5$ МПа (без додавання прискорювача) до $\sigma_a = 39,4 \dots 50,7$ МПа, адгезійної міцності при зсуві від $\tau = 9,7 \dots 12,5$ МПа до $\tau = 9,0 \dots 11,1$ МПа. Водночас залишкові напруження у матеріалах зростають від $\sigma_3 = 1,5 \dots 1,6$ МПа до $\sigma_3 = 2,0 \dots 2,2$ МПа. Можна припустити, що вміст прискорювача у КМ призводить до підвищення швидкості перебігу процесів полімеризації, що зумовлює формування структури матеріалів зі значною кількістю дефектів.

Таблиця 1 – Порівняльні властивості епоксиполіефірних матеріалів з кобальтовим прискорювачем

Вміст поліефірної смоли у композиції	σ_a , МПа		τ , МПа		σ_3 , МПа	
	I	II	I	II	I	II
$q = 80$ мас.ч.	50,0	39,4	10,9	10,3	1,6	2,2
$q = 100$ мас.ч.	66,5	50,7	12,5	11,1	1,5	2,0
$q = 120$ мас.ч.	51,1	39,7	9,7	9,0	1,6	2,1

Примітка: I – матеріали без прискорювача; II – матеріали з прискорювачем

Отже, на основі проведених досліджень експериментально доведено, що для створення матриці з поліпшеними адгезійними властивостями і незначними залишковими напруженнями слід використовувати наступні інгредієнти:

- епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.);
- поліефірна смола марки Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ мас.ч.);
- твердник Butanox-M50 ($q = 1$ мас.ч.);
- твердник ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.).

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень можна констатувати наступне:

1. Встановлено, що для формування покриттів з поліпшеними адгезійними властивостями необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), поліефірна смола марки Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ мас.ч.), твердник Butanox-M50 ($q = 1$ мас.ч.) твердник ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.). Температура зшивання композиції становить $T = 393$ К. Розроблений матеріал відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 66,5$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 12,5$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 1,5$ МПа.

2. Доведено, що введення кобальтового прискорювача за вмісту ($q = 0,1$ мас.ч.) до розробленої композиції призводить до погіршення показників адгезійних властивостей матеріалів і підвищення залишкових напружень. Такий матеріал відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 50,7$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 11,1$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 2,0$ МПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.; под ред. Берлина А. А. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
2. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.
3. Яновский Ю. Г. Композиты на основе полимерных матриц и углеродно-силикатных нанонаполнителей. Квантово-механическое исследование механических свойств, прогнозирование эффекта усиления / Ю. Г. Яновский, Е. А. Никитина, С. М. Никитин, Ю. Н. Карнет // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т. 15. – № 4. – С. 66-89.
4. Букетов А. В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
5. Структурные уровни разрушения эпоксидных композитных материалов при ударном нагружении / [Стухляк П. Д., Букетов А. В., Панин С. В., Марущак П. О., Мороз К. М., Полтаранин М. А., Вухерер Т., Корниенко Л. А., Люкшин Б. А.] // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 65-83.
6. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / [A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo, V.L. Aleksenko] // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – P. 696-701.
7. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
8. Яковенко Т. Т. Модифікація ненасиченої полієфірної смоли полімерними добавками / Т. Т. Яковенко, Т. Г. Бабаханова, І. В. Слімаковський // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 516 : Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 178-181.

REFERENCES

1. Polimerniye kompozicionniye materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie / Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. i dr.; pod red. Berlina A. A. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 s.
2. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.
3. Yanovskiyy Yu. G. Kompozitih na osnove polimernihkh matric i uglerodno-silikatnihkh nanopolniteleyj. Kvantovo-mekhanicheskoe issledovanie mekhanicheskikh svoystv, prognozirovaniye ehffekta usileniya / Yu. G. Yanovskiyy, E. A. Nikitina, S. M. Nikitin, Yu. N. Karnet // Mekhanika kompozicionnihkh materialov i konstrukciy. – 2009. – T. 15. – № 4. – S. 66-89.
4. Buketov A. V. Epoksidni nanokompозити: monografiya / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, V. L. Aleksenko. – Kherson : KhDMA, 2015. – 184 s.
5. Strukturniye urovni razrusheniya ehpoksidnihkh kompozitnihkh materialov pri udarnom nagruzhenii / [Stukhlyak P. D., Buketov A. V., Panin S. V., Maruthak P. O., Moroz K. M., Poltaranin M. A., Vukherer T., Kornienko L. A., Lyukshin B. A.] // Fizicheskaya mezomekhanika. – 2014. – T. 17. – № 2. – S. 65-83.
6. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / [A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo, V.L. Aleksenko] // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – R. 696-701.

7. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiyj. – Ljviv : vid. nac. univer. «Ljvivsjska politehnika», 2005. – 240 s.

8. Yakovenko T. T. Modifikaciya nenasichenoї poliefirnoї smoli polimernimi dodatkami / T. T. Yakovenko, T. G. Babakhanova, I. V. Slimakovsjkiyj // Visnik Nacionaljnogo universitetu «Ljvivsjska politehnika». – 2004. – № 516 : Khimiya, tekhnologiya rechovin ta ikh zastosuvannya. – S. 178-181.

Браїло Н.В. РАЗРАБОТКА ЭПОКСИПОЛИЭФИРНОЙ МАТРИЦЫ С УЛУЧШЕННЫМИ АДГЕЗИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Исследованы адгезионные свойства и остаточные напряжения композиционных материалов на основе эпоксидного связующего с добавлением полиэфирной смолы. Для полимеризации композиции использовали два отвердителя Бутанокс-М50 и полиэтиленполиамин. Экспериментально установлено оптимальное соотношение полиэфирной смолы Norsodyne O12335 AL с эпоксидным олигомером марки ЭД-20 и разработана матрица на их основе с повышенными адгезионными свойствами следующего состава: эпоксидный диановый олигомер марки ЭД-20 ($q = 100$ масс.ч.), полиэфирная смола Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ масс.ч.), отвердитель Butanox-M50 ($q = 1$ масс.ч.) отвердитель полиэтиленполиамин ($q = 10$ масс.ч.). Матрица отличается следующими свойствами: адгезионная прочность при отрыве – $\sigma_a = 66,5$ МПа, адгезионная прочность при сдвиге – $\tau = 12,5$ МПа, остаточные напряжения – $\sigma_o = 1,5$ МПа. В то же время, исследовано влияние кобальтового ускорителя на свойства разработанной матрицы. Установлено ухудшение показателей адгезионных свойств при добавлении выбранного ускорителя.

Ключевые слова: эпоксидный композит, полиэфирная смола, полимер, отвердитель, адгезионные свойства.

Brailo N.V. DEVELOPMENT OF EPOXY POLYETHER MATRIX WITH IMPROVED ADHESION PROPERTIES TO IMPROVE THE RELIABILITY OF PARTS OF SHIP POWER PLANTS

We studied the adhesion properties and residual stresses of composite materials based on epoxy binder with the addition of the polyester resin. For the polymerization of the composition used two hardener Butanox-M50, and polyethylene polyamine. Experimentally established optimum ratio of polyester resin Norsodyne O12335 AL epoxy oligomer ED-20 brand and developed a matrix based on them with increased adhesion of the following composition: bisphenol epoxy oligomer brand ED-20 ($q = 100$ parts by weight), polyester resin Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ parts) curing agent Butanox-M50 ($q = 1$ parts) polyethylenepolyamine hardener ($q = 10$ parts). The matrix has the following properties: adhesion strength in the separation – $\sigma_a = 66,5$ MPa, the adhesive shear strength – $\tau = 12,5$ MPa, residual stresses – $\sigma_r = 1.5$ MPa. At the same time, to study the effect on the properties of cobalt accelerator developed matrix. It was found deterioration in the adhesive properties by the addition of an accelerator selected.

Keywords: epoxy composite, a polyester resin, a polymer curing agent, adhesive properties.

© Браїло М. В.

Статтю прийнято
до редакції 02.10.15

РОЗРОБКА ЕПОКСИКОМПОЗИТИВ З ЧАСТКАМИ КАРБОНАТУ ЛІТІЮ І КАРБОНАТУ НІКЕЛЮ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Букетов А.В., Нігаладій В.Д., Зінченко Д.О.

Херсонська державна морська академія

На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей епоксикомпозитів, наповнених мікродисперсними карбонатом літію Li_2CO_3 та карбонатом нікелю NiCO_3 , з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати розроблені матеріали. Досліджено термічний коефіцієнт лінійного розширення (α), теплостійкість (T) та термостійкість епоксикомпозитів. Встановлено абсолютні значення термічного коефіцієнту лінійного розширення матеріалів, які можливо використовувати у різних температурних діапазонах. Методом диференціально-термічного і термогравіметричного аналізу проведено дослідження термостійкості і структурних особливостей матеріалів при зростанні температури. Встановлено, що для формування композитних матеріалів з підвищеними показниками теплофізичних властивостей, доцільно використовувати як наповнювач Li_2CO_3 у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Такий матеріал характеризується найбільшою енергією активації, стійкістю до структурних перетворень при максимальних температурах та інтенсивною взаємодією функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення на молекулярному рівні серед усіх досліджуваних матеріалів.

Ключові слова: епоксидний композит, карбонат, теплостійкість, термостійкість, деструкція, екзоефект.

Постановка проблеми. Розвиток сучасною виробництва ставить підвищені вимоги до захисту і ремонту енергетичних установок, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ, знакозмінних температур і динамічних навантажень [1–4]. Перспективними є композитні матеріали (КМ) і захисні покриття з епоксикомпозитів, які суттєво поліпшують фізико-механічні, теплофізичні, антикорозійні властивості машин і механізмів, а також значно поліпшують їхню зносостійкість під впливом знакозмінних динамічних навантажень.

Такі матеріали визначаються підвищеною технологічністю при нанесенні на габаритні деталі складного профілю, а також мають високі показники експлуатаційних характеристик і розвинуту сировинну базу у межах України [5]. Водночас слід зазначити, що проблема підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів не втрачає своєї актуальності, оскільки такі КМ широко застосовують у різних галузях промисловості, зокрема, і у транспорті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій у напрямку дослідження властивостей епоксидних КМ вказує на необхідність введення у зв'язувач модифікаторів та наповнювачів для отримання матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Введення у зв'язувач дисперсних часток, навіть за незначної кількості забезпечує зміну швидкості перебігу фізико-хімічних процесів при структуроутворенні КМ [6–8]. Причому важливе значення при регулюванні процесів зшивання КМ має не лише хімічна та фізична природа, але й вміст та дисперсність часток. Враховуючи це вважали за доцільне проведення відповідних досліджень зі встановлення впливу дисперсних карбонатних наповнювачів на теплофізичні властивості епоксидних КМ.

Мета роботи – на основі залежності властивостей матеріалів від кількості наповнювачів встановити критичний вміст мікродисперсних часток у зв'язувачі для формування покриттів з покращеними теплофізичними характеристиками.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84).

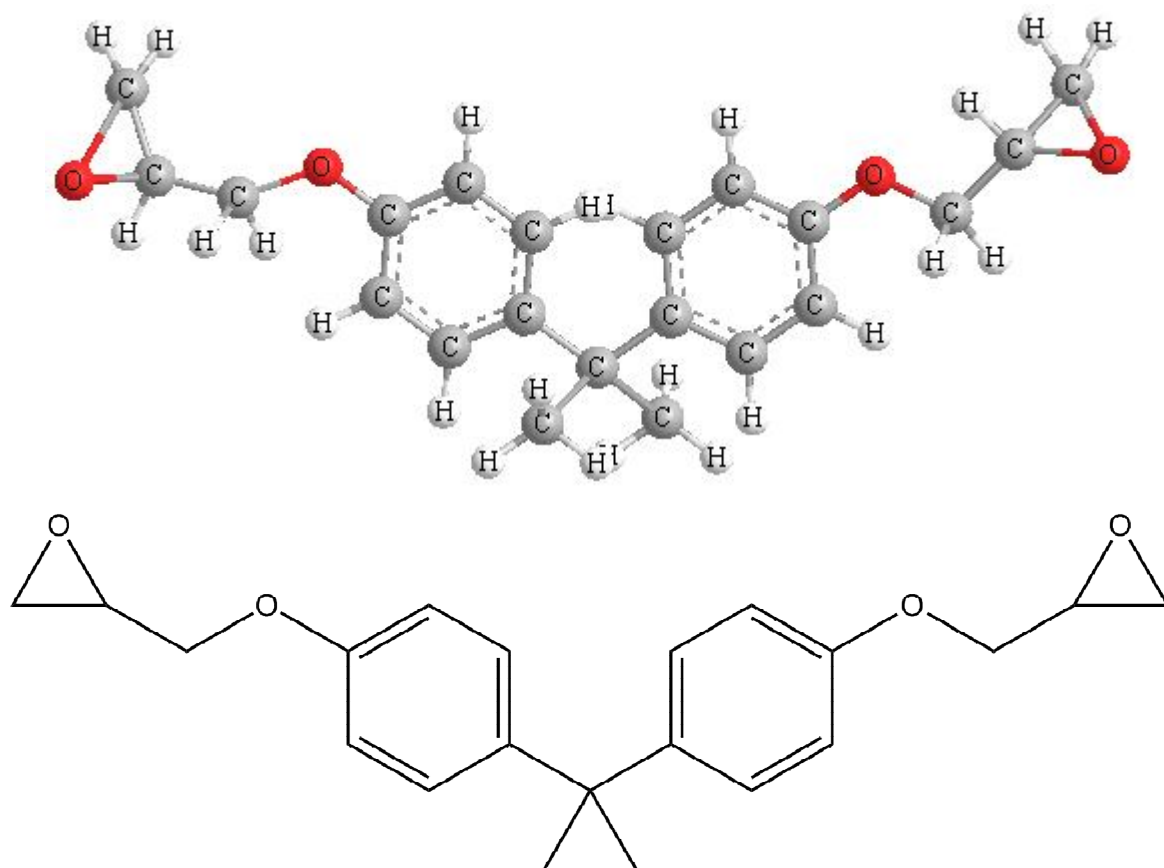


Рисунок 1 – Структурна формула ЕД-20

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Зшивали КМ, вводючи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювачі було використано частки карбонату літію (КЛ) (рис. 2) і карбонату нікелю (КН) (рис. 3) з дисперсністю 8...10 мкм.

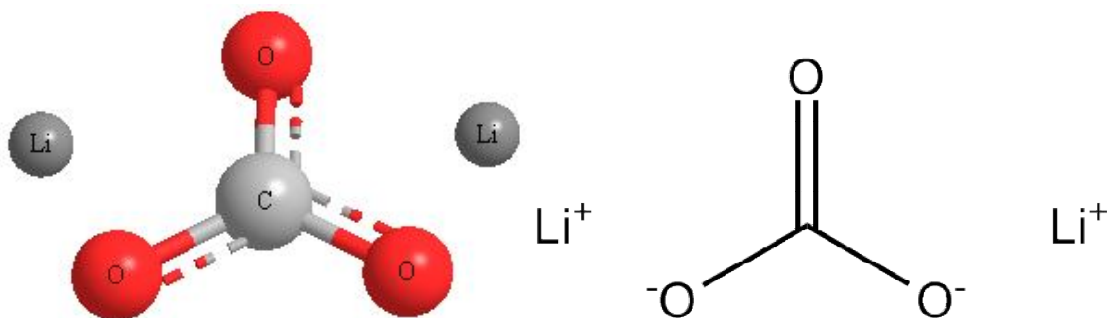


Рисунок 2 – Структурна формула КЛ

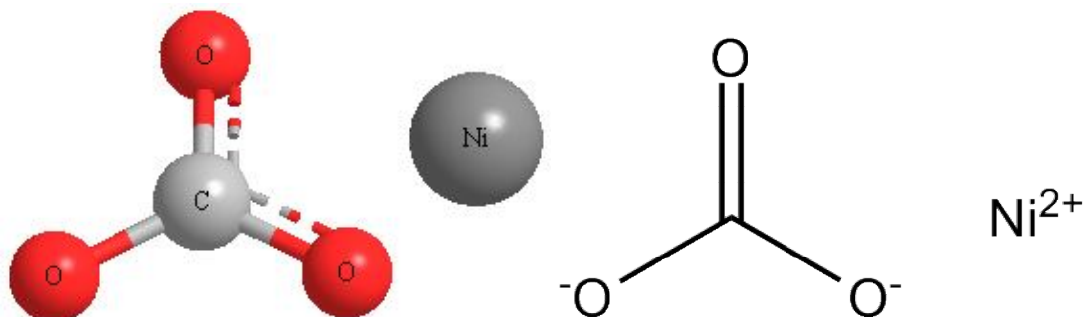


Рисунок 3 – Структурна формула КН

Карбонат нікелю – білий порошок, малорозчинний у воді, практично нерозчинний у спирті. Застосовують його у виробництві кераміки, електроізоляційної порцеляни, захисних покриттів камер згорання і сопел ракетних двигунів, емалей, кислототривких покриттів і ґрунтовок для алюмінію, листової сталі і чавуну, скла з підвищеною міцністю і стійкістю до атмосферної корозії, високою проникністю для ультрафіолетового випромінювання.

Карбонат нікелю – жовті або зелені кристали, що застосовують як наповнювач в керамічній промисловості, а також для отримання нікелевих каталізаторів. Є проміжним продуктом при аміачному вилуговуванні нікелевих руд.

Епоксидні КМ формували за технологією, наведеною у праці [9].

У роботі досліджували наступні властивості КМ: термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), теплостійкість (T), термостійкість (ДТА і ТГА-аналіз).

Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно з ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, при якій досліджуваний зразок нагрівали зі швидкістю $v = 3$ К/хв під дією постійного згинаючого навантаження $F = 5 \pm 0,5$ МПа, внаслідок чого він деформується на задану величину ($h = 6$ мм).

Термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів розраховували за кривою залежності відносної деформації від температури, апроксимуючи цю залежність експоненціальною функцією. Відносну деформацію визначали за зміною довжини зразка при підвищенні температури у стаціонарних умовах (ГОСТ 15173-70). Розміри зразків для дослідження: $65 \times 7 \times 7$ мм, непаралельність шліфованих торців складала не більше 0,02 мм. Перед дослідженням вимірювали довжину зразка з точністю $\pm 0,01$ мм. Швидкість піднімання температури становила $v = 2$ К/хв.

Відхилення значень при дослідженнях показників теплофізичних властивостей КМ (теплостійкість (за Мартенсом), ТКЛР) становило 4...6 % від номінального.

Для дослідження впливу кількості наповнювача на термічні перетворення у композитах застосовували метод термогравіметричного (ТГА) і диференціально-термічного (ДТА) аналізу, використовуючи дериватограф «Thermoscan-2». Дослідження проводили у температурному діапазоні $\Delta T = 298...873$ К, використовуючи кварцові тиглі для зразків з об'ємом $V = 0,5$ см³. Під час дослідження швидкість піднімання температури становила $v = 10$ К/хв, при цьому як еталонну речовину використовували Al_2O_3 ($m = 0,5$ г), наважка досліджуваного зразка становила – $m = 0,3$ г. Похибка визначення температури становила $\Delta T = \pm 1$ К. Точність визначення теплових ефектів – 3 Дж/г. Точність визначення зміни маси зразка – $\Delta m = 0,001$ г.

Результати досліджень та їх обговорення. Для визначення оптимального вмісту наповнювачів у епоксидній матриці з поліпшеними властивостями на початковому етапі досліджували теплостійкість (за Мартенсом) КМ, наповнених мікродисперсними частками КЛ та КН, у температурному діапазоні $\Delta T = 273...423$ К. При цьому вміст наповнювачів змінювали у межах $q = 0,5...40$ мас.ч.

Експериментально встановлено (рис. 4), що теплостійкість матриці при наведених вище режимах зшивання становить $T = 341$ К.

Введення у епоксидний олігомер часток дисперсного наповнювача КЛ за вмісту $q = 0,5...40$ мас.ч. (тут і далі за текстом вміст дисперсних часток наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру) приводить до збільшення показників теплостійкості КМ до $T = 342...356$ К (рис. 4). Максимальним значенням теплостійкості $T = 356$ К характеризується КМ, наповнений КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Такий результат можна пояснити нормалізацією молекулярної рухливості структурних елементів ланцюгів за рахунок взаємодії функціональних груп епоксидної смоли, твердника та йонів літію Li^+ , який виконує функцію комплексоутворювача і взаємодіє, утворюючи фізичні та хімічні зв'язки, з функціональними групами і сегментами макромолекул зв'язувача. При цьому навколо часток добавки у полімері утворюються зовнішні поверхневі шари, які відзначаються високим ступенем зшивання, порівняно з полімером у об'ємі [4].

Збільшення вмісту часток КЛ в КМ від $q = 1,0$ мас.ч. до $q = 40$ мас.ч. призводить до монотонного зменшення теплостійкості матеріалів за рахунок надмірної кількості наповнювача і суттєвої різниці у значеннях теплопровідності наповнювача та матриці. Тобто, зі збільшенням добавки кінетична енергія атомів й молекул, яка в основному визначає температуру матеріалу, швидше передається атомам і молекулам у тих областях композиту, де температура нижча і розповсюджується по всьому об'єму системи.

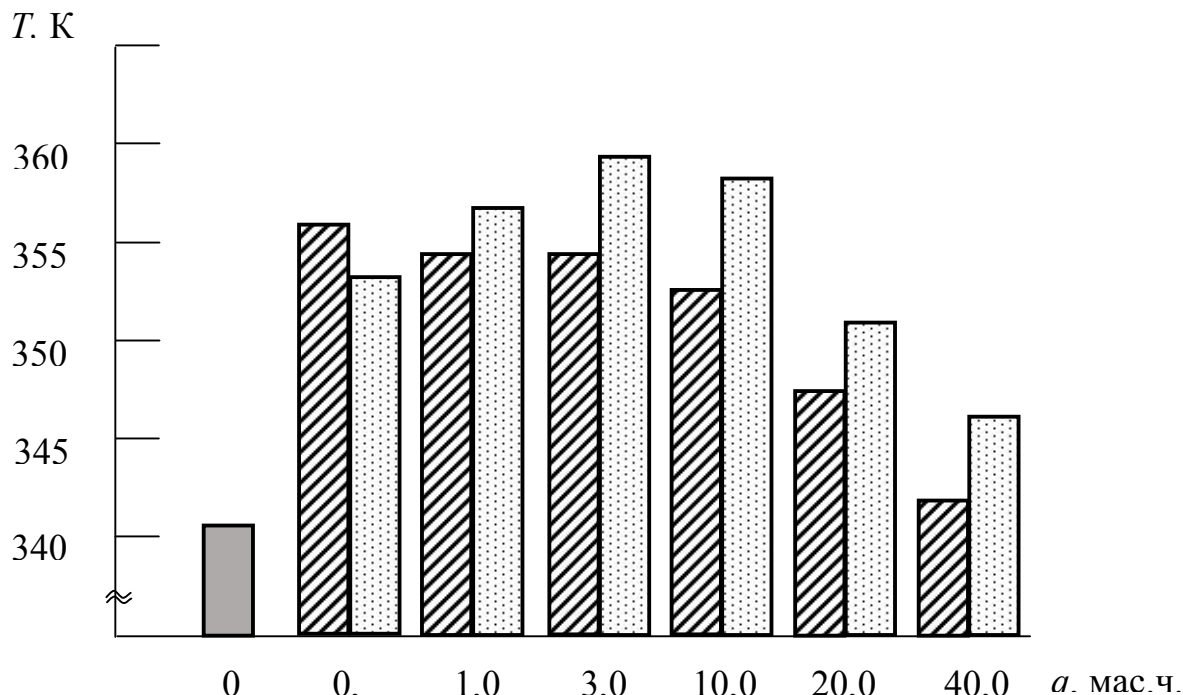


Рисунок 4 – Залежність теплостійкості (T) КМ від вмісту мікродисперсних наповнювачів:
 1 – матриця; 2 – $q = 0,5$ мас.ч.; 3 – $q = 1,0$ мас.ч.; 4 – $q = 3,0$ мас.ч.; 5 – $q = 10$ мас.ч.;
 6 – $q = 20$ мас.ч.; 7 – $q = 40$ мас.ч.

-  – матриця;
-  – наповнювач КЛ;
-  – наповнювач КН.

Стосовно КМ з наповнювачем КН встановлена наступна тенденція (рис. 4). При введенні дисперсного наповнювача у кількості $q = 0,5 \dots 10$ мас.ч. спостерігали суттєве збільшення показників теплостійкості КМ до $T = 346 \dots 359$ К. Максимум залежності теплостійкості від вмісту КН встановлено при вмісті $q = 3,0$ мас.ч. дисперсного наповнювача ($T = 359$ К). Збільшення показників теплостійкості пов'язане зі зменшенням молекулярної рухливості структурних елементів ланцюгів у системах при їх структуроутворенні та підвищенням хімічної взаємодії активних центрів часток наповнювача із макромолекулами та сегментами епоксидного зв'язувача. Зменшення показників теплостійкості з $T = 359$ К за вмісту $q = 3,0$ мас.ч. до $T = 346 \dots 352$ К за вмісту $q = 20 \dots 40$ мас.ч. спричинене поступовим перенасиченням системи дисперсною добавкою і збільшенням швидкості передачі температури тіла по об'єму КМ. Доведено, що для досягнення максимального значення показників теплостійкості КМ, наповнених подібними за структурою наповнювачами, необхідно у зв'язувач вводити частки КН у 6 разів більше, ніж часток КЛ. Це зумовлено тим, що сполуки Ni характеризуються інтенсивнішим теплообміном у об'ємі матеріалу, порівняно з аналогічними сполуками Li .

На наступному етапі досліджували ТКЛР епоксикомпозитів, наповнених частками КЛ та КН (рис. 5, рис. 6, табл. 1, табл. 2). Експериментально встановлено, що із зростанням температури ТКЛР епоксикомпозитних матеріалів зменшується. Дослідження поведінки КМ у області лінійного розширення при $\Delta T = 303 \dots 473$ К дозволяє стверджувати, що найменшим значенням ТКЛР характеризуються матеріали із вмістом

КЛ та КН у кількості $q = 0,5 \dots 3,0$ мас.ч. та $q = 3,0 \dots 20$ мас.ч. відповідно. При цьому значення ТКЛР для КМ, наповнених КЛ, становить $\alpha = (7,6 \dots 7,7) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, а для КМ, наповнених КН, – $\alpha = (6,4 \dots 7,1) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Тобто, максимальна кількість рівномірно розподілених за об'ємом часток наповнювача забезпечує формування сітчастої структури полімеру із максимальним ступенем зшивання. Це дозволяє забезпечити стійкість розроблених матеріалів до лінійних та об'ємних деформацій у процесі експлуатації.

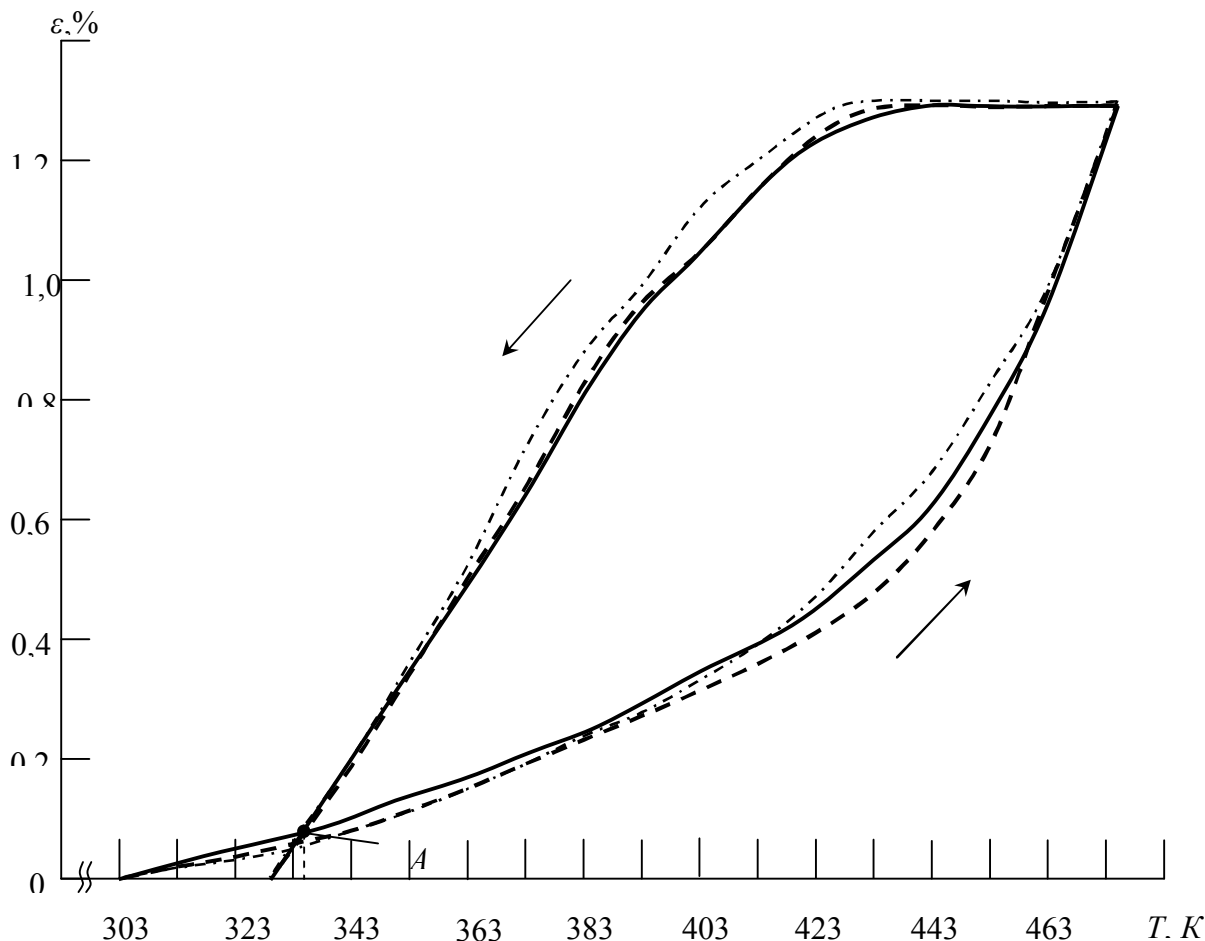


Рисунок 5 – Дилатометричні криві епоксикомпозитів з різним вмістом КЛ:
 — $q = 0,5$ мас.ч.; — — $q = 1,0$ мас.ч.; — · — $q = 3,0$ мас.ч.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості КМ, наповнених частками КЛ

Вміст наповнювача, <i>q</i> , мас.ч.	Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}, K^{-1}$				Температура склування, <i>T_с</i> , K	Усадка, δ , %
	Температурні діапазони випробування, ΔT , K					
	303...323	303...373	303...423	303...473		
матриця	6,3	6,8	9,9	10,9	313	0,32
0,5	1,7	2,8	3,2	7,6	335	0,32
1,0	1,6	2,8	3,2	7,6	334	0,26
3,0	1,6	2,7	3,9	7,7	333	0,24
10	1,8	2,9	4,0	7,8	328	0,24
20	1,9	3,0	4,6	8,0	320	0,20
40	2,0	3,0	4,7	8,1	318	0,19

Важливим релаксацийним переходом у епоксикомпозитах є температура склування (T_g), яка характеризує значення кінетичної енергії структурних елементів полімеру, а, отже, і швидкість переходу матеріалу із вискоеластичного у склоподібний стан. При цьому з підвищенням температури збільшується рухливість основного ланцюга, макромолекул і сегментів епоксидного зв'язувача, а, отже, і швидкість їх переходу із

нерівноважного стану в рівноважний. При цьому максимальним значенням T_c характеризуються КМ із вмістом часток КЛ та КН у кількості $q = 0,5$ мас.ч. (табл. 1) та $q = 3,0$ мас.ч. (табл. 2) відповідно, що свідчить про нормалізацію швидкості перебігу релаксацийних процесів.

Додаткове дослідження усадки композитів дозволяє стверджувати, що вона не перевищувала $\delta = 0,32\%$ для КМ, наповнених частками КЛ, та $\delta = 0,48\%$ для КМ, наповнених частками КН. При цьому мінімальним значенням δ характеризується КМ із вмістом часток КН у кількості $q = 3,0$ мас.ч., яке становить $\delta = 0,03\%$.

На основі аналізу теплостійкості, ТКЛР, температури склування та усадки можна стверджувати, що доцільним є використання композитів з частками КЛ та КН у кількості $q = 0,5$ мас.ч. та $q = 3,0$ мас.ч. відповідно.

У роботі додатково досліджували і аналізували поведінку епоксидних композитів за підвищених температур (термостійкість) методом термогравіметричного (ТГА) та диференційно-термічного (ДТА) аналізу (рис. 7, рис. 8). На основі експериментальних досліджень КМ, наповнених частками КЛ, встановлено відсутність втрати маси (рис. 7, табл. 3) в зразках у температурній області $\Delta T = 303 \dots 593$ К.

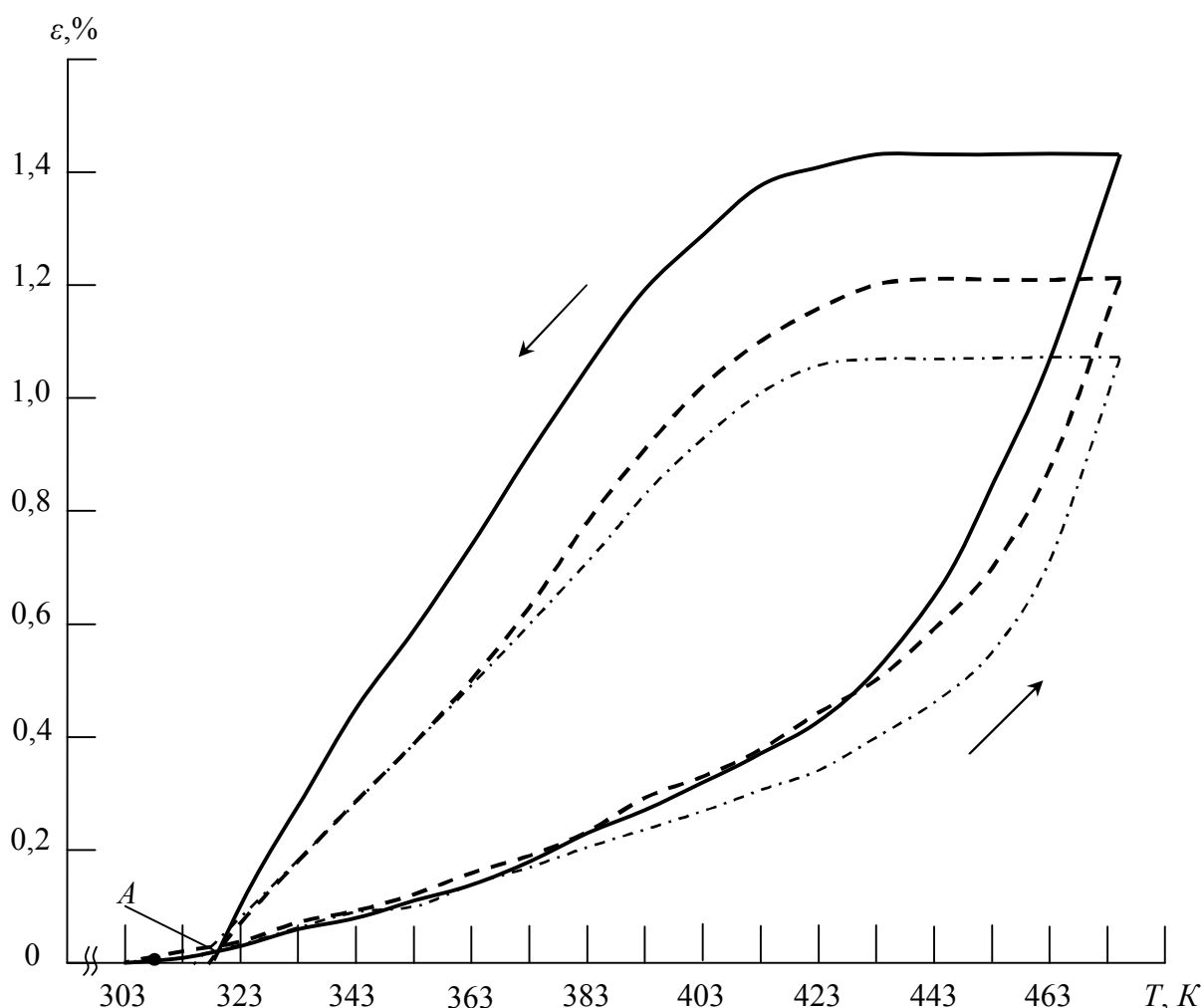
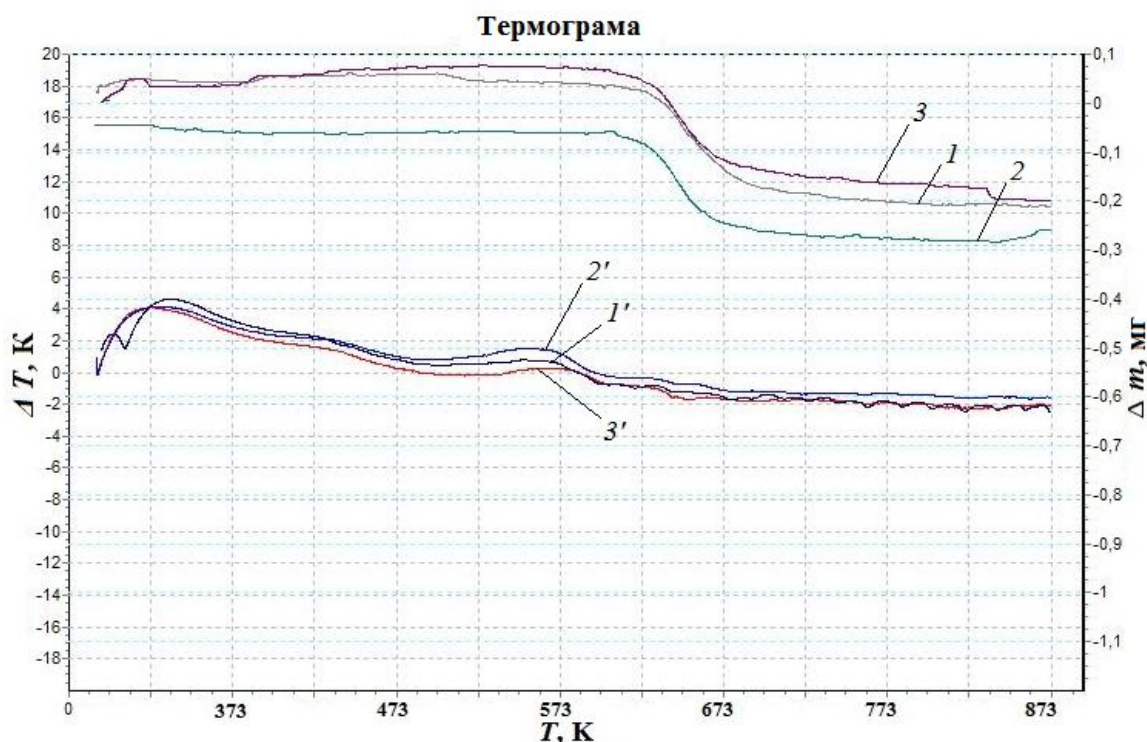


Рисунок 6 – Дилатометричні криві епоксикомпозитів з різним вмістом КН:

— — $q = 3$ мас.ч.; - - - $q = 10$ мас.ч.; - . . - $q = 20$ мас.ч.

Таблиця 2 – Теплофізичні властивості КМ, наповнених частками КН

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}, K^{-1}$				Температура склування, T_c , К	Усадка, δ , %
	Температурні діапазони випробування, ΔT , К					
	303...323	303...373	303...423	303...473		
матриця	6,3	6,8	9,9	10,9	313	0,32
0,5	3,2	4,2	6,0	9,0	313	0,09
1,0	3,0	4,1	4,9	7,9	315	0,08
3,0	1,7	2,6	3,5	6,4	320	0,03
10	2,1	2,7	3,6	7,1	319	0,14
20	1,7	2,5	2,9	6,4	319	0,41
40	1,7	2,4	2,9	6,4	312	0,48


 Рисунок 7 – Дериватограми КМ, наповнених частками КЛ:
 1, 1' – 5 мас. ч.; 2, 2' – 10 мас. ч.; 3, 3' – 15 мас. ч.

Таблиця 3 – Термостійкість КМ, наповнених частками КЛ

Вміст наповнювача, q , мас. ч.	T_0, K	T_5, K	T_{10}, K	T_{20}, K	T_k, K	ε_m , %
матриця	593	616	625	641	723	60,0
0,5	606	627	634	643	773	70,7
1,0	599	619	628	637	733	71,7
3,0	598	618	628	638	752	75,6
10,0	597	618	627	637	734	76,3
20,0	594	616	625	634	724	78,4
40,0	593	615	625	633	723	78,6

Примітка: T_0 – початкова температура втрати маси (початок деструкції); T_5 , T_{10} , T_{20} – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %); T_k – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції); ε_m – відносна втрата маси.

На основі вищезазначених даних можна стверджувати, що параметр початкової температури деструкції є визначальним фактором у процесі експлуатації розроблених матеріалів, позаяк при T_0 починається руйнування молекулярних зв'язків у наповненій системі. Максимальним значенням температури початку деструкції характеризується КМ із вмістом часток КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч., яка становить $T_0 = 606$ К, що на $\Delta T = 13$ К більше порівняно з аналогічним показником для зразка з епоксидної матриці. При цьому значення втрати маси становить $\varepsilon_m = 70,7$ %, що є найменшим значенням серед досліджуваних КМ. Це свідчить про рівномірний перебіг процесів деструкції при нагріванні КМ – внаслідок флуктуації теплової енергії у системі енергія теплового руху стає співвимірною з енергією хімічних зв'язків. Очевидно, що підвищується здатність матеріалу зберігати властивості структурної сітки хімічних зв'язків в умовах впливу теплового поля.

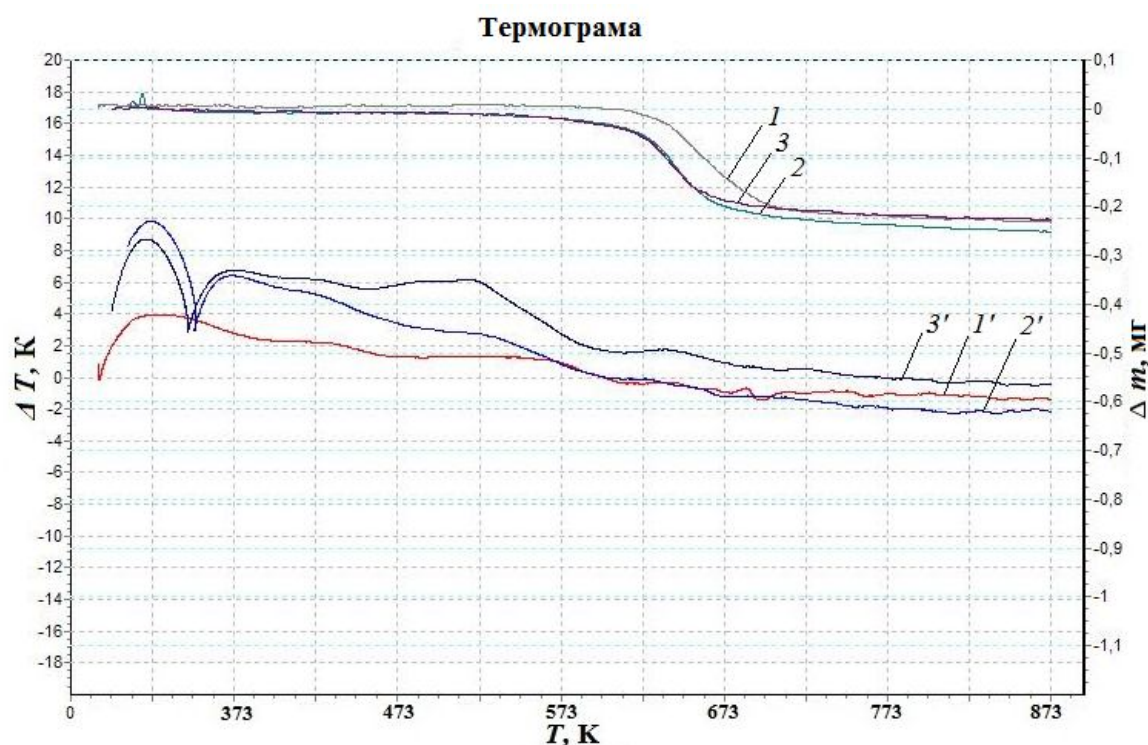


Рисунок 8 – Дериватограми КМ, наповнених частками КН:
1, 1' – 5 мас.ч.; 2, 2' – 10 мас.ч.; 3, 3' – 15 мас.ч.;

Таблиця 4 – Термостійкість КМ, наповнених частками КН

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	T_0 , К	T_5 , К	T_{10} , К	T_{20} , К	T_{κ} , К	ε_m , %
матриця	593	616	625	641	723	60,0
0,5	593	616	626	639	724	72,4
1,0	593	618	627	639	727	72,3
3,0	594	622	635	647	732	72,3
10,0	571	606	621	633	759	72,3
20,0	545	588	612	629	757	67,7
40,0	542	586	608	620	750	68,0

Примітка: T_0 – початкова температура втрати маси (початок деструкції); T_5 , T_{10} , T_{20} – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %); T_{κ} – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції); ε_m – відносна втрата маси.

Стосовно КМ, наповнених частками КН, встановлено відсутність втрати маси (рис 8, табл. 4) у температурній області $\Delta T = 303 \dots 542$ К. Максимальним значенням температури початку деструкції характеризується КМ із вмістом часток КН у кількості $q = 3,0$ мас.ч., яка становить $T_0 = 594$ К. При цьому значення втрати маси становить $\varepsilon_m = 72,3$ %. Це свідчить про незначне підвищення термостабільності КМ та формування систем без суттєвого підвищення стабільності хімічних зв'язків порівняно із епоксидною матрицею.

Одним із визначальних параметрів при експлуатації розроблених матеріалів є значення екзотермічних ефектів (T_n , T_{max}), які характеризують початок деформації та структурні перетворення у основних ланцюгах макромолекул епоксидної матриці (табл. 5).

Таблиця 5 – Температурні інтервали екзоефектів КМ, наповнених частками КЛ згідно ДТА

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Температурні інтервали екзоефектів				Максимальне значення екзоефектів, T_{max} К
	T_n , К	T_k , К	ΔT_1 , К	ΔT_2 , К	
матриця	460	659	199	3,05	518
0,5	525	652	127	2,00	570
1,0	492	644	152	2,24	559
3,0	497	619	122	1,77	551
10,0	490	621	131	1,67	550
20,0	489	620	131	1,65	551
40,0	490	621	131	1,65	549

Примітка: T_n – початкова температура екзоефекту; T_k – кінцева температура екзоефекту; ΔT_1 – температурний інтервал екзоефекту; ΔT_2 – різниця температур між зразком, у якому відбуваються перетворення, і еталоном, у якому перетворень немає.

Аналіз ДТА-кривих КМ, наповнених частками КЛ (рис. 7, крива 1'-3'), у вищезазначеному діапазоні температур ($\Delta T = 303 \dots 489$ К) дозволив виявити екзотермічні ефекти, які не супроводжуються втратою маси. Вважали, що даний ефект пов'язаний передусім із виділенням води і непрореагованих компонентів у процесі нормалізації зв'язків у КМ.

Додатково виявлено екзотермічні ефекти у діапазоні температур $\Delta T = 489 \dots 652$ К (табл. 5). Встановлено, що максимальне значення екзоефекту $T_{max} = 570$ К характерне для КМ із вмістом часток КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Зміщення піку екзотермічного ефекту у область високих температур зумовлене стійкістю фізико-хімічних зв'язків до руйнування, а, отже, такі матеріали відзначаються поліпшеною термостійкістю. Також зменшення інтервалу екзоефекту від $\Delta T_1 = 199$ К (для епоксидної матриці) до $\Delta T_1 = 127$ К свідчить про зменшення рухливості і деформації компонентів епоксидного зв'язувача.

Виходячи з того, що КМ, наповнені КН, не відрізняються підвищенням стабільності хімічних зв'язків, порівняно з епоксидною матрицею, детальний аналіз ДТА-кривих для встановлення значень екзоефектів не проводили.

Якісна комплексна оцінка дериватограм дозволяє стверджувати, що КМ, наповнені частками КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч., характеризуються поліпшеними теплофізичними властивостями. У цілому можна припустити, що встановлений механізм взаємодії функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні забезпечує поліпшення теплофізичних властивостей матриці на макрорівні.

Висновки. На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати наповнені карбонатом літію та карбонатом нікелю епоксидні композити. Крім того, доведено наступне:

1. Для формування композитного матеріалу чи захисного покриття з поліпшеними теплофізичними властивостями доцільно у епоксидний зв'язувач вводити частки карбонату літію та карбонату нікелю у кількості $q = 0,5$ мас.ч. та $q = 3,0$ мас.ч., позаяк значення теплостійкості (за Мартенсом) КМ для вибраного вмісту наповнювачів становлять – $T = 356$ К та $T = 359$ К відповідно.

2. Експериментально встановлено, що за діапазону температур $\Delta T = 303...473$ К доцільно використовувати композити із вмістом часток карбонату нікелю у кількості $q = 3,0$ мас.ч. Такі матеріали характеризуються найменшим значенням термічного коефіцієнту лінійного розширення, який становить $\alpha = 6,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

3. Методом термогравіметричного та диференціально-термічного аналізу досліджено термостійкість розроблених композитів. Показано, що максимальним значенням температури піку екзоефекту, яке становить $T_{max} = 570$ К, відрізняється композит, наповнений частками карбонату літію у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Можна припустити, що даний композит характеризується найбільшою енергією активації серед усіх досліджуваних матеріалів. Це свідчить про підвищену стійкість до руйнування хімічних зв'язків розробленого матеріалу. Додатково показано, що визначальними параметрами у процесі експлуатації є початок екзотермічних ефектів, максимальне значення екзотермічного ефекту і початкова температура деструкції, які характеризують початок структурних перетворень, а, отже, і можливий діапазон температур, при якому доцільно використовувати розроблені матеріали.

У цілому можна припустити, що встановлено механізм взаємодії функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні. Це дозволяє стверджувати, що введення часток наповнювача карбонату літію за критичного вмісту ($q = 0,5$ мас.ч.) і карбонату нікелю за критичного вмісту ($q = 3,0$ мас.ч.) забезпечує поліпшення у комплексі теплофізичних властивостей композитів на макрорівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зуева Ю. С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях / Ю. С. Зуева, Т. Г. Дегтева. – М. : Химия, 1986. – 168 с.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие для вузов по специальности «Технология перераб. пласт. масс и эластомеров» / М. Л. Кербер и др.; под общ. ред. А. А. Берлина – СПб. : Профессия, 2008. – 557 с.
3. Принципы создания композиционных полимерных материалов / С. А. Вольфсон, А. А. Берлин, В. Г. Ошмян, Н. С. Ениколопов. – М. : Химия, 1990. – 430 с.
4. Букетов А. В. Епоксидні наноккомпозити: монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
5. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор.. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.
6. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли. – М. : Энергия, 1973, 1982 – 416 с.
7. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Ю. С. Липатов. – К. : Наукова думка, 1980. – 260 с.
8. Чернин Н. Е. Эпоксидные материалы и композиции / Н. Е. Чернин. – М. : Химия, 1982. – 228 с.
9. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // Visnyk of Kherson National Technical University. – 2015. – № 4 (55). – P. 192-195.
10. Букетов А. В. Улучшение теплофизических свойств композиционных материалов на основе пластифицированной эпоксидной матрицы путем введения

огнеупорных мелкозернистых наполнителей различной физической природы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, А. В. Акимов, Н. В. Браило, Д. А. Зинченко // Механика композиционных материалов и конструкций – 2016. – № 2. – С. 254-268.

REFERENCES

1. Zueva Yu. S. Stoykostj ehlastomerov v ehkspluatacionnikh usloviyakh / Yu. S. Zueva, T. G. Degteva. – M. : Khimiya, 1986. – 168 c.
2. Polimerniye kompozicionniye materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie dlya vuzov po specialnosti «Tekhnologiya pererab. plast. mass i ehlastomerov» / M. L. Kerber i dr.; pod obsh. red. A. A. Berlina – SPb. : Professiya, 2008. – 557 s.
3. Principih sozdaniya kompozicionnikh polimernikh materialov / S. A. Voljfon, A. A. Berlin, V. G. Oshmyan, N. S. Enikolopov. – M. : Khimiya, 1990. – 430 s.
4. Buketov A. V. Epoksidni nanokompoziti: monografiya / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, V. L. Aleksenko. – Kherson : KhDMA, 2015. – 184 s.
5. Stukhlyak P. D. Epoksikompozitni materialy, modifikovani energetichnymi polyami / P. D. Stukhlyak, A. V. Buketov, I. G. Dobrotvor.. – Ternopilj : Zbruch, 2008. – 208 s.
6. Li Kh. Spravochnoe rukovodstvo po ehpoksidnim smolam / Kh. Li. – M. : Ehnergiya, 1973, 1982 – 416 s.
7. Lipatov Yu. S. Mezsfazniye yavleniya v polimerakh / Yu. S. Lipatov. – K. : Naukova dumka, 1980. – 260 s.
8. Chernin N. E. Ehpoksidniye materialih ih kompozicii / N. E. Chernin. – M. : Khimiya, 1982. – 228 s.
9. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // Visnyk of Kherson National Technical University. – 2015. – № 4 (55). – P. 192-195.
10. Buketov A. V. Uluchshenie teplofizicheskikh svoystv kompozicionnikh materialov na osnove plastificirovannoy ehpoksidnoy matricih putem vvedeniya ogneupornnikh melkozernistikh napolniteley razlichnoy fizicheskoy prirodi / A. V. Buketov, A. A. Sapronov, A. V. Akimov, N. V. Brailo, D. A. Zinchenko // Mekhanika kompozicionnikh materialov i konstrukciy – 2016. – № 2. – S. 254-268.

Букетов А.В., Нигалатий В.Д., Зинченко Д.А. РАЗРАБОТКА ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ С ЧАСТИЦАМИ КАРБОНАТА ЛИТИЯ И КАРБОНАТА НИКЕЛЯ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

На основе проведенных испытаний теплофизических свойств эпоксикомпозитов, наполненных микродисперсным карбонатом лития Li_2CO_3 и карбонатом никеля $NiCO_3$, с использованием современных методов исследования установлены допустимые пределы температуры, при которых возможно внедрять разработанные материалы. Исследован термический коэффициент линейного расширения (α), теплостойкость (T) и термостойкость эпоксикомпозитов. Установлены абсолютные значения термического коэффициента линейного расширения материалов, которые можно использовать в различных температурных диапазонах. Методом дифференциально-термического и термогравиметрического анализа проведено исследование термостойкости и структурных особенностей материалов при увеличении температуры. Установлено, что для формирования композитных материалов с повышенными показателями теплофизических свойств, целесообразно использовать в качестве наполнителя Li_2CO_3 в количестве $q = 0,5$ масс.ч. Такой материал характеризуется наибольшей энергией активации, устойчивостью к структурным преобразованиям при максимальных температурах и интенсивным взаимодействием функциональных групп наполнителя с эпоксидным олигомером при структурообразовании на молекулярном уровне всех исследуемых материалов.

Ключевые слова: эпоксидный композит, карбонат, теплостойкость, термостойкость, деструкция, экзотермический эффект.

Buketov A.V., Nigalatiy V.D., Zinchenko D.A. DEVELOPMENT OF EPOXY COMPOSITES WITH PARTICLES OF LITHIUM CARBONATE AND NICKEL CARBONATE TO REPAIR PARTS OF POWER INSTALLATIONS OF TRANSPORT EQUIPMENT

On the basis of tests of thermal properties of epoxy composites filled with microfine lithium carbonate Li_2CO_3 carbonate and nickel NiCO_3 , using modern research methods set permissible limits of temperature, at which it is possible to implement the developed materials. The thermal expansion coefficient (α), heat resistance (T) and thermal of epoxy composites. We set the absolute values of the thermal expansion coefficient of materials which can be used in different temperature ranges. The method of differential thermal and thermogravimetric analysis studied the thermal stability of materials and structural characteristics as the temperature increases. It is found that the formation of composite materials with enhanced thermal properties, it is advisable to use as a filler in an amount of Li_2CO_3 $q = 0,5$ %. This material is characterized by the highest activation energy, resistance to structural change at the highest temperatures and intense interaction of the functional groups of the filler with an epoxy oligomer with the structure formation at the molecular level, all of the materials.

Keywords: epoxy composite carbonate, heat resistance, heat resistance, destruction, exoeffect.

© Букетов А. В., Нігалатій В. Д., Зінченко Д. О.

Статтю прийнято
до редакції 10.09.15

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ДИСПЕРСНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАМУ НА АДГЕЗІЙНІ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ

Букетова Н.М.

Херсонська державна морська академія

*У роботі представлений ефективний спосіб використання відходів від киснево-конвертерного способу виробництва сталі для забезпечення необхідного комплексу властивостей епоксидних композитів. Для дослідження можливої взаємодії часток конвертерного шламу з епоксидним зв'язувачем і твердником використано ІЧ-спектральний аналіз, який дозволив встановити значну кількість зв'язків -C-N-, -C-C-, -C-O-, -CH-груп на поверхні часток наповнювача. Введення конвертерного шламу у епоксидний зв'язувач за оптимального вмісту дозволяє підвищити адгезійну міцність при відриві у 2 рази, адгезійну міцність при зсуві 1,1 рази, фізико-механічні властивості у 1,5 разів. Для дослідження структури зшитих полімерів використано оптичну мікроскопію. На основі аналізу топології матеріалів виявлено впорядковану структуру без наявних включень, що дає можливість стверджувати про максимальний ступінь зшивання композитних матеріалів за вмісту часток конвертерного шламу у кількості $q = 40$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного зв'язувача. **Ключові слова:** дисперсний наповнювач, композит, ІЧ-спектральний аналіз, адгезія, фізико-механічні властивості, структура шламу, оптична мікроскопія*

Постановка проблеми. Розвиток киснево-конвертерного способу виробництва сталі отримав широке поширення у світі (70...75 % загального об'єму виробництва металу). Даний метод характеризується такими перевагами, як висока продуктивність, низькі питомі капітальні вкладення, наявність сировинної бази та ін. При цьому значної уваги приділяють утилізації або використанню вторинних енергоресурсів, тобто відходів промисловості. Відомо [1], що конвертерні гази у процесі виробництва сталі містять багато пилу. Разом із оксидом вуглецю з конвертеру захоплюється значна кількість парів металу та крапель, що викидаються з ванни у процесі зневуглицювання. Пари часток в основному містять наступні сполуки: FeO, Fe₂C, FeCO₃. Залежно від складу сировини, конструкції печей і умов плавки на тонну сталі утворюється 12...25 кг дисперсного пилу при «сухому» і шламу при «мокрому» способі виробництва із розміром часток 0,1...100 мкм. Переважно їх використовують як добавку у агломераційну шихту. Водночас, слід зауважити, що дані відходи різного розміру і складу є цікавими з наукової і практичної точки зору як наповнювачі для формування епоксидних композитів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений комплекс досліджень авторів праць [2–5] дозволяє констатувати, що введення наповнювачів у епоксидний зв'язувач передбачає різні види хімічної та фізичної взаємодії при зшиванні епоксикомпозитів на межі поділу фаз «зв'язувач – наповнювач». Введення у зв'язувач дисперсних часток різної природи та розміру за оптимального вмісту дозволяє поліпшувати адгезійні, фізико-механічні властивості композитних матеріалів (КМ) у комплексі. Взаємодія компонентів залежить від хімічної активності наповнювача, питомої площі його поверхні, співвідношення інгредієнтів і суттєво впливає на структуру матеріалів та їх характеристики у процесі експлуатації. При цьому актуальним є використання дешевих наповнювачів (відходи промислового виробництва), які, окрім підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних КМ, сприяють зменшенню вартості конструкційних матеріалів, що вигідно з економічної та екологічної точки зору.

Метою роботи є дослідження впливу наповнювача, що є відходом промислового виробництва сталі, від виробництва на властивості епоксидних композитів.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується високою адгезійною та когезійною міцністю, незначною усадкою і технологічністю при нанесенні на довговимірні поверхні складного профілю.

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо [5], що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається із таких взаємозв'язаних компонентів: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$. Зшивали КМ, вводючи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювач було використано частки конвертерного шламу (КвШ), який характеризується наступним складом, %: SiO_2 – 20,85; Al_2O_3 – 2,42; Fe_2O_3 – 12,69; FeO – 7,68; MgO – 5,08; MnO – 2,94; CaO – 46,70; S – 0,19; Fe – 14,85. Дисперсність часток становить $d = 60...63$ мкм.

Епоксидний композит, наповнений частками КвШ, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = 353 \pm 2$ К і її витримка при даній температурі впродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1$ хв; дозування дисперсного наповнювача та подальше введення його у епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсного наповнювача впродовж часу $\tau = 1 \pm 0,1$ хв; ультразвукова обробка (УЗО) композиції впродовж часу $\tau_3 = 1,5 \pm 0,1$ хв; охолодження композиції до кімнатної температури впродовж часу $\tau = 60 \pm 5$ хв; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1$ хв. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1$ год при температурі $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання КМ впродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. Із метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: адгезійна міцність при відриві, залишкові напруження, руйнівні напруження та модуль пружності при згинанні.

Адгезійну міцність матриці до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження («метод грибків») при рівномірному відриві пари склеєних зразків згідно ГОСТу 14760-69. Вимірювали силу відривання клейових з'єднань сталейних зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталейних зразків при відриві становив – $d = 25$ мм.

Залишкові напруження у матриці визначали консольним методом [6]. Покриття товщиною $\delta = 0,3...0,5$ мм формували на сталійній основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм; робоча довжина – $l_0 = 80$ мм, товщина – $\delta = 0,3$ мм.

Руйнівне напруження і модуль пружності при згинанні визначали згідно ГОСТу 4648-71 і ГОСТу 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Для дослідження хімічних зв'язків у наповнювачі використовували ІЧ-спектральний аналіз. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел $\nu = 400...2400$ cm^{-1} однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами $\lambda^{-1} = \nu$ здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину та площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Похибка при визначенні хвильового числа – $\nu = \pm 0,01$ cm^{-1} , а при визначенні точності розташування піку – $\nu = \pm 0,125$ cm^{-1} . Фотометрична точність становила $\pm 0,2$ % при програмному управлінні щільністю та тривалістю інтегрування – $t = 10$ с. Крок інтегрування – $\Delta\lambda = 4$ cm^{-1} .

Дослідження структури (топології) матеріалів проводили на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який обладнаний камерою 130 UMD (1,3 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від $\times 100$ до $\times 1600$ разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Image Analyse».

Результати досліджень та їх обговорення. Для розуміння процесів, які відбуваються на межі поділу фаз «епоксидний зв'язувач – наповнювач – твердник» при зшиванні КМ, попередньо визначали хімічну активність часток конвертерного шламу, тобто наявність активних груп на їх поверхні. Для цього використовували ІЧ-спектральний аналіз. Попередньо формували зразок із дисперсного наповнювача. Враховуючи значний розмір часток наповнювача – $d = 60 \dots 63$ мкм зразок формували без використання порошку КВг (рис. 1). При цьому інтенсивність пропускання становила $T = 49,4 \%$, що свідчить про високу точність формування спектру, а, отже, і достовірність експерименту (рис. 2).

Згідно ІЧ-спектрального аналізу часток наповнювача виявлено смуги поглинання у діапазоні хвильових чисел $\nu = 2353,16 \dots 2333,87 \text{ см}^{-1}$, характерні для зв'язків $\text{C}\equiv\text{N}$. Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 1114,86 \text{ см}^{-1}$ свідчить про валентні коливання зв'язків C-O , а відносна величина площі піку $S = 100,2 \%$ вказує на значну їх кількість. При цьому, згідно аналізу праці [7] хвильове число $\nu = 1114,86 \text{ см}^{-1}$ характеризує з'єднання Si-O_2 .

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 979,84 \text{ см}^{-1}$ свідчить про наявність валентних коливань зв'язків -C-N- , -C-C- , -C-O- . Водночас діапазон хвильових чисел $\Delta\nu = 873,10 \dots 979,84 \text{ см}^{-1}$ характеризує наявність з'єднань Fe-O , Fe-O_2 [7].



Рисунок 1 – Сформований зразок для дослідження ІЧ-спектру КвIII з товщиною $b = 0,000094$ мкм

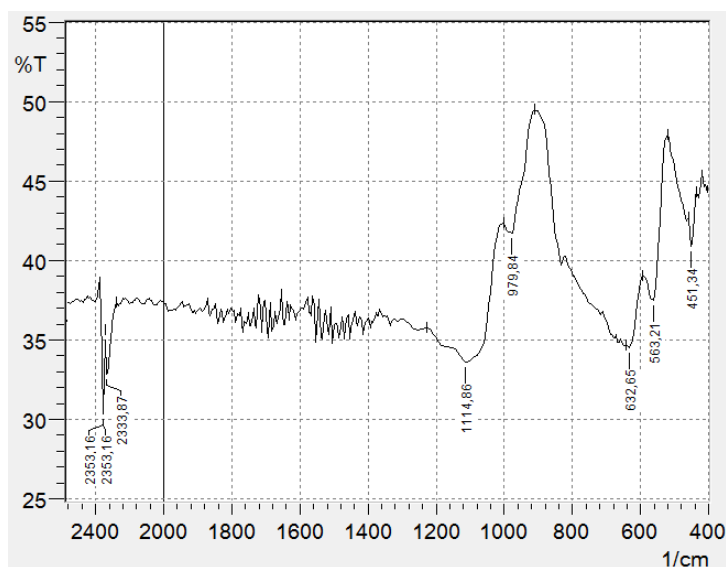


Рисунок 2 – Спектр КвIII у ділянці хвильових чисел $\nu = 400 \dots 2400 \text{ см}^{-1}$

Смуга поглинання при хвильовому числі $\nu = 632,65 \text{ см}^{-1}$ свідчить про наявність маятникових коливань зв'язків -CH- , а відносна величина площі піку $S = 99,4 \%$ вказує на значну їх кількість. Водночас, згідно аналізу праці [7] хвильове число $\nu = 632,65 \text{ см}^{-1}$ характеризує з'єднання Ca-O . Надалі, аналіз смуг поглинання у діапазоні хвильових чисел $\Delta\nu = 600,00 \dots 400,00 \text{ см}^{-1}$ опосередковано свідчить про присутність з'єднань Mg-O , Mn-O , S . Отже, аналіз ІЧ-спектру наповнювача КвIII, який є відходом промислового виробництва сталі, дозволяє констатувати про можливість фізико-хімічної взаємодії

часток з компонентами зв'язувача (ЕД-20 – ПЕПА) за рахунок значної кількості активних груп на поверхні наповнювача.

Надалі досліджували вплив вмісту КвШ на адгезійну міцність при відриві (σ_a), зсуві (τ) і залишкові напруження (σ_3) у КМ.

Експериментально встановлено (рис. 3), що адгезійна міцність модифікованої УЗО епоксидної матриці становить $\sigma_a = 24,4$ МПа. Введення у епоксидний олігомер часток дисперсного наповнювача КвШ за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. (тут і далі за текстом вміст дисперсних часток наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20) приводить до монотонного збільшення адгезійної міцності при відриві КМ до $\sigma_a = 37,4 \dots 43,1$ МПа (рис. 3, крива 1). Максимум на кривій залежності міцності адгезійних з'єднань від вмісту часток КвШ встановлено при введенні наповнювача за вмісту $q = 40$ мас.ч. Такі композити відзначаються адгезійною міцністю, яка становить $\sigma_a = 52,83$ МПа. Аналіз праць [8, 9] дозволяє стверджувати, що підвищення показників адгезійної міцності вказує на взаємодію сегментів олігомеру з активними групами чи зв'язками на поверхні часток дисперсного наповнювача. Це сприяє підвищенню адгезії за даного наповнення КМ. Надалі збільшення вмісту наповнювача до $q = 60 \dots 80$ мас.ч. призводить до погіршення адгезійної міцності КМ. Значення адгезійної міцності таких композитів становить – $\sigma_a = 33,0 \dots 41,2$ МПа, що свідчить про підвищення в'язкості композиції та, як наслідок, зменшення змочування часток КвШ олігомером ЕД-20. За таких умов формується композит, який характеризується дефектною структурою.

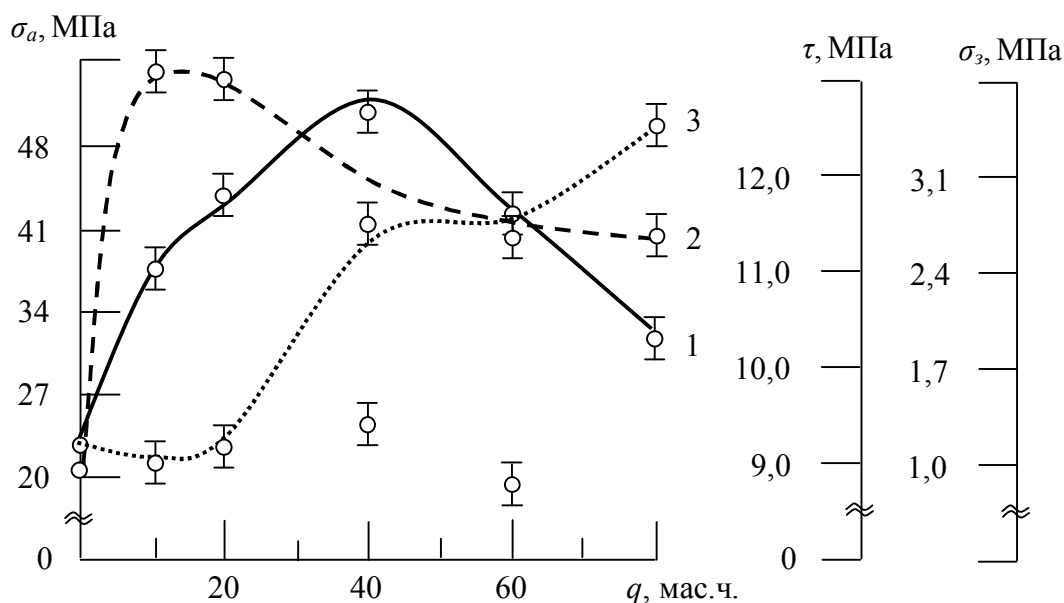


Рисунок 3 – Залежність адгезійної міцності (σ_a , τ) і залишкових напружень (σ_3) КМ від вмісту наповнювача конвертерного шлаку (КвШ): 1 – адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 – адгезійна міцність при зсуві (τ); 3 – залишкові напруження

При дослідженні впливу часток КвШ на адгезійну міцність при зсуві спостерігали аналогічну залежність (рис. 3, крива 2), тобто при введенні у зв'язувач дисперсних часток спостерігали підвищення показників адгезійної міцності. При цьому максимальне значення адгезійної міцності при зсуві ($\tau = 12,6 \dots 12,7$ МПа) спостерігали при введенні часток КвШ за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. Надалі введення часток конвертерного шлаку за вмісту $q = 40 \dots 80$ мас.ч. призводить до зменшення показників адгезійної міцності до $\tau = 11,4$ МПа.

Слід зауважити, що при дослідженні впливу вмісту КвШ на адгезійну міцність при зсуві не спостерігали узгодження значень із результатами дослідження адгезійної міцності при відриві (рис. 3, крива 1, 2). Аналіз праці [10] дозволяє стверджувати, що для гетерогенних систем існують різні механізми впливу нормальних і тангенціальних напружень на міцність адгезійних з'єднань. Тобто, при руйнуванні клейового з'єднання

утворюється широкий спектр напружень, де при зсуві – здебільшого переважають дотичні, а при відриві – нормальні напруження. Тому спостерігали різні значення адгезійної міцності за незалежних методик проведення експерименту.

У процесі експлуатації технологічного устаткування з полімерними покриттями важливими є показники залишкових напружень, на які безпосередньо впливає природа дисперсного наповнювача. Встановлено, що значення залишкових напружень у матриці, обробленої ультразвуком, складає $\sigma_3 = 1,4$ МПа (рис. 3, крива 3). При введенні часток КвШ за вмісту $q = 10$ мас.ч. залишкові напруження дещо зменшуються на $\Delta\sigma_3 = 0,24$ МПа (у межах похибки експерименту). Надалі введення КвШ за вмісту $q = 20 \dots 80$ мас.ч. приводить до монотонно збільшення залишкових напружень, які становлять $\sigma_3 = 1,32 \dots 3,34$ МПа, що узгоджується з результатами досліджень адгезійної міцності, оскільки за такого наповнення адгезія також поліпшується. Водночас, високі показники залишкових напружень негативно впливають на довговічність покриття у процесі експлуатації (відшарування матеріалу, крихке руйнування, сколювання та ін.).

У результаті експериментальних досліджень стосовно впливу наповнювача на адгезійну міцність та залишкові напруження у КМ встановлено оптимальний вміст часток КвШ для формування адгезійного шару захисних покриттів:

- для формування адгезійного шару покриття, де при експлуатації устаткування здебільшого переважають нормальні напруження, оптимальний вміст часток КвШ становить $q = 40$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20, при цьому – $\sigma_a = 52,83$ МПа, $\sigma_3 = 2,8$ МПа;
- для формування адгезійного шару, де при експлуатації устаткування переважають дотичні напруження, оптимальний вміст часток КвШ становить – $q = 10 \dots 20$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20, при цьому – $\tau = 12,7$ МПа, $\sigma_3 = 1,4$ МПа.

На наступному етапі досліджували фізико-механічні властивості КМ, наповнених частками КвШ. Встановлено, що руйнівні напруження при згинанні для епоксидної матриці становлять $\sigma_{32} = 48,0$ МПа (рис. 4, крива 1).

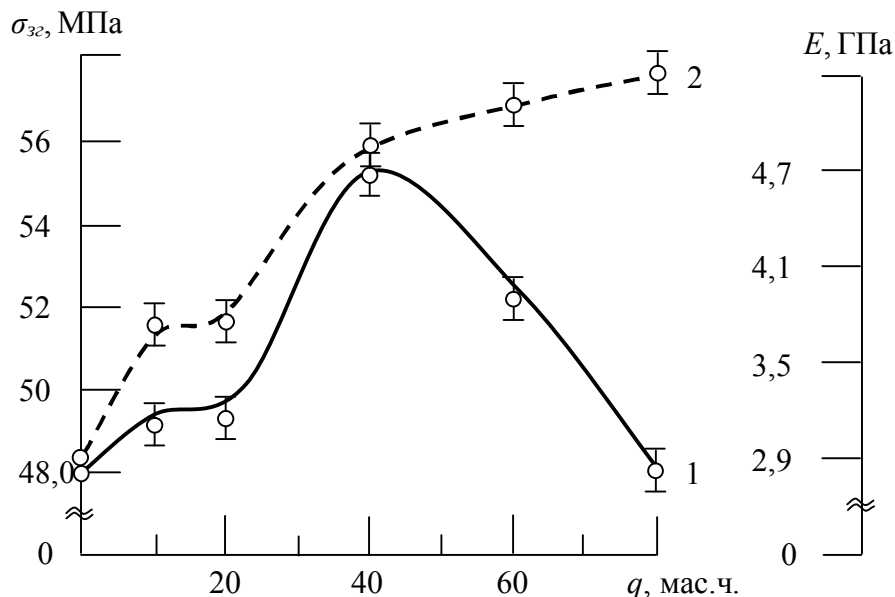


Рисунок 4 – Залежність руйнівних напружень при згинанні (σ_{32}) і модуля пружності при згинанні (E) КМ від вмісту наповнювача конвертерного шлаку (КвШ): 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E).

Встановлено, що введення у епоксидний зв'язувач наповнювача КвШ за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. приводить до підвищення показників руйнівних напружень при згинанні КМ відносно матриці на $\Delta\sigma_{32} = 1,41$ МПа. Це свідчить про взаємодію зв'язків -C-N-, -C-C-, -C-O-, -CH- наповнювача із боковими групами та сегментами епоксидного зв'язувача. При цьому зрозумілим є те, що при збільшенні вмісту часток КвШ зростає і кількість зв'язків

-C-N-, -C-C-, -C-O-. Тобто, формується просторова сітка полімеру з високим ступенем зшивання. Очевидно, цим можна пояснити максимальне значення руйнівних напружень при згинанні ($\sigma_{32} = 55,0$ МПа) за вмісту КвШ – $q = 40$ мас.ч. Слід зауважити, що при збільшенні вмісту дисперсних часток підвищується і густина композиції, при цьому обмежується рухливість молекул. Тому, під впливом зовнішнього навантаження відбувається мінімальне видовження молекул за рахунок ущільненої просторової сітки, що й спричиняє руйнування композитного матеріалу. Очевидно цим можна пояснити зменшення показників руйнівних напружень при згинанні до $\sigma_{32} = 48,0$ МПа при введенні часток КвШ за вмісту $q = 60 \dots 80$ мас.ч.

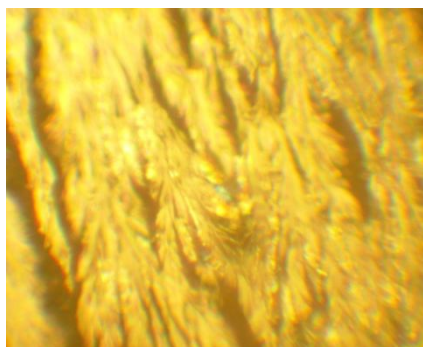
Паралельно досліджували залежність модуля пружності при згинанні від вмісту КвШ (рис. 4, крива 2). Експериментально встановлено, що при введенні часток КвШ, як і для руйнівних напружень при згинанні, спостерігали аналогічну динаміку збільшення показників модуля пружності залежно від вмісту часток. Тобто, при введенні КвШ за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. спостерігали монотонне збільшення модуля пружності з $E = 2,90$ ГПа (для епоксидної матриці) до $E = 3,7$ ГПа. Подальше введення наповнювача за вмісту $q = 40 \dots 80$ мас.ч. зумовлює монотонне зростання модуля пружності до $E = 4,7 \dots 5,3$ ГПа. Як було зазначено попередньо, при збільшенні вмісту часток КвШ збільшується густина просторової сітки (обмежується рухливість молекул), тобто зростає жорсткість системи. Таким чином ставили завдання отримання матеріалу, який задовольняє комплекс вимог, а саме – максимальне значення руйнівних напружень при згинанні з наперед заданими і допустимими показниками жорсткості та пружності системи. Дану вимогу забезпечено шляхом введення часток КвШ за вмісту $q = 40$ мас.ч. Такий композит характеризується руйнівними напруженнями при згинанні – $\sigma_{32} = 55,0$ МПа і модулем пружності при згинанні – $E = 4,7$ ГПа.

На завершальному етапі методом оптичної мікроскопії досліджували поверхню зламу епоксидної матриці та композитів, наповнених частками КвШ (рис. 5). Аналіз фрактограм зламу епоксидної матриці (рис. 5, а, б) дозволяє стверджувати про формування поверхні руйнування з розгалуженими лініями сколювання, які мають виражені заглиблення, що характеризують напружений стан матеріалу й опосередковано свідчать про можливу крихкість полімеру у процесі експлуатації.

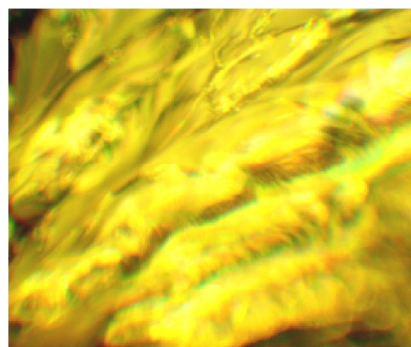
Аналіз поверхні зламу КМ із вмістом часток КвШ у кількості $q = 10$ мас.ч. (рис. 5, в, г) дозволяє стверджувати, що при такому наповненні формуються матеріали з термодинамічно та кінетично врівноваженою структурою внаслідок незначного вмісту наповнювача. При дослідженні поверхні зламу КМ із вмістом часток КвШ у кількості $q = 20$ мас.ч. (рис. 3, д, е) спостерігали схожу топологію матеріалу із незначними дефектами у вигляді незначних тріщин розгалуженого характеру. Відповідно, такі матеріали відзначаються незначним напруженим станом, а, отже, і поліпшеними механічними властивостями відносно матриці.

Як уже зазначено попередньо, при збільшенні вмісту часток КвШ збільшується густина зв'язувача, а, отже, і ущільнюється просторова сітка полімеру. При цьому важливим є рівномірність розподілених часток за об'ємом КМ. За таких умов зменшується можливість утворення концентраторів напружень і як наслідок – поліпшуються властивості епосикомпозитного матеріалу. Характерна структура такого матеріалу наведена на рис. 5, ж, з при наповненні КМ частками КвШ у кількості $q = 20$ мас.ч. При цьому, слід зауважити, що дані матеріали характеризуються структурою, у якій відсутні широкі лінії сколювання та чітко виражені агломерати. Це свідчить про можливість використання даних матеріалів впродовж значного терміну експлуатації.

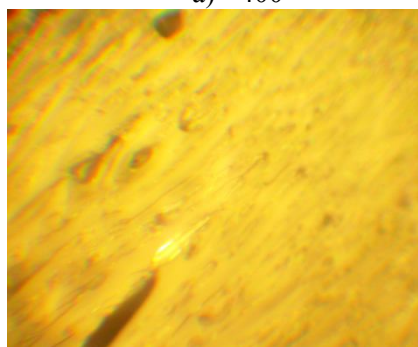
Відповідно ущільненою структурою також характеризуються композити із вмістом часток КвШ у кількості $q = 60 \dots 80$ мас.ч. (рис. 5, і-м). Однак, на поверхні зламу таких КМ спостерігали незначні агломерати, поява яких не приводить до стабільності когезійних властивостей при експлуатації захисних покриттів.



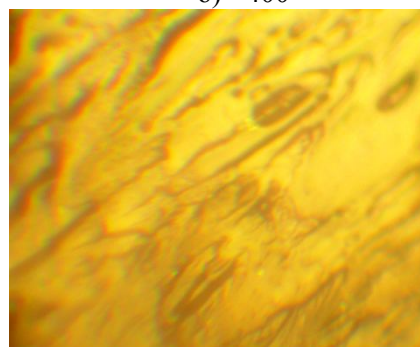
а) $\times 400$



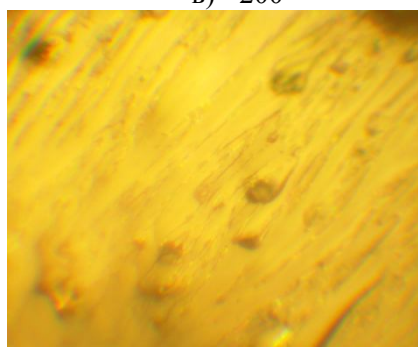
б) $\times 400$



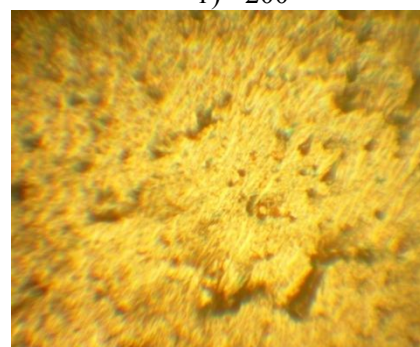
в) $\times 200$



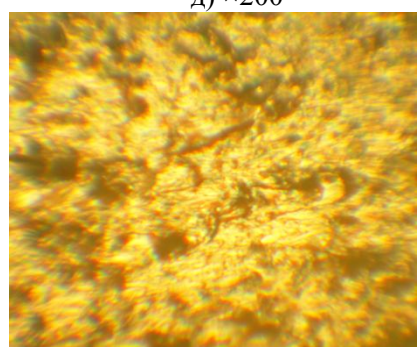
г) $\times 200$



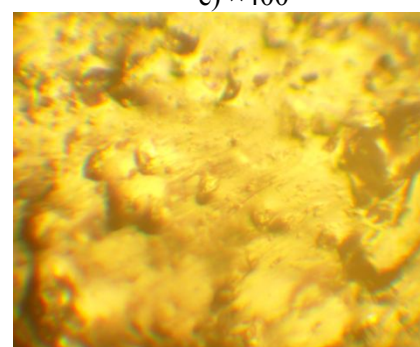
д) $\times 200$



е) $\times 400$



ж) $\times 200$



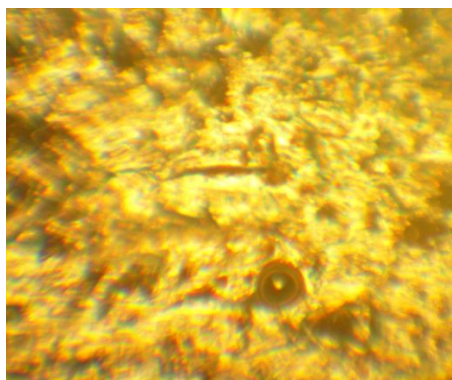
з) $\times 400$



і) $\times 200$



к) $\times 400$



л) $\times 200$



м) $\times 400$

Рисунок 5 – Фрактограми зламу КМ, наповнених частками КвШ:

а), б) матриця; в), г) 10 мас.ч.; д), е) 20 мас.ч.; є), ж) 40 мас.ч.; з), и) 60 мас.ч.; і), й) 80 мас.ч.

Висновки. На основі проведених досліджень можна констатувати, що використання відходів киснево-конвертерного способу виробництва сталі є досить ефективним. При цьому забезпечується їх утилізація та водночас суттєве поліпшення показників адгезійної міцності композитів та їх фізико-механічних властивостей. У роботі встановлено:

1. Проведено ІЧ-спектральний аналіз часток конвертерного шламу, який дозволив виявити значну кількість зв'язків у діапазоні хвильових чисел $\nu = 400 \dots 2400 \text{ см}^{-1}$, що свідчить про активність наповнювача і його здатність взаємодіяти із компонентами системи «ЕД-20 – ПЕПА».

2. Встановлено оптимальний вміст конвертерного шламу для формування композитного матеріалу з поліпшеними адгезійними властивостями: для забезпечення адгезійної міцності при відриві необхідно у епоксидний зв'язувач вводити $q = 40$ мас.ч. конвертерного шламу на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20, при цьому показники адгезійної міцності становлять – $\sigma_a = 52,83 \text{ МПа}$, а залишкових напружень – $\sigma_z = 2,8 \text{ МПа}$; для забезпечення адгезійної міцності при зсуві необхідно у епоксидний зв'язувач вводити $q = 10 \dots 20$ мас.ч. конвертерного шламу на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20, при цьому показники адгезійної міцності становлять – $\tau = 12,7 \text{ МПа}$, а залишкових напружень – $\sigma_z = 1,4 \text{ МПа}$.

3. Доведено, що для формування матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями у комплексі необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити наповнювач конвертерний шлам за вмісту $q = 40$ мас. ч. У такому випадку формується матеріал із наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{z2} = 55,0 \text{ МПа}$, модуль пружності при згинанні – $E = 4,7 \text{ ГПа}$.

4. Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу епоксидної матриці та розроблених композитних матеріалів. Епоксидна матриця характеризується структурою зламу з розгалуженими лініями сколювання, які мають виражені заглиблення, що свідчить про напружений стан системи, а, отже, і її недовговічність. Фрактограми зламу епоксидного композиту за вмістом наповнювача $q = 40$ мас.ч. характеризуються впорядкованою структурою, без наявних включень, що дає можливість стверджувати про максимальний ступінь зшивання таких композитів і можливість тривалої експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розенгарт Ю. И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование / Ю. И. Розенгарт, Б. И. Якобсон, З. А. Мурадова. – К. : Высшая шк., 1988. – 328 с.
2. Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы. – С-Пб. : Научные основы и технологии, 2009. – 660 с.

3. Богданова Ю. Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов / Ю. Г. Богданова. – М. : Научно-образовательный центр по нанотехнологиям, 2010. – 68 с.
4. Кандырин Л. Б. Исследование механических свойств наполненных композиций и полимербетонов на основе смесей фура- новых и эпоксидных смол / Л. Б. Кандырин, Б. Е. Усольцев и др. // Пласт. массы. – 2000. – № 7. – С. 34-37.
5. Букетов А. В. Епоксидні нанокompозити : монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
6. Корякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Корякина. – М. : Химия, 1988. – 272 с.
7. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М. : Мир, 1991. – 536 с.
8. Вплив вмісту і природи дрібнодисперсного наповнювача на механічні властивості і структуру полімерних захисних покриттів / [О. О. Сапронов, В. Д. Нігалатій, К. М. Клевцов, І. В. Смирнов, М. А. Долгов] // Вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 2 (9). – С. 228-237.
9. Букетов А. В. Дослідження залежності властивостей епоксидних композитів від вмісту дисперсних наповнювачів з метою формування захисних покриттів для підйомно-транспортних механізмів / А. В. Букетов, О. О. Сапронов // Підйомно-транспортна техніка. – 2013. – №3 (39). – С. 92-107.
10. Букетов А. В. Влияние микродисперсного карбоната серебра на свойства эпоксикомпозитов / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, Д. А. Зинченко, В. Н. Яцюк // Механика композиционных материалов и конструкций – 2015. – № 4. – С. 533-547.

REFERENCES

1. Rozengart Yu. I. Vtorichnihe ehnergeticheskie resursih chernoyj metallurgii i ikh ispoljzovanie / Yu. I. Rozengart, B. I. Yakobson, Z. A Muradova. – K. : Vihsshaya shk., 1988. – 328 s.
2. Mikhayjlin Yu. A. Specialjnihe polimernihe kompozicionnihe materialih. – S-Pb. : Nauchnihe osnovih i tekhnologii, 2009. – 660 s.
3. Bogdanova Yu. G. Adgeziya i ee rolj v obespechenii prochnosti polimernihkh kompozitov / Yu. G. Bogdanova. – M. : Nauchno-obrazovateljnihiy centr po nanotekhnologiyam, 2010. – 68 s.
4. Kandihrin L. B. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv napolnennikh kompoziciy i polimerbetonov na osnove smesey furanovikh i ehпоксидних smol / L. B. Kandihrin, B. E. Usoljcev i dr. // Plast. massih. – 2000. – № 7. – S. 34-37.
5. Buketov A. V. Epoksidni nanokompозити : monografiya / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, V. L. Aleksenko. – Kherson : KhDMA, 2015. – 184 s.
6. Koryakina M. I. Ispihtanie lakokrasochnikh materialov i pokrihtiy / M. I. Koryakina. – M. : Khimiya, 1988. – 272 s.
7. Nakamoto K. IK-spektri i spektri KR neorganicheskikh i koordinacionnihkh soedineniy / K. Nakamoto. – M. : Mir, 1991. – 536 s.
8. Vpliv vmistu i prirodi dribnodispersnogo napovnyuvacha na mekhanichni vlastivosti i strukturu polimernih zakhisnih pokrittiv / [O. O. Sapronov, V. D. Nigalatiy, K. M. Klevcov, I. V. Smirnov, M. A. Dolgov] // Visnik Khersons'koi derzhavnoi mors'koi akademii : naukoviy zhurnal. – Kherson : Vidavnistvo KhDMA, 2013. – № 2 (9). – S. 228-237.
9. Buketov A. V. Doslidzhennya zalezhnosti vlastivostey epoksidnih kompozitiv vid vmistu dispersnih napovnyuvachiv z metoyu formuvannya zakhisnih pokrittiv dlya pidyjomno-transportnikh mekhanizmv / A. V. Buketov, O. O. Sapronov // Pidyjomno-transportna tekhnika. – 2013. – №3 (39). – S. 92-107.

10. Buketov A. V. Vliyanie mikrodispersnogo karbonata serebra na svoystva ehpoksikompozitov / A. V. Buketov, A. A. Sapronov, D. A. Zinchenko, V. N. Yacyuk // Mekhanika kompozicionnykh materialov i konstruktsiy – 2015. – № 4. – S. 533-547.

Букетова Н.Н. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО КОНВЕРТНОГО ШЛАМА НА АДГЕЗИОННЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

В работе представлен эффективный способ использования отходов от кислородно-конвертерного способа производства стали для обеспечения необходимого комплекса свойств эпоксидных композитов. Для исследования возможного взаимодействия частиц конвертерного шлама с эпоксидным связующим и отвердителем использован ИК-спектральный анализ, который позволил установить значительное количество связей -C-N-, -C-C-, -C-O-, -CH- на поверхности частиц наполнителя. Введение конвертерного шлама в эпоксидное связующее при оптимальном содержании позволяет повысить адгезионную прочность при отрыве в 2 раза, адгезионную прочность при сдвиге 1,1 раза, физико-механические свойства в 1,5 раза. Для исследования структуры шитых полимеров использована оптическая микроскопия. На основе анализа топологии материалов выявлена упорядоченная структура без видимых включений, что позволяет утверждать о максимальной степени сшивания композитных материалов с содержанием частиц конвертерного шлама в количестве $q = 40$ мас.ч. на 100 масс.ч. эпоксидного связующего.

Ключевые слова: дисперсный наполнитель, композит, ИК-спектральный анализ, адгезия, физико-механические свойства, структура излома, оптическая микроскопия.

Buketova N.M. ESPECIALLY THE IMPACT OF PARTICULATE ENVELOPE CUTTINGS AND ADHESION OF TWO PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE COMPOSITES EPOKSIDNYH

This paper presents an efficient way to use waste from BOF steelmaking method to provide the necessary complex properties of epoxy composites. To investigate the possible interaction of particles converter sludge with epoxy binder and hardener used infrared spectral analysis, which revealed a large number of links -C-N-, -C-C-, -C-O-, -CH- on the surface of the filler particles. Introduction converter sludge in epoxy binder for optimal content can increase the adhesive strength in the separation of 2 times, shear adhesion strength of 1.1 times the physical and mechanical properties of 1.5 times. To study the structure of cross-linked polymers used optical microscopy. The analysis of the topology of the materials ordered structure found without inclusions available that enables assert the maximum degree of crosslinking of composite material parts for the content converter sludge $q = 40$ parts.

Keywords: particulate filler, composite, infrared spectral analysis, adhesion, physical and mechanical properties, fracture structure, optical microscopy.

© Букетова Н. М.

Статтю прийнято
до редакції 20.10.2015

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ В ТЕХНОЛОГІЯХ РЕМОНТУ

Гнатов А.В., Чаплигін Є.О., Сабокар О.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Індукційний нагрів це фізичне явище, що базується на генерації джерела Джоуль-Ленцевої теплоти в металі об'єкта за рахунок струмів Фуко. Останні наводяться зовнішнім змінним електромагнітним полем. Індукційний нагрів застосовується у багатьох ремонтних технологіях, де необхідно виконувати швидкий локальний нагрів металевих об'єктів. За допомогою установок індукційного нагріву можна прискорювати демонтажні роботи, при виконанні ремонтних операцій. У статті наведено огляд існуючої пропозиції установок індукційного нагріву. Розкрито принцип альтернативного застосування індукційного нагріву для виконання різноманітних задач технологій ремонту. Розглянуто застосування індукційного нагріву для видалення незначних вм'ятин у металевих корпусних поверхнях, зняття лакофарбового покриття, а також полегшення демонтажу різьбових з'єднань, що піддавались значному впливу корозії. Запропонована альтернативне схемне рішення для побудови складової системи індукційного нагріву – джерела змінної напруги високої частоти, що матиме мінімальну вартість за рахунок спрощення схеми та максимального використання його ресурсу. Наведено короткий аналіз режиму роботи вузла перетворення частоти з зазначенням оптимальної умови роботи. Проведено математичне модулювання струму, що генерує запропонована установка індукційного нагріву. Приведено джерело змінної напруги для системи індукційного нагріву, що розроблено в Лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ.

Ключові слова: індуктор інструмент, перетворювач частоти, індукційний нагрів, ремонтні технології

Постановка проблеми. Індукційний нагрів (ІН) – відоме фізичне явище, яке часто застосовується у багатьох технологіях, де необхідно виконувати швидкий локальний нагрів металевих об'єктів до високих температур з метою їх подальшої обробки. Це явище базується на генерації джерела Джоуль-Ленцевої теплоти в металі об'єкта за рахунок струмів Фуко, які індукуються зовнішнім змінним електромагнітним полем. За фізичною суттю, такий нагрів не стаціонарний у часі, а максимальні температури нагріву залежать не від джерела сторонньої енергії, а від якісних показників акумуляції тепла, що генерується. Починаючи з 1930 р. у промисловості почали застосовувати індукційний нагрів для плавки металів у великих об'ємах. Окрім індукційної плавки металів, так названий наскрізний нагрів, починаючи з 1947 р. широко застосовується поверхневий нагрів для виконання поверхневого гартування та відпуску металевих об'єктів [1, 2]. Тогочасну пріоритетність даного напрямку розвитку зазначених технологій, підтверджує велика кількість наукових праць, таких як серія «Бібліотека високочастотника – термиста» з авторами Богдановим В.Н. і Рискіним С.Є., в яких достатньо докладно наведені результати аналітичних розрахунків та експериментально отриманих опитних даних, необхідних для технічної реалізації установок індукційного нагріву та організації самого процесу нагріву.

Аналіз основних досягнень та публікацій. На цей час фірмами: ООО «Элисит», «Металлкрафт», «Nordex» та ін. виконується виробництво та поставка потужних установок індукційного нагріву у промислових масштабах. Докладний опис принципу роботи таких установок та їх технічної суті, вказані в періодиці [3–4], де описується принцип синтезу силових модулів, критерії та алгоритми вибору оптимальних параметрів елементної бази.

Швидка та своєчасна модернізація будь-яких технологічних процесів, слугує запорукою успішного розвитку й утримання на ринку тієї чи іншої галузі виробництва або сервісу. Альтернативним, є використання вище описаного явища при виконанні технічного обслуговування та ремонту, наприклад, автотранспортних засобів. За допомогою установок індукційного нагріву можна прискорювати демонтажні роботи, такі як розігрів болтових з'єднань, складних клеєних частин, зняття лакофарбового покриття.

Окрім іншого, реалізація локального сильнострумowego нагріву кузовний поверхні автомобіля, дає можливість виконувати усунення вм'ятин, не обумовлених остаточною деформацією металу, шляхом ослаблення внутрішніх напружень в металі. Ідея використовувати попередній індукційний нагрів у технологіях магнітно-імпульсної обробки металів була запропонована ще в 1984 р. [5]. Авторами пропозиції була розроблена і створена система, яка ініціює протікання струму в обмотці робочого інструмента до моменту силового впливу. Попередній індукційний нагрів дозволяв істотно підвищити ефективність магнітно-імпульсного деформування в цілому.

Мета роботи. Проведення аналізу альтернативного застосування ІН. Розробка альтернативного схемного рішення для побудови складової системи індукційного нагріву – джерела змінної напруги високої частоти, що матиме мінімальну вартість за рахунок спрощення схеми і максимального використання його ресурсу.

Індукційний нагрів. У технологіях ремонту, застосування ІН дозволяє підвищити якість рішення широкого кола задач, а саме: демонтаж різьбових з'єднань; знаття лакофарбового покриття; виконання поверхневого, зовнішнього рихтування елементів кузовних панелей автомобіля (корпусу літака або корабля).

До проблеми виконання демонтажу різьбових з'єднань, можна віднести її неможливість у разі значної корозії різьбових контактних шарів. У більшості випадках, таке з'єднання зрізується або розігрівається зовнішнім відкритим джерелом тепла (паяльна лампа або фен), а потім відкручується. У свою чергу, використання таких допоміжних пристроїв небезпечно для самого робітника та загалом неприпустимо за правилами техніки безпеки. Альтернативна технологічна операція полягає в наступному: робітник підносить спеціально виконаний інструмент – індуктор до області нагріву та вмикає установку на нетривалий час, після чого виконує демонтаж. Фізика процесу полягає в тому, що ІН є нерівномірний у зоні дії полів індуктора, тому лінійне теплове розширення металу також є нерівномірним. За рахунок цього відбувається механічне і теплове руйнування корозійного шару, що полегшує його демонтаж. Застосування ІН в цій ситуації нівелює чинник безпеки та підвищує ефективність робіт за рахунок наступних переваг:

- відсутність відкритого джерела тепла;
- безпечні температури нагріву самого інструмента – індуктора;
- можливість на апаратному рівні контролювати швидкість та інтенсивність нагріву.

Ще одним з можливих застосувань ІН є знаття лакофарбового покриття. Стандартний метод полягає в пошаровому механічному зніманні покриття із використанням спеціальних шліфувальних машин. Значною вадою такого способу, як відомо, є велика кількість дрібного шкідливого пилу, що викликає ураження дихальних шляхів робітника, а сам процес є довготривалим і вимагає певних фізичних зусиль робітника, особливо у випадках, коли поверхня, що зачищається не є плоскою. Використання ІН, у цьому випадку, підвищує безпечність, швидкість і простоту виконання робіт. Інструментом – індуктором спеціальної форми виконується незначний рівномірний поверхневий нагрів металу, що призводить до послаблення клейких утримуючих властивостей шару між покриттям і власне металом, і робітник, без особливих зусиль знімає шар фарби шпателем або іншим ручним засобом. У такий спосіб не завдається ушкоджень поверхні металу, а безпечність технології не вимагає високої кваліфікації робітника.

Найбільш цікавим, залишається альтернативне застосування ІН в технологіях поверхневого рихтування неглибоких вм'ятин у металевому корпусі. На рис. 1. докладно пояснена суть цього методу.

У випадку якщо викривлення поверхні 3 рис. 1 не обумовлено остаточною деформацією металу, то можливо видалити дефект без пошкодження поверхневого лакофарбового шару 5 рис. 1. Інструмент – індуктор 1 розміщується в області деформації і виконує нагрів. За рахунок послаблення наявних напруженостей в металі, які, власне,

і утворюють викривлення, відбувається усадка металу в області 2 рис. 1. Таким чином, зберігається цілісність поверхневого захисного шару та виключається необхідність у класичному видаленні вм'ятин за допомогою спотерів або інших механічних важільних конструкцій.

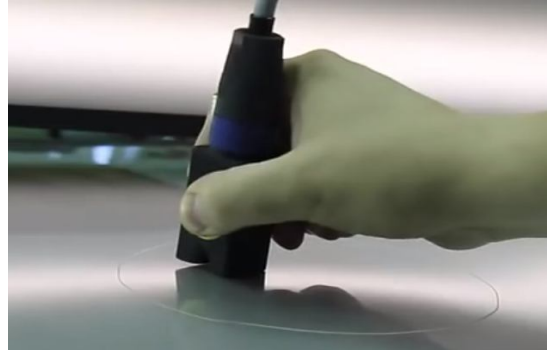
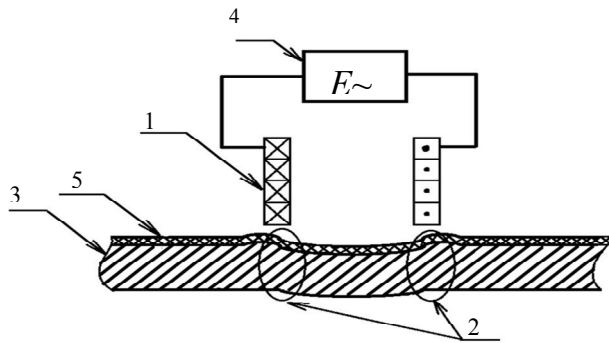


Рисунок 1 – Видалення вм'ятин (ліворуч – схема методу, праворуч – фізична реалізація)

Джерело змінної напруги. У системі ІН виділяють дві складові які суттєво впливають на якість роботи. Ними є індуктор – інструмент і власне джерело змінної напруги. Не акцентуючи увагу на інструментах, слід лише зазначити, що результатом досліджень у цьому напрямку є отримання найбільш оптимальних конструкцій індукторів за для забезпечення максимального коефіцієнту передачі енергії.

Не менш значущим є дослідження в області вибору структурного рішення джерела напруги, суттєвими показниками якого є потужність, ККД і звичайно вартість. На сучасному етапі розвитку елементної бази в електроніці, вже не стоїть питання, як саме зробити джерело змінної напруги високої частоти, а як спроектувати систему, щоб її ресурси використовувались з максимальною вигодою. Тим самим зменшуючи її вартість і підвищуючи її доступність і конкурентоздатність.

Сьогоденний ринок можна вважати достатньо наповненим пропозиціями різноманітних джерел напруги. Однак розглядаючи наявну пропозицію (виробники вказані в огляді), можна сказати, що системи ІН для промислових цілей відрізняються високою потужністю, від 10 кВт, складністю виконання системи і звичайно високою вартістю.

Із метою зниження собівартості системи ІН для ремонтних технологій, авторами була запропонована структурна схема джерела змінної напруги високої частоти рис. 2, робота якої відповідає вимогам ефективного ІН, а саме невеликі габаритні показники, зменшена потужність до 2–4 кВт, та адаптованість у застосування для ремонтних технологій.

Відповідно до рис. 2. джерело змінної напруги повинно мати:

- два гальванічно розв'язаних джерела живлення для системи керування (СК) і блока драйверів силових ключів;
- основний регульований блок живлення силового кола;
- блок забезпечення гальванічних розв'язок кіл керування та високострумівих ліній;
- блок вводу/виводу основних параметрів та цифрова системи керування;
- за необхідності, блок балансування струмів;
- блок резонансного контуру.

Набір перелічених вузлів є мінімально необхідний і задовольняє оптимальні вихідні показники системи ІН.

Розглянемо роботу деяких із вузлів системи на рис. 2.

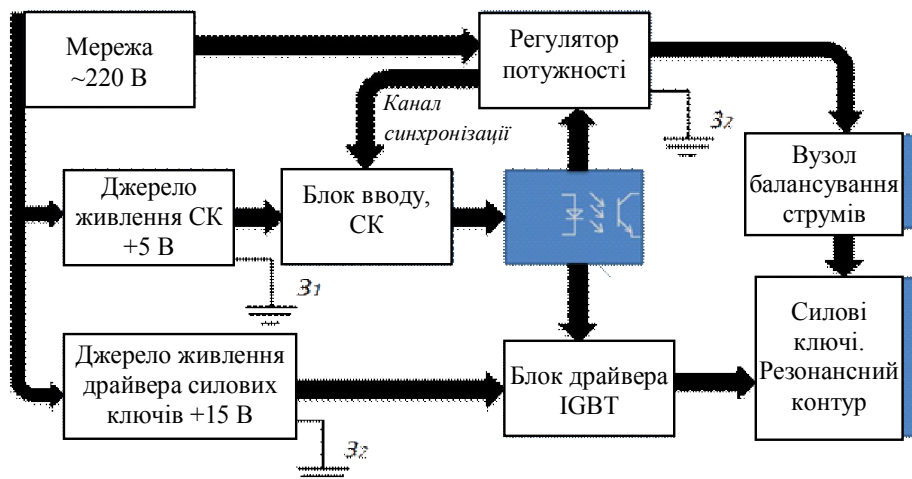


Рисунок 2 – Структурна схема джерела змінної напруги

Резонансний контур, окремо зображений на рис. 3, формується із індуктора – інструмента, який підключається до установки ззовні. У поєднанні з паралельно підключеною ємністю і транзистором VT1 власне утворює коло перетворювача частоти. При чому, за для полегшення умов комутації транзистора, частота його роботи обирається відповідною до власної частоти коливань LC контуру.

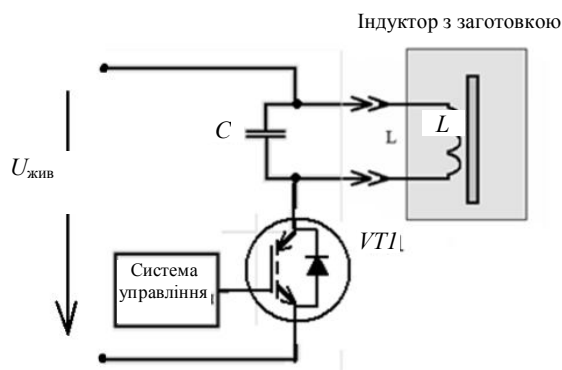


Рисунок 3 – Резонансний контур

Причини вибору такого режиму роботи комутуючого вузла розглянемо на прикладі математичного моделювання кола перетворювача частоти. Не вдаючись глибоко у математичний апарат наведемо лише основні етапи моделювання.

Згідно з рис. 3 приймаємо схему електричну на рис. 4, що підлягає розрахунку.

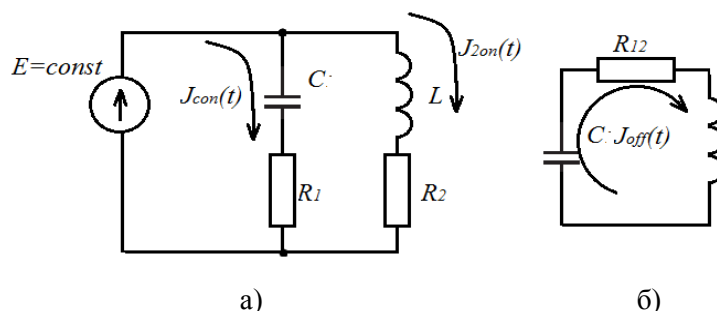


Рисунок 4 – Розрахункова модель: а) 1-й режим комутації; б) 2-й режим комутації

Виходячи з того, що два стани ключа VT1 можна прийняти за такі як, абсолютно відкритий з нульовим опором та закритий з опором еквівалентним діелектрику, розрахунки виконані для двох схем. Для першого режиму, коли ключ відкритий і враховується джерело напруги E процеси описуються диференціальним рівнянням із

спеціальною правою частиною. Для другого режиму ключ закритий, із кола виключається вплив джерела напруги та в системі присутні лише власні коливальні аперіодичні процеси.

Рівняння стану системи для першого режиму роботи (1), (2) з відповідними початковими умовами (3), (4).

$$\begin{cases} R_1 C \frac{du_{con}}{dt} + u_{con} = E; \\ L \frac{di_{2on}}{dt} + R_2 i_{2on} = E, \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

де: u_{con} – напруга на ємності, i_{2on} – струм індуктора.

$$\begin{cases} u_{conN}(t=0) = u_{coffN-1}(t=t_{off}); \\ i_{2onN}(t=0) = i_{2onN-1}(t=t_{off}). \end{cases} \quad (3)$$

$$(4)$$

Як видно, початкові умови містять у собі значення функції попереднього режиму на момент комутації. Тому, усі невідомі, безперервні у часі функції, будуть мати вигляд суми окремих функцій які існують на виділених періодах часу. Пропускаючи класичне розв'язання даних рівнянь, запишемо функцію струму ключа VT1, для N -го комутуючого стану.

$$i_{\Sigma N}(t) = i_{2onN-1}(t=t_{off})e^{-\frac{t}{\tau_L}} + \frac{E}{R_2}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_L}}) + \frac{E}{R_1}e^{-\frac{t}{\tau_C}} - \frac{u_{coffN-1}(t=t_{off})e^{-\frac{t}{\tau_C}}}{R_1}. \quad (5)$$

Аналізуючи формулу (5), для побудови функції необхідно виконати розрахунок режиму роботи відповідного до схеми на рис.4б. Для цього розв'яжемо рівняння стану (6) з початковими умовами (7), (8).

$$\frac{d^2 u_{coffN}}{dt^2} + 2\beta \frac{du_{coffN}}{dt} + \omega_0^2 u_{coffN} = 0, \quad (6)$$

де $\beta = \frac{R_{12}}{2L}$ – декримент затухання; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – резонансна частота контуру.

$$u_{coffN}(t=0) = u_{conN}(t=t_{on}); \quad (7)$$

$$i_{2offN}(t=0) = i_{2onN}(t=t_{on}). \quad (8)$$

Не зважаючи на три можливі варіанти розв'язку диференційного рівняння, беремо найбільш характерний, для такого роду перетворювачів частоти, а саме, коли дотримується умова коливального режиму $R_{12} < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

У цьому випадку отримано наступне рішення рівняння:

$$\begin{aligned} i_{2offN}(t) = & -\beta C e^{-\beta t} \left(u_{conN}(t=t_{on}) \cos(\omega t) + \frac{i_{2onN}(t=t_{on}) + C\beta u_{conN}(t=t_{on})}{C\omega} \sin(\omega t) \right) + \\ & + \omega C e^{-\beta t} \left(\frac{i_{2onN}(t=t_{on}) + C\beta u_{conN}(t=t_{on})}{C\omega} \cos(\omega t) + U_{conN}(t=t_{on}) \sin(\omega t) \right), \end{aligned} \quad (9)$$

де $\omega = \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$ – власна частота.

Для підтвердження правильності обраних оптимальних умов роботи системи на частоті рівній власній LC - контуру, наведемо результати моделювання. Так на рис. 5–7 зображено часові форми струму індуктора – а) і струму ключа – б), для частоти, що дорівнює власній, та при її відхиленні на $\pm 20\%$.

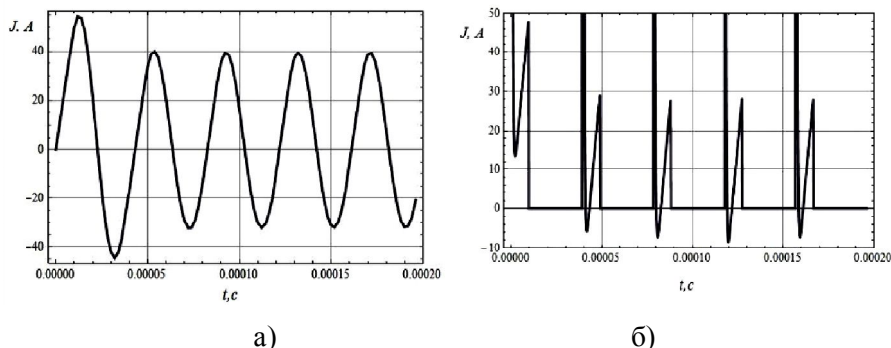


Рисунок 5 – Струми за резонансної частоти: а) струм індуктора; б) струм ключа

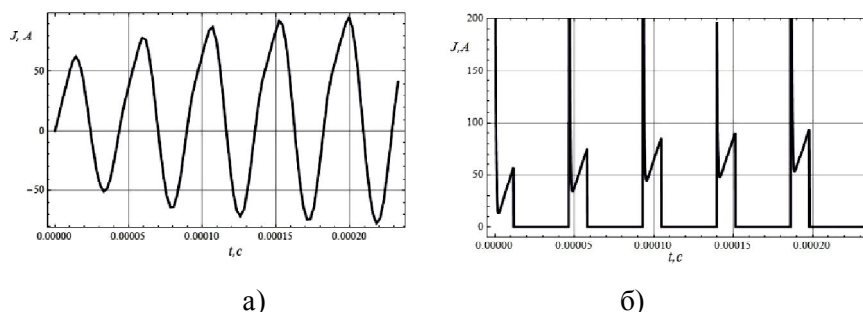


Рисунок 6 – Струми при відхиленні частоти на -20 % від резонансної частоти:
а) струм індуктора; б) струм ключа

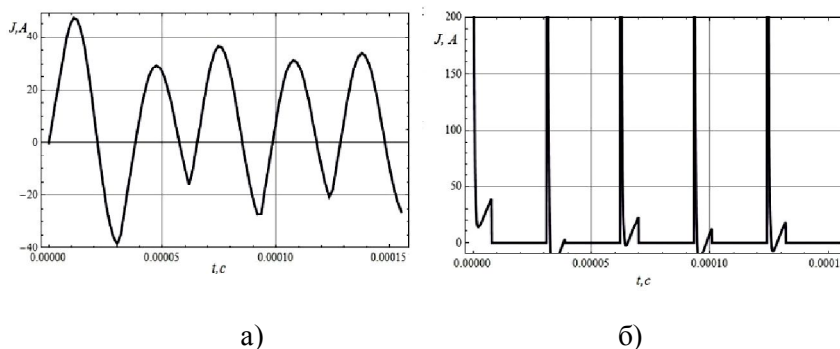


Рисунок 7 – Струми при відхиленні частоти на +20% від резонансної частоти:
а) струм індуктора; б) струм ключа

Аналізуючи отримані графічні залежності, можна зазначити, що відхилення від резонансу призводить до викривлення синусоїдальної форми струму індуктора та збільшує навантаження на ключ в момент комутації, через підвищення амплітуди струму.

Звичайно, за загальним розумінням, проблема, яка підіймається вище може бути вирішена за рахунок встановлення транзистора завідомо більшої потужності ніж необхідно. Однак, у сучасних умовах конкуренції ринку, такий підхід є необґрунтованим і не вигідним. Саме тому, оптимальність обраних параметрів роботи системи індукційного нагріву є ключовим, так як в основі має отримання економічної вигоди від розробки, виготовлення і впровадження даного пристрою.

Із точки зору розробки, описана схемна реалізація не потребує складних додаткових електронних вузлів окрім драйвера транзистора. Ще один позитивний ефект від такого рішення, це наявність режиму холостого ходу. У випадку, коли система запущена без навантаження, тобто генерується струм в індукторі, але сам індуктор не

виконує нагрів, потужність, що споживається із мережі мінімальна та за належного вибору резонансної частоти, може бути на рівні живлення інших не силових вузлів.

Блок регулятора потужності (рис. 2.) або основний регульований блок живлення силового кола забезпечує необхідний рівень вихідної потужності яка споживається резонансним колом і виділяється в об'єкті у вигляді тепла. Він може мати різні схемотехнічні реалізації, як фазний регулятор так і високочастотний BUCK-конвертор, що понижує. Основною його відмінністю є синхронізованість роботи з блоком системи курування, і можливість реалізації ним функції задатчика інтенсивності, результат роботи якого зображено на рис. 8.

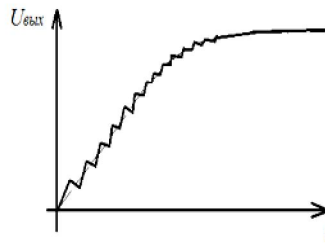


Рисунок 8 – Вихідна функція задатчика інтенсивності

Як відомо із практики, критичними режимами роботи силових схем можуть бути режими максимального вихідного навантаження або перехідні режим роботи (для запропонованої схеми момент перших комутацій транзистора), коли можлива поява короткочасних ударних струмів високої амплітуди, які виводять із ладу напівпровідникові елементи. Боротьба з останніми може полягати у встановленні більш потужних напівпровідників, що значно здорожує систему, проектуванні складних схемотехнічних рішень які б не шкодили якості роботи системи або, за можливості, нівелювати проблему програмних рішень. У нашому випадку, коли блок живлення синхронізовано із цифровим блоком керування, слушним рішенням буде програмування функції задатчика інтенсивності регулятора напруги. Як видно з рис. 8. таким способом можна досягти швидкого, але поступового виходу системи ІН на заданий рівень потужності виключаючи появу негативних імпульсних перехідних процесів.

На рис. 9 приведено зовнішній вид джерела змінної напруги для системи індукційного нагріву, що побудований за вище описаними принципами в Лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ [8].



Рисунок 9 – Зовнішній вид джерела змінної напруги

Проведені дослідження дозволяють сформулювати наступні **висновки**:

1. Розглянуто традиційне застосування індукційного нагріву.
2. Запропонована та докладно описана область альтернативного застосування систем індукційного нагріву в технологіях ремонту, таких як демонтаж різьбових з'єднань, знаття лакофарбового покриття, а також видалення неглибоких вм'ятин у металевих корпусних поверхнях.

3. Наведено огляд існуючої пропозиції установок індукційного нагріву.
4. Запропонована альтернативне схемне рішення для побудови складової системи індукційного нагріву – джерела змінної напруги високої частоти, що матиме мінімальну вартість за рахунок спрощення схеми і максимального використання його ресурсу.
5. Наведено короткий аналіз режиму роботи вузла перетворення частоти із зазначенням оптимальної умови роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Слухоцкий А. Е. Установки индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий – Л. : Ленинградское издание. Энергоиздат, 1981. – 330 с.
2. Богданов В. Н. Применение индукционного сквозного нагрева в промышленности / В. Н. Богданов, С. Е. Рыскин. – М.-Л. : Изд. «Машиностроение», 1965. – 96 с.
3. Вилиулина З. Проектирование тиристорного инверторно-индукторного закалочного комплекса с выходным трансформатором / З. Вилиулина, Ю. Зинин // Силовая Электроника. – 2007. – № 3. – С. 86-92.
4. Силкин Е. Преобразователь для индукционного нагрева концов заготовок под пластическую деформацию и объемно-поверхностной закали шлицевых валов / Е. Силкин // Силовая Электроника. – 2008. – № 3. – С. 126-130.
5. Белый И. В. Деформирование металлов импульсным электромагнитным полем с предварительным индукционным нагревом заготовок / И. В. Белый, Л. Д. Горкин, Л. Т. Хименко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1984. – № 7. – С. 6-8.
6. Батыгин Ю. В. Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский. – Х. : МОСТ-Торнадо, 2002. – Т. 2. – 288 с.
7. Induction innovations inc. MINI-DUCTORII [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: <http://www.theinductor.com>.
8. Лаборатория электромагнитных технологий [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: www.electromagnetic.comoj.com.

REFERENCES

1. Slukhockiyj A. E. Ustanovki indukcionnogo nagreva / A. E. Slukhockiyj – L. : Leningradskoe izdanie. Ehnergoizdat, 1981. – 330 s.
2. Bogdanov V. N. Primenenie indukcionnogo skvoznogo nagreva v promihshlennosti / V. N. Bogdanov, S. E. Rihskin. – M.-L. : Izd. «Mashinostroenie», 1965. – 96 s.
3. Viliulina Z. Proektirovanie tiristornogo invertorno-induktornogo zakalochnogo kompleksa s vihkhdnihm transformatorom / Z. Viliulina, Yu. Zinin // Silovaya Ehlektronika. – 2007. – № 3. – S. 86-92.
4. Silkin E. Preobrazovatelj dlya indukcionnogo nagreva koncov zagotovok pod plasticheskuyu deformaciju i objhemno-poverkhnostnoj zakalki shlicevihkh valov / E. Silkin // Silovaya Ehlektronika. – 2008. – № 3. – S. 126-130.
5. Belihyj I. V. Deformirovanie metallov impuljsnihm ehlektromagnitnihm polem s predvariteljnihm indukcionnihm nagrevom zagotovok / I. V. Belihyj, L. D. Gorkin, L. T. Khimenko // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1984. – № 7. – S. 6-8.
6. Batihgin Yu. V. Magnitno-impuljsnaya obrabotka tonkostennihkh metallov / Yu. V. Batihgin, V. I. Lavinskiyj. – Kh. : MOST-Tornado, 2002. – Т. 2. – 288 s. Induction innovations inc. MINI-DUCTORII [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: <http://www.theinductor.com>.
7. Laboratoriya ehlektromagnitnihkh tekhnologiyj [Ehlektronnihyj resurs] – 2015. – Rezhim dostupa: www.electromagnetic.comoj.com.

Гнатов А.В., Чаплыгин Е.А., Сабокар О.С. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА

Индукционный нагрев это физическое явление, основанное на генерации источника Джоуль-Ленцевой теплоты в металле объекта за счет токов Фуко. Последнее приводятся внешним переменным электромагнитным полем. Индукционный нагрев применяется во многих ремонтных технологиях, где необходимо выполнять быстрый локальный нагрев металлических объектов. С помощью установки индукционного нагрева можно ускорять демонтажные работы, при выполнении ремонтных операций. В статье приведен обзор существующего предложения установок индукционного нагрева. Раскрыто принцип альтернативного применения индукционного нагрева для выполнения различных задач технологий ремонта. Рассмотрено применение индукционного нагрева для удаления незначительных вмятин в металлических корпусных поверхностях, снятие лакокрасочного покрытия, а также облегчения демонтажа резьбовых соединений, которые подвергались значительному влиянию коррозии. Предложено альтернативное схемное решение для построения системы индукционного нагрева – источника переменного напряжения высокой частоты, который будет иметь минимальную стоимость за счет упрощения схемы и максимального использования его ресурса. Приведен краткий анализ режима работы узла преобразования частоты с указанием оптимальных условий работы. Проведено математическое моделирование тока, генерируемого предложенной установкой индукционного нагрева. Приведен источник переменного напряжения для системы индукционного нагрева, разработанный в Лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ.

Ключевые слова: индуктор-инструмент, преобразователь частоты, индукционный нагрев, ремонтные технологии.

Gnatov A.V., Chapligin E.O., Sabokar O.S. INDUCTION HEATING TECHNIQUE DECISION FOR REPAIR TECHNOLOGIES

Induction heating is a physique process based on Joule–Lenz heat sours generation in the objects metal by the Fuko currents. These currents are induced by external alternative electromagnetic field. Induction heating is applied in different repair technologies, where there is necessary to make quick and local heating of the metal objects. Through the induction heating power sours, it is possible to speed up dismantling operations at repair algorithms. In this article, existing induction heating plants were observed. The principle of the alternative induction heating using for various repairing technologies realization was explained. Induction heating using for insignificant dents in the metal corps surface straightening, lacquer and paints cover lays removing and threaded connections, that were effected by corrosion, dismantling were observed. The scheme decision for induction heating system high frequency sours production, with its minimal cost value by maximization resource using and installing main electric part, that had been simplified, was proposed. Brief working models analysis of the frequency inverting unit with following optimal working conditions determining was shown. In addition, there was made mathematical modeling of the generated current of the proposed induction heating plant. The high frequency source for induction heater that had been developed at the Electromagnetic technology laboratory of KhNAHU was shown.

Keywords: inductor-tools, frequency inverter, induction heating, repair technology.

© Гнатов А. В., Чаплигин Е. О., Сабокар О. С.

Статтю прийнято
до редакції 05.07.15

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ПРИВОД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

Ищенко И.М., Вороненко С.В., Данык В.В.

Херсонская государственная морская академия

На современных судах все более широкое применение находят электроэнергетические системы с валогенераторными установками, что обусловлено такими их достоинствами, как повышение экономичности и надежности судовых энергетических установок, снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии, уменьшение эксплуатационных затрат. При работе установки в качестве аварийного пропульсивного комплекса одна из электрических машин работает в двигательном режиме с постоянной частотой вращения. Вторая машина работает в генераторном режиме, обеспечивая регулирование частоты вращения выходного вала. Для правильного обоснования работы установки необходимо построение математической модели дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата. В статье рассмотрены системы уравнений синхронных генераторов, движения, полупроводниковых преобразователей, реактора, регуляторов напряжения, частоты и статической нагрузки для дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата. В результате исследования авторы пришли к выводу, что разработанная математическая модель может быть использована при разработке и исследовании судовых валогенераторных агрегатов с дифференциальными приводами при их работе как в режиме источника электроэнергии, так и в режиме аварийного пропульсивного комплекса.

Ключевые слова: валогенераторные установки, пропульсивный комплекс, дифференциальный синхронный привод-генераторный агрегат, математическая модель.

Актуальность исследований. На современных судах все более широкое применение находят электроэнергетические системы с валогенераторными установками (ВГУ), что обусловлено такими их достоинствами как повышение экономичности и надежности судовых энергетических установок (СЭУ), снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии, уменьшение эксплуатационных затрат и др. Кроме того, в настоящее время актуальным становится применение в качестве аварийного пропульсивного комплекса ВГУ, работающей в двигательном режиме [1, 2, 3]. В связи с этим определенным интерес представляет использование в качестве ВГУ дифференциально-планетарной генераторной установки, схема которой представлена на рис. 1.

В ходовом режиме судна стабилизация частоты переменного тока установки обеспечивается за счет стабилизации частоты вращения генератора СГ и соответствующего изменения частоты вращения электрической машины ГО (генератора опоры) в зависимости от частоты вращения главного двигателя (ГД).

При работе установки в качестве аварийного пропульсивного комплекса одна из электрических машин работает в двигательном режиме с постоянной частотой вращения (например, СГ). Вторая машина (ГО) работает в генераторном режиме, обеспечивая регулирование частоты вращения выходного вала.

Цель работы – построение математической модели дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата.

Актуальность исследований. В процессе разработки таких ВГУ необходимо проведение исследований по выбору типа электрических машин, определению их частот вращения, а также разработок преобразователя электрической энергии (В, I), систем управления, регулирования и защиты. Кроме того, необходимо проведение исследований данных систем в динамических режимах при различных условиях плавания судна. Такие исследования могут быть проведены с помощью математических моделей.

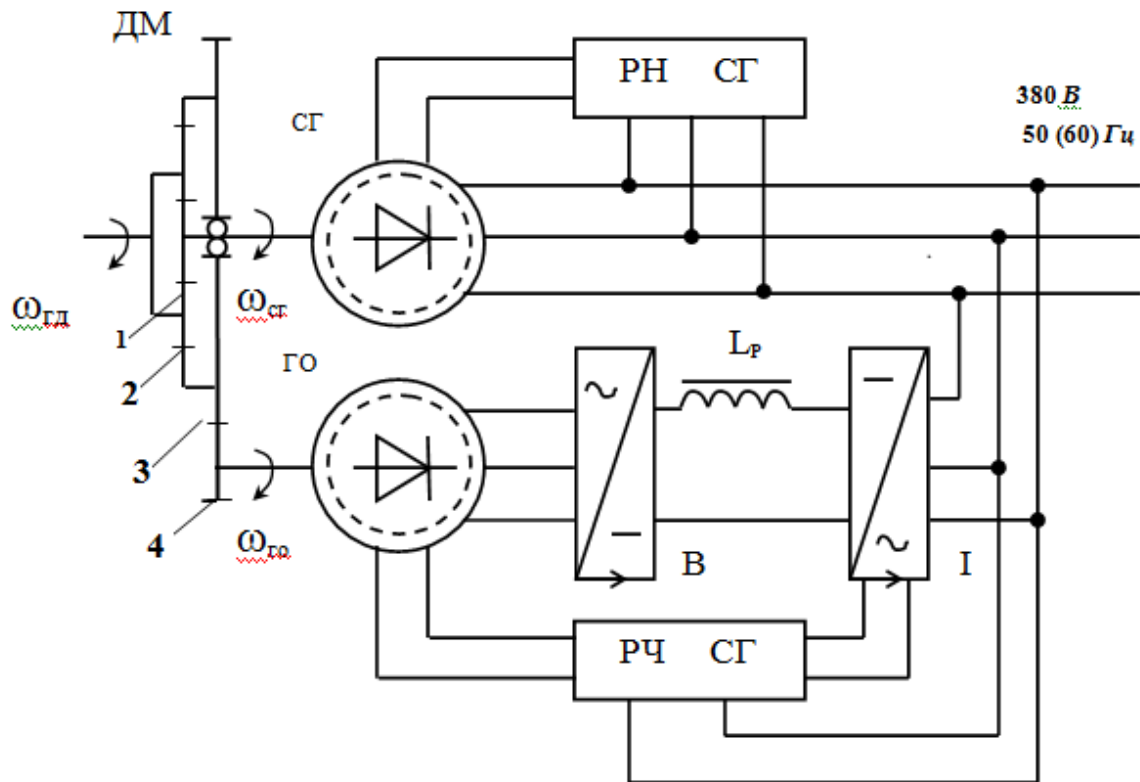


Рисунок 1 – Дифференциально-планетарная генераторная установка

Зная дифференциальные и алгебраические уравнения, описывающие процессы в отдельных элементах генераторного агрегата, составим общую систему уравнений, которой подчинено протекание переходных процессов агрегата. Данные переходные процессы определяются системой уравнений, которая включает в себя:

- уравнение синхронных генераторов – основного и генератора опоры;
- уравнение движения;
- уравнение полупроводниковых преобразователей;
- уравнение реактора (индуктивность, установленная для сглаживания постоянного тока на входе инвертора);
- уравнения регуляторов напряжения и частоты;
- уравнения статической нагрузки;
- уравнения связи.

При составлении данной системы уравнений считаем, что нагрузка на выходе генераторного агрегата статическая и симметричная. Так как длина цепей соединений между отдельными элементами агрегата незначительна, то их параметрами пренебрегаем. Кроме этого принимаем, что основной синхронный генератор и генератор опоры идентичны по конструкции, являются бесконтактными, а на выходе генератора опоры подключен неуправляемый выпрямитель.

Анализ записи дифференциальных уравнений для многомашинных систем показывает, что наиболее целесообразной формой является запись уравнений синхронных машин в осях d , q , θ , жестко связанных с соответствующим ротором каждой электрической машины [4].

Уравнения напряжений в осях $d, q, 0$:

$$\begin{cases} -u_d = r_d \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_s(1+s)\Psi_q; \\ -u_q = r_q \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_s(1+s)\Psi_d; \\ u_f = r_f \cdot i_f + \frac{d\Psi_f}{dt}; \\ 0 = r_{dk} \cdot i_{dk} + \frac{d\Psi_{dk}}{dt}; \\ 0 = r_{qk} \cdot i_{qk} + \frac{d\Psi_{qk}}{dt}. \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения потокосцеплений:

$$\begin{cases} \Psi_d = \frac{1}{\omega_s} (x_d \cdot i_d + x_{ad} \cdot i_f + x_{adk} \cdot i_{dk}); \\ \Psi_q = \frac{1}{\omega_s} (x_q \cdot i_q + x_{aqk} \cdot i_{qk}); \\ \Psi_f = \frac{1}{\omega_s} (x_{ad} \cdot i_d + x_f \cdot i_f + x_{adk} \cdot i_{dk}); \\ \Psi_{dk} = \frac{1}{\omega_{sk}} (x_{adk} \cdot i_{dk} + x_{adk} \cdot i_{fk} + x_{dk} \cdot i_{dk}); \\ \Psi_{qk} = \frac{1}{\omega_{sk}} (x_{aqk} \cdot i_{qk} + x_{qk} \cdot i_{qk}), \end{cases} \quad (2)$$

где u_d, u_q, u_f – напряжения генератора по осям $d, q, 0$ и напряжение возбуждения; i_d, i_q, i_f – токи генератора; $r_d, r_q, r_f, x_d, x_q, x_{adk}, x_{aqk}$ – активные и реактивные сопротивления обмоток генератора; $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_f, \Psi_{dk}, \Psi_{qk}$ – потокосцепления обмоток генератора; ω_s, ω_{sk} – угловая частота вращения ротора и поля.

Уравнения напряжений, токов и электромагнитного момента можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} U = \sqrt{0,5(u_d^2 + u_q^2)}; \\ I = \sqrt{0,5(i_d^2 + i_q^2)}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} P (\Psi_q \cdot i_d - \Psi_{dk} \cdot i_{qk}). \end{cases} \quad (3)$$

Уравнения возбудителя синхронного генератора:

$$\begin{cases} u_{BB} = r_{BB} \cdot i_{BB} + L_{BB} \cdot \frac{di_{BB}}{dt} \\ u_f = m_{uf} \cdot \frac{C_f}{k_u} \cdot i_{BB} \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение движения запишем для случая постоянной частоты вращения входного вала:

$$\begin{cases} I_{пр} \frac{d\Omega_1}{dt} = \frac{1}{i_2} M_{эм2} - M_{эм1} \\ \Omega_1 = \frac{\omega_1}{P_1}. \end{cases} \quad (5)$$

Уравнение реактора:

$$U_{\text{вых вы}} = U_{\text{вхиу}} + r_p I_{\text{вхиу}} + L_p \frac{dI_{\text{вхиу}}}{dt}, \quad (6)$$

где $U_{\text{вых вы}}$, $U_{\text{вхиу}}$, $I_{\text{вхиу}}$ – соответственно напряжение на выходе выпрямителя генератора опоры, напряжение и ток на выходе зависимого инвертора со стороны постоянного тока; r_p , L_p – активное сопротивление и индуктивность реактора.

Уравнения связи получим на основании анализа совместной работы синхронного генератора и зависимого инвертора. Составляющие токов синхронного генератора, нагрузки и зависимого инвертора равны:

$$\begin{cases} i_{d\text{сг}} = i_{d\text{н}} + i_{d\text{иу}}; \\ i_{q\text{сг}} = i_{q\text{н}} + i_{q\text{иу}}. \end{cases} \quad (7)$$

В свою очередь:

$$\begin{cases} i_{d\text{иу}} = \sqrt{2} I_{\text{иу}} \sin(180^\circ - \varphi_{\text{иу}} - \theta); \\ i_{q\text{иу}} = \sqrt{2} I_{\text{иу}} \cos(180^\circ - \varphi_{\text{иу}} - \theta). \end{cases} \quad (8)$$

Первая гармоническая тока инвертора со стороны переменного тока определяется как:

$$I_{\text{иу}} = \frac{3U_{\text{сг}}}{2\pi x_j} \sqrt{\sin^2 \gamma - 2\gamma \sin \gamma \cos(2\beta - \gamma) + \gamma^2}. \quad (9)$$

Соответственно угол сдвига инвертора и углы генератора определяем как:

$$\theta = \arctg \frac{u_d}{u_q}; \Psi = \arctg \frac{id}{iq}; \varphi = \Psi - \theta; \quad (10)$$

$$\varphi_{\text{иу}} = \arctg \frac{\gamma - \cos(2\beta - \gamma) \sin \gamma}{\sin(2\beta - \gamma) \sin \gamma}; \quad (11)$$

$$\gamma = \beta - \arccos(\cos \beta + \frac{2x_\gamma I_{\text{вхиу}}}{\sqrt{6} U_{\text{сг}}}) \text{ при } \beta \leq 60^\circ \quad (12)$$

или $\gamma = 60^\circ - \delta$, тогда

$$\delta = 60^\circ - \beta + \arccos(\cos \beta + \frac{2x_\gamma I_{\text{вхиу}}}{\sqrt{6} U_{\text{сг}}}) \text{ при } 60^\circ \leq \beta \leq 90^\circ. \quad (13)$$

Решая уравнения (1–13) находим выражение для выходного тока зависимого инвертора:

$$\frac{dI_{\text{вхиу}}}{dt} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot \frac{U_2 - U_1 \cos \beta}{L_p} - I_{\text{вхиу}} \frac{\frac{3}{\pi}(x_\gamma + x_{\text{го}}) + r_p}{L_p}.$$

Приведенные уравнения, дополненные уравнениями нагрузки, регуляторов частоты и напряжения представляют собой математическую модель дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата.

В качестве регулятора напряжения в агрегате целесообразно применить транзисторный регулятор. Транзисторные регуляторы напряжения в настоящее время широко используются в различных системах генерирования электроэнергии переменного и постоянного тока. Транзисторы их исполнительного органа работают в режиме ключа, что позволяет коммутировать относительно большие токи в цепях управления.

Как элементы систем регулирования напряжения транзисторные регуляторы обладают существенно меньшим запаздыванием по сравнению с инерционностью генераторов и по своим динамическим свойствам могут быть отнесены к усилительным

звеньям. В связи с этим, уравнение транзисторного регулятора напряжения обычно представляют в виде:

$$u_B = -k_p \cdot u, \quad (14)$$

где k_p – коэффициент усиления регулятора.

Так как регулирование (стабилизация) частоты переменного тока агрегата обеспечивается соответствующим изменением тока возбуждения генератора опоры, то в качестве регулятора частоты целесообразно использовать регулятор, аналогичный регулятору напряжения. Измерительным элементом в таком регуляторе может быть применен датчик частоты, основанный на использовании резонанса напряжений или на основе логических элементов.

Регулятор частоты с датчиком на основе логических элементов может быть представлен как усилительное звено:

$$u_{B_{ГО}} = k_f \cdot v, \quad (15)$$

где $u_{B_{ГО}}$ – направление возбуждения генератора опоры; k_f – коэффициент усиления регулятора частоты; $v = \frac{\Delta f}{f}$ – относительное изменение частоты переменного тока агрегата.

Токи нагрузки агрегата и инвертора в осях d , q основного генератора определяются уравнениями:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \arctg \frac{u_{d1}}{u_{q1}}; \\ i_{d1н} &= \sqrt{2} I_n \sin(\varphi_n + \theta_1); \\ i_{q1н} &= \sqrt{2} I_n \cos(\varphi_n + \theta_1); \\ i_{qi} &= i_{q1н} - i_{q1}; \\ i_{di} &= i_{d1н} - i_{d1}, \end{aligned}$$

где θ_1 – угол мощности синхронного генератора; φ_n – угол сдвига между напряжением и током нагрузки; I_n – ток нагрузки агрегата; $i_{d1н}$ и $i_{q1н}$ – токи нагрузки по продольной и поперечным осям генератора; u_{d1} и u_{q1} – напряжения генератора по продольной и поперечной осям; i_{di} и i_{qi} – токи нагрузки по продольной и поперечной осям.

Вывод. Разработанная математическая модель дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата может быть использована при разработке и исследовании судовых валогенераторных агрегатов с дифференциальными приводами при их работе как в режиме источника электроэнергии, так и в режиме аварийного пропульсивного комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А. В. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки / А. В. Григорьев, В. А. Петухов. – С-Пб. : ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – 176 с.
2. Красношадка М. М. Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты / М. М. Красношадка. – М. : Техніка, 1974. – 168 с.
3. Марголин Ш. М. Дифференциальный электропривод / Ш. М. Марголин. – М. : Энергия, 1975. – 168 с.
4. Веретенников Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах / Л. П. Веретенников. – Л. : Судостроение, 1975. – 375 с.
5. Осин И. Л. Электрические машины / И. Л. Осин, Ю. Г. Шакарян. – М. : Высш. шк., 1990. – 304 с.

6. Плахтына Е. Г. Математическое моделирование электромашино-вентильных систем / Е. Г. Плахтына. – Львов : Вища шк., 1986. – 164 с.

REFERENCES

1. Grigorjev A. V. Sovremennije i perspektivnye sudovije valogeneratorniye ustanovki / A. V. Grigorjev, V. A. Petukhov. – S-Pb. : GMA im. adm. S.O. Makarova, 2009. – 176 s.
2. Krasnoshapka M. M. Generatorih peremennogo toka stabilnoy i reguliruemoy chastotih / M. M. Krasnoshapka. – M. : Tekhnika, 1974. – 168 s.
3. Margolin Sh. M. Differentsialnyy ehlektroprivod / Sh. M. Margolin. – M. : Ehnergiya, 1975. – 168 s.
4. Veretennikov L. P. Issledovanie processov v sudovikh ehlektroehnergeticheskikh sistemakh / L. P. Veretennikov. – L. : Sudostroenie, 1975. – 375 s.
5. Osin I. L. Ehlektricheskie mashin / I. L. Osin, Yu. G. Shakaryan. – M. : Vihssh. shk., 1990. – 304 s.
6. Plakhtihna E. G. Matematicheskoe modelirovanie ehlektromashinno-ventilnykh sistem / E. G. Plakhtihna. – L'vov : Visha shk., 1986. – 164 s.

Іщенко І.М., Вороненко С.В., Даник В.В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ПРИВІД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ

На сучасних судах все більш широко застосування знаходять електроенергетичні системи з валогенераторними установками, що обумовлено такими їх перевагами, як підвищення економічності та надійності суднових енергетичних установок, зниження собівартості виробленої електроенергії, зменшення експлуатаційних витрат. При роботі установки в якості аварійного пропульсивного комплексу одна з електричних машин працює в руховому режимі з постійною частотою обертання. Друга машина працює в генераторному режимі, забезпечуючи регулювання частоти обертання вихідного вала. Для правильного обґрунтування роботи установки необхідно побудова математичної моделі диференціального синхронного привід-генераторного агрегату. У статті розглянуті системи рівнянь синхронних генераторів, руху, напівпровідникових перетворювачів, реактора, регуляторів напруги, частоти і статичного навантаження для диференціального синхронного привід-генераторного агрегату. У результаті дослідження автори прийшли до висновку, що розроблена математична модель може бути використана при розробці і дослідженні суднових валогенераторних агрегатів з диференціальними приводами при їх роботі як в режимі джерела електроенергії, так і в режимі аварійного пропульсивного комплексу.

Ключові слова: валогенераторні установки, пропульсивний комплекс, диференціальний синхронний привід-генераторний агрегат, математична модель.

Ishchenko I.M., Voronenko S.V., Danyk V.V. A MATHEMATICAL MODEL OF A DIFFERENTIAL-DRIVE SYNCHRONOUS GENERATOR SET

In today's courts increasingly are widely used electric power systems with valogeneratornyh installations, due to their advantages such as increased efficiency and reliability of ship power plants, reducing the cost of generated electricity, reducing operating costs. When operating the installation in an emergency propulsion system, one of the electrical machines operates in the motor mode at a constant speed. The second machine is working as a generator, providing regulation of the output shaft speed. The proper study of the plant is necessary to construct a mathematical model of a differential-drive synchronous generator set. The article describes a system of synchronous generators equations of motion, semiconductor converters, reactor, voltage regulators, frequency and static load for a differential-drive synchronous generator set. The study authors have concluded that the developed mathematical model can be used in the development and study of marine valogeneratornyh units with differential drives with their work in the electric power source mode or in an emergency propulsion system mode.

Keywords: valogeneratornye installation, propulsion systems, differential-drive synchronous generator machine, mathematical model.

© Іщенко І. М., Вороненко С. В., Даник В. В.

Статтю прийнято
до редакції 20.08.15

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВМІСТУ ТВЕРДНИКІВ У ПОЛІЕФІРНОМУ ЗВ'ЯЗУВАЧІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Кобельник О.С.

Херсонська державна морська академія

Проаналізовано адгезійні властивості та залишкові напруження у композитних матеріалах на основі поліефірної смоли марки Norsodyne O 12335 AL при додаванні різних за природою твердників. Встановлено, що максимальною взаємодією серед досліджуваних компонентів відрізняються твердники Акргох А50 та Вутапох-М50. Досліджено вміст даних твердників у поліефірній смолі Norsodyne O 12335 AL при зміні їх концентрації у діапазоні $q = 40 \dots 60$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. поліефірної смоли. Встановлено, що максимальні показники адгезійної міцності має матеріал із додаванням $q = 1,0$ мас.ч. твердника Вутапох-М50. Додатково досліджено властивості матеріалів при введенні кобальтового прискорювача за різного вмісту до визначеного складу поліефірного зв'язувача. Розроблено матрицю на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, яка містить твердник Вутапох-М50 у кількості $q = 1,0$ мас.ч та кобальтовий прискорювач у кількості $q = 0,10$ мас.ч. Матриця відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,5$ МПа.

Ключові слова: композит, поліефірна смола, полімер, твердник, адгезійні властивості.

Постановка проблеми. На сьогодні конструкційні матеріали, у тому числі на полімерній основі, широко використовують у різних галузях промисловості [1, 2]. При цьому відомий достатньо широкий спектр полімерних матеріалів різного функціонального призначення, зокрема на основі епоксидних і поліефірних смол, із яких формують композити з підвищеними експлуатаційними характеристиками [2, 3]. Використання багатокомпонентних поліефірних матеріалів зумовлено доступністю сировинної бази, відносно невисокою собівартістю їх компонентів, простих умов формування. Водночас, дані матеріали можливо формувати з наперед заданими та прогнозованими властивостями за рахунок використання різних технологій формування, введення наповнювачів, пластифікаторів, прискорювачів і твердників різної фізичної природи. Розвиток сучасного полімерного матеріалознавства висуває достатньо високі вимоги щодо комплексу властивостей матеріалів [4, 5]. Тому проблема створення полімерних матеріалів з необхідним комплексом експлуатаційних характеристик є актуальною та перспективною на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні широко й ефективно використовують композитні матеріали (КМ) на основі епоксидіанової смоли ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78) [3-4]. Однак, відомо [3-6], що існує широкий спектр поліефірних смол різного призначення, які відрізняються швидкістю полімеризації, фізико-хімічними процесами міжфазової взаємодії і, відповідно, адгезійними та когезійними властивостями. Серед них перспективним є використання литтєвої поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, однак її властивості та процеси взаємодії з твердниками досліджено ще не достатньо. Водночас використання такого олігомеру дозволить створити полімерну матрицю із заданими властивостями для покриттів різного функціонального призначення, а також композиції для виготовлення виробів, які працюють у критичних умовах під впливом знакозмінних температур і знакозмінних навантажень. Тому актуальним і перспективним є дослідження взаємодії даного поліефірного зв'язувача із твердниками різної природи та призначення, встановити оптимальний їх вміст для формування матеріалів на їх основі різного функціонального призначення. У цьому напрямку актуальними є дослідження таких вчених, як Букетов А. В. [3, 4], Сапронов О. О. [3, 4], Тхір І. Г. [5], Браїло М. В. [3, 6].

Мета роботи – визначити оптимальний вміст твердників у поліефірному зв'язувачі для створення матеріалів із поліпшеними адгезійними властивостями.

Матеріали та методика дослідження. Із метою формування матриці для КМ з підвищеними адгезійними властивостями використовували наступні інгредієнти.

1. Як основний компонент для зв'язувача вибрано ортофталеву насичену передприскорену литтєву поліефірну смолу Norsodyne O 12335 AL.
2. Твердник холодного тверднення поліетиленполіамін (ПЕПА).
3. Модифікований аміноаддуктовий твердник на основі аліфатичного поліаміну марки Telalit 410.
4. Твердник гарячого тверднення ізо-метилтетрагідрофталевий ангідрид (ІЗО-МТГФА).
5. Твердник для поліефірних смол Akperox A50 – суміш пероксиду метилетилкетону в диметилфталаті.
6. Твердник для поліефірних смол Butanox-M50, що є перекисом метилетилетилкетону (МЕКП).
7. Кобальтовий прискорювач (6%-ний розчин октоату кобальту в толуолі) (КБП) – використовується як каталізатор під час процесу полімеризації ненасичених поліефірних смол. При додаванні прискорювача прогнозовано керують тривалістю циклу сополімеризації поліефірної смоли [5].

Із метою вивчення взаємодії поліефірної смоли з твердниками різної природи та встановлення їх оптимального співвідношення у матриці досліджували адгезійну міцність при відриві та зсуві і залишкові напруження матеріалів різного вмісту компонентів зв'язувача.

Адгезійну міцність КМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження при рівномірному відриві пари склеєних зразків («метод грибків»), згідно з ГОСТ 14760-69. Дослідження адгезійної міцності при зсуві проводили згідно з ГОСТ 14759-69, аналогічно вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталних зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталних зразків при відриві становив – $d = 25$ мм. Слід зазначити, що площа склеювання зразків, які досліджували при відриві та зсуві, була однаковою.

Залишкові напруження у матеріалах визначали консольним методом. Покриття з товщиною $\delta = 0,1 \dots 0,3$ мм формували на сталній основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм, робоча довжина – $l_0 = 80$ мм, товщина – $\delta = 0,3$ мм.

Затверджували матеріали за експериментальним встановленим режимом: формування зразків та їх витримування впродовж часу $t = 12,0 \pm 0,1$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримування зразків при даній температурі впродовж часу $t = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $t = 24$ год на повітрі за температури $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Результати досліджень та їх обговорення. На початковому етапі досліджували адгезійну міцність та залишкові напруження матеріалів на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшиті твердниками різної природи. Використовували твердники, які призначені, як для поліефірних, так і для епоксидних смол, позаяк зазначені олігомери містять подібні функціональні групи. Вміст твердників у поліефірній смолі вибрано відповідно до рекомендацій фірм-виробників та на основі результатів дослідження їх взаємодії з іншими олігомерами [6, 7]. Результати дослідження властивостей матеріалів за різного вмісту вибраних твердників наведено у табл. 1. Вміст твердників розраховано на $q = 100$ мас.ч. поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL (тут і надалі вміст інгредієнтів вказано на 100 мас.ч. поліефірної смоли).

Таблиця 1 – Властивості матриці на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердниками різної природи

Показ- ник	Твердники					
	ПЕПА, $q = 10$ мас.ч.	Telalit 410 $q = 10$ мас.ч.	ІЗО МТГФА $q = 10$ мас.ч.	ІЗО МТГФА $q = 20$ мас.ч.	Akperox A50 $q = 2$ мас.ч.	Butanox- M50 $q = 2$ мас.ч.
σ_a , МПа	2,9	0,3	1,2	0,8	6,1	6,7
τ , МПа	1,2	0,1	0,6	0,2	2,1	2,3
σ_z , МПа	1,0	0,2	0,9	0,8	1,1	0,9

Згідно результатів дослідження встановлено, що максимальними показниками адгезійної міцності та мінімальними показниками залишкових напружень серед усього спектру випробовуваних матеріалів характеризується матриця з твердниками Акперох А50 ($\sigma_a = 6,1$ МПа, $\tau = 2,1$ МПа, $\sigma_z = 1,1$ МПа) та Butanox-M50 ($\sigma_a = 6,7$ МПа, $\tau = 2,3$ МПа, $\sigma_z = 0,9$ МПа) при їх вмісті у поліефірній смолі $q = 2$ мас.ч. (дану концентрацію обрано відповідно рекомендацій фірм-виробників). Отримані результати дослідження доводять, що у дані твердники активізують молекулярну взаємодію та процеси зшивання поліефірних смол із наступним формуванням тривимірної сітки полімеру. Водночас, цікавим є те, що вступають у взаємодію з поліефірною смолою і твердники, які призначені для епоксидних олігомерів. Зокрема, показники адгезійної міцності при відриві композиту, зшитого твердником ПЕПА за вмісту $q = 10$ мас.ч., становлять – $\sigma_a = 2,9$ МПа, при зсуві – $\tau = 1,2$ МПа, а залишкові напруження становлять $\sigma_z = 1,0$ МПа. Опосередковано це свідчить про те, що твердник ПЕПА у своєму хімічному складі має групи молекул, які вступають у реакцію із хімічними компонентами поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL. Додатково слід зазначити, що зшивання матриці твердниками Telalit 410 та ІЗО МТГФА, які призначені для полімеризації епоксидних смол, не забезпечило отримання матеріалів з поліпшеними властивостями, позаяк показники досліджуваних характеристик були наступними: $\sigma_a = 0,3 \dots 1,2$ МПа, при зсуві – $\tau = 0,1 \dots 0,6$ МПа, а залишкові напруження становлять $\sigma_z = 0,2 \dots 0,9$ МПа.

Отже, необхідно відмітити, що для наступних досліджень слід використовувати матриці на основі поліефірної смоли, зшитих твердниками Акперох А50 та Butanox-M50. Властивості таких матриць є найкращими серед досліджуваних матеріалів. Водночас слід зауважити, що показники досліджуваних властивостей є не достатньо високими, тому на наступному етапі досліджували властивості матеріалів за різного вмісту даних компонентів. Концентрацію змінювали у діапазоні $q = 1 \dots 12$ мас.ч. твердника на $q = 100$ мас.ч. поліефірного олігомеру Norsodyne O 12335 AL. Результати дослідження наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Властивості матриць за різного вмісту твердників Butanox-M50 і Акперох А50 у поліефірному зв'язувачі

Вміст твердника у матриці, q , мас.ч.	σ_a , МПа		τ , МПа		σ_z , МПа	
	I	II	I	II	I	II
1	7,3	6,3	2,5	2,2	0,8	1,1
2	6,8	6,1	2,3	2,1	0,9	1,1
3	5,8	4,3	2,2	2,0	1,0	1,2
5	5,5	4,1	1,9	1,7	1,2	1,3
8	3,0	3,5	1,8	1,6	1,2	1,4
12	1,8	3,0	1,7	1,4	1,3	1,5

Примітка: I – матеріал на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердником Butanox-M50; II – матеріал на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердником Акперох А50

Експериментально встановлено, що збільшення вмісту твердників у поліефірному зв'язувачі призводить до зниження показників адгезійної властивості матеріалу та підвищення залишкових напружень. Очевидно, що надлишок твердника призводить до його хаотичного розподілення між молекулами олігомеру, внаслідок чого зшивання матеріалу відбувається не достатньо. Максимальними показниками ($\sigma_a = 7,3$ МПа, $\tau = 2,5$ МПа, $\sigma_z = 0,8$ МПа) відзначається матриця, зшита твердником Butanox-M50 за вмісту останнього $q = 1,0$ мас.ч. Водночас, слід зазначити, що показники властивостей матриці, зшитої твердником Акперох А50 за такого ж вмісту є дещо меншими і становлять: $\sigma_a = 6,3$ МПа, $\tau = 2,2$ МПа, $\sigma_z = 1,1$ МПа. Необхідно звернути увагу, що адгезійні властивості матеріалів, зшитих твердниками Акперох А50 та Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч. та $q = 2,0$ мас.ч., відрізняються несуттєво. Це підтверджує рекомендації фірми-виробника, у яких зазначено, що оптимальний вміст твердників у поліефірній смолі становить $q = 1,0 \dots 10,0$ мас.ч. Отже, на основі результатів дослідження доведено, що максимальними показниками адгезійної міцності відзначається матеріал, зшитий твердником Butanox-M50. Тому, на наступному етапі дослідження доцільно використовувати матеріал із зазначеними концентраціями компонентів: поліефірний олігомер – $q = 100$ мас.ч., твердник Butanox-M50 – $q = 1,0$ мас.ч. або $q = 2,0$ мас.ч.

Загальновідомо [2, 5], що для підвищення реакції полімеризації поліефірних смол та отримання заданих властивостей, у зв'язувач вводять кобальтові прискорювачі. Нами вибрано для активації процесів фізико-хімічної взаємодії розробленої матриці кобальтовий прискорювач – 6 %-ний розчин октоату кобальту в толуолі. Виходячи з цього, на наступному етапі досліджували вплив вмісту прискорювача в поліефірній смолі, за визначеного попередньо вмісту твердника Butanox-M50, на властивості матриці. Рекомендований вміст даного прискорювача фірмами-виробниками становить $q = 0,10$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. олігомеру. Результати дослідження наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Властивості поліефірних матриць за різного вмісту твердника Butanox-M50 та кобальтового прискорювача

<i>Вміст твердника Butanox-M50 у матриці, q, мас.ч.</i>	<i>Вміст прискорювача, q, мас.ч.</i>	<i>σ_a, МПа</i>	<i>τ, МПа</i>	<i>σ_z, МПа</i>
1,0	0,01	13,8	4,7	1,9
	0,04	14,0	4,8	1,8
	0,06	14,2	5,2	1,8
	0,10	19,8	6,4	1,5
2,0	0,02	7,3	2,5	1,6
	0,08	11,4	3,9	1,5
	0,12	6,8	2,4	1,6
	0,20	6,5	2,4	1,7

Експериментально доведено, що введення прискорювача у поліефірний зв'язувач приводить до підвищення показників адгезійної міцності та зниження залишкових напружень у полімерній матриці. Крім того, максимальні значення показників досліджуваних властивостей встановлено за вмісту твердника Butanox-M50 $q = 1,0$ мас.ч. Очевидно, що молекули твердника забезпечують процеси фізико-хімічної взаємодії та зшивання зв'язувача, а прискорювач пришвидшує перебіг даних процесів. Однак, надмірна кількість згаданих вище інгредієнтів зумовлює формування матриці зі значним вмістом золь-фракції, що, у свою, чергу, призводить до погіршення її адгезійних властивостей. Наведеними вище припущеннями можна, на наш, погляд, пояснити погіршення властивостей матриці, що містить твердник Butanox-M50 ($q = 2,0$ мас.ч.) і прискорювач КбП ($q = 0,02 \dots 0,20$ мас.ч.) порівняно з властивостями матриці, яка містить твердник Butanox-M50 ($q = 1,0$ мас.ч.) і прискорювач КбП ($q = 0,01 \dots 0,10$ мас.ч.).

Аналіз результатів дослідження адгезійної міцності модифікованої поліефірної матриці, зшитої твердником Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч. із додаванням кобальтового прискорювача у кількості $q = 0,01 \dots 0,10$ мас.ч., дозволяє стверджувати, що

максимальними показниками відзначається матеріал за вмісту КБП – $q = 0,10$ мас.ч. Матеріал характеризується наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,5$ МПа. Опоередковано це свідчить про те, що пришвидшення процесу полімеризації за даного вмісту кобальтового прискорювача приводить до формування тривимірної сітки полімеру з максимальною кількістю рівномірно розподілених у об'ємі системи фізичних і хімічних зв'язків.

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень можна констатувати наступне:

1. Експериментально встановлено, що максимальною взаємодією з поліефірною смолою Norsodyne O 12335 AL серед досліджуваних компонентів відрізняються твердники Акперох А50 та Butanox-M50 за вмісту $q = 2$ мас.ч. на 100 мас.ч. поліефірної смоли. При зшиванні поліефірної смоли твердником Акперох А50 формується матеріал із наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві $\sigma_a = 6,1$ МПа, при зсуві – $\tau = 2,1$ МПа, залишкові напруження $\sigma_z = 1,1$ МПа. При зшиванні поліефірної смоли твердником Butanox-M50 формується матриця з наступними властивостями: $\sigma_a = 6,7$ МПа, $\tau = 2,3$ МПа, $\sigma_z = 0,9$ МПа.

2. При дослідженні вмісту твердників Акперох А50 та Butanox-M50 у поліефірній смолі на властивості матриці встановлено, що максимальними показниками адгезійної міцності характеризується матеріал із твердником Butanox-M50 за концентрації $q = 1,0$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру Norsodyne O 12335 AL. При цьому адгезійна міцність матриці при відриві становить $\sigma_a = 7,3$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 2,5$ МПа, а залишкові напруження – $\sigma_z = 0,8$ МПа.

3. Доведено, що при формуванні матриці з поліпшеними адгезійними властивостями у поліефірний зв'язувач Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ мас.ч.), зшитий твердником Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч., слід вводити кобальтовий прискорювач у кількості $q = 0,10$ мас.ч. Розроблений матеріал характеризується наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,5$ МПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.; под ред. Берлина А. А. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
3. Buketov A. V. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo, V. L. Aleksenko // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – P.696-701.
4. Buketov A. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo // Strength of Materials. – Vol. 46, N 5. – 2014. – P. 717-723.
5. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький – Львів : вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
6. Браїло М. В. Дослідження впливу вмісту твердника і температури зшивання на властивості епоксидних зв'язувачі / М. В. Браїло // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2013. – № 2 (65) – С. 3-12.
7. Букетов А. В. Епоксидні наноккомпозити : монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2015. – 184 с.

REFERENCES

1. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.
2. Polimerniye kompozicionniye materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie / Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. i dr.; pod red. Berlina A. A. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 s.
3. Buketov A. V. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo, V. L. Aleksenko // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – P.696-701.
4. Buketov A. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, M. V. Brailo // Strength of Materials. – Vol. 46, N 5. – 2014. – P. 717-723.
5. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiy – Ljviv : vid. nac. univer. «Ljvivjska politehnika», 2005. – 240 s.
6. Brailo M. V. Doslidzhennya vplivu vmistu tverdnika i temperaturi zshivannya na vlastivosti epoksidnih zv'yazuvachi / M. V. Brailo // Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. Seriya : Tekhnichni nauki. – 2013. – № 2 (65) – S. 3-12.
7. Buketov A. V. Epoksidni nanokompoziti : monografiya / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, V. L. Aleksenko. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2015. – 184 s.

Кобельник О.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ОТВЕРДИТЕЛЯ В ПОЛИЭФИРНОМ СВЯЗУЮЩЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛА С ПОВЫШЕННЫМИ АДГЕЗИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Проанализированы адгезионные свойства и остаточные напряжения в композиционных материалах на основе полиэфирной смолы марки Norsodyne O 12335 AL при добавлении к ней отвердителей различных по природе. Установлено, что максимальными показателями адгезионных свойств среди исследуемых матриц отличаются материалы, сшитые отвердителями Akperox A50 и Butanox-M50. Исследовано влияние содержания данных отвердителей в полиэфирной смоле Norsodyne O 12335 AL при изменении их концентрации в диапазоне $q = 40...60$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. смолы. Установлено, что максимальными показателями адгезионной прочности имеет материал с добавлением отвердителя Butanox-M50 в количестве $q = 1,0$ мас.ч. Дополнительно исследованы свойства данной матрицы при добавлении кобальтового ускорителя. При этом разработана матрица на основе полиэфирной смолы Norsodyne O 12335 AL, сшитая отвердителем Butanox-M50 в количестве $q = 1,0$ мас.ч. и кобальтового ускорителя при содержании $q = 0,10$ мас.ч. Матрица отличается следующими свойствами: адгезионная прочность при отрыве – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезионная прочность при сдвиге – $\tau = 6,4$ МПа, остаточные напряжения – $\sigma_s = 1,5$ МПа.

Ключевые слова: композит, полиэфирная смола, полимер, отвердитель, адгезионные свойства.

Kobelnik O.S. DEFINITIONS OPTIMAL CONTENT OF HARDENER IN POLYESTER BINDERS TO CREATE STORIES WITH HIGH ADHESION PROPERTIES

Analyzed adhesive properties and residual stresses in composite materials based on brand Norsodyne O AL 12335 polyester resin adding different hardeners to it in nature. It was found that the adhesive properties maksimalnyny rates among the studied matrices are different materials stitched hardeners Akperox A50 and Butanox-M50. The influence of the content of these hardeners in polyester resin Norsodyne O 12335 AL changing their concentrations in the range of $q = 40...60$ parts by weight on $q = 100$ parts by weight of resin. It is found that the highest rates of adhesive strength with the addition of a material Butanox-M50 hardener in an amount of $q = 1,0$ parts. Additionally, we investigate the properties of the matrix by adding cobalt accelerator. When this matrix is designed based on polyester resin Norsodyne O 12335 AL, crosslinked Butanox-M50 hardener in an amount of $q = 1,0$ parts and when the content of cobalt accelerator $q = 0,10$ parts. The matrix has the following properties: adhesion strength in the separation – $\sigma_a = 19,8$ MPa, the adhesive shear strength – $\tau = 6,4$ MPa, residual stresses – $\sigma_s = 1,5$ MPa.

Keywords: composite polyester resin, resin, curing agent, adhesive properties.

© Кобельник О. С.

Статтю прийнято
до редакції 05.010.15

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ УЗЛАХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЕТОМ МАКРО- И МИКРОКОНЦЕНТРАЦИИ

Коростылёв Л.И., Литвиненко Д.Ю.

*Национальный университет кораблестроения
имени адмирала С.О. Макарова, г. Николаев*

Исследована возможность расчета теоретического коэффициента концентрации напряжений в сварных тонкостенных конструкциях судового корпуса производением макро- и микроконцентрации напряжений на примерах узла пересечения поясков равновысоких балок и крестообразного соединения. На базе полученных результатов выработаны практические рекомендации по расчету коэффициента концентрации напряжений в сварных узлах, указанным производением. Выполнен сравнительный анализ вариантов приближенных формул для расчета коэффициента концентрации напряжений, обусловленного наличием сварного шва.

Ключевые слова: *сварной узел, коэффициент концентрации напряжений, сварной шов, метод конечных элементов.*

Постановка проблемы. Расчет теоретического коэффициента концентрации напряжений сварного соединения в конструкции судового корпуса является одним из этапов анализа его усталостной прочности, в зависимости от используемого метода, как, например, в экспериментально-теоретическом [1] и деформационном методах [2, 3]. Величина коэффициента концентрации напряжений в сварном узле также может быть использована для приближенной оценки его эффективного коэффициента концентрации [3, 4] и приближенной оценки предела выносливости соединения соответственно. Расчет рассматриваемого коэффициента также необходим для сравнительного анализа различных конструктивных вариантов сварных узлов.

Создание «полной» геометрической модели сварного узла в какой-либо САД-системе может быть трудоемким, особенно в случаях, когда исследуются несколько возможных конфигураций рассматриваемого конструктивного элемента. Под «полной» геометрической моделью при этом имеется ввиду детальная 2-х или 3-х мерная модель узла, близкая, по возможности, к реальному изделию, с учетом моделирования формы сварного шва и его микрогеометрических параметров, таких как радиус ρ в месте перехода от основного металла к металлу шва и угол наклона профиля шва Θ в данном месте. Разбивка разработанной модели на конечные элементы с заданным локальным размером сетки всегда является трудоемкой. Кроме того, значительное количество машинного времени потребует и расчет компьютером конечно-элементной модели с плотной локальной сеткой. Одним из способов упростить получение местного поля напряжений и деформаций в случае сварного узла со сложной геометрией является субмоделирование [5], возможность использование такой методики реализовано в ряде распространенных на практике программных комплексов.

Анализ последних исследований и публикаций. Для приближенной оценки теоретических коэффициентов концентрации стыковых, тавровых, крестообразных и некоторых других распространенных на практике типов соединений в литературе представлено значительное количество приближенных зависимостей [2–4, 6]. Каждая из таких зависимостей пригодна для определенных диапазонов соотношений размеров исследуемых соединений.

В задачах усталостной прочности теоретический коэффициент концентрации, как правило, необходим для учета влияния геометрических особенностей исследуемого конструктивного элемента на его усталостную прочность. Существуют, однако, методы, которые не требуют расчета коэффициента концентрации напряжений или деформаций, такие как метод номинального напряжения [2]. Такой метод, однако, пригоден только для экспресс-оценки усталостной прочности исследуемого узла, и не может охватить всего

многообразия используемых на практике сварных конструктивных узлов, являющихся потенциальными очагами зарождения усталостного повреждения.

Согласно работе [7] в случае идеального сварного узла, у которого отсутствуют такие дефекты, как несоосность свариваемых элементов и др., теоретический коэффициент концентрации напряжений в нем можно представить в виде:

$$K_t = K_g \cdot K_w, \quad (1)$$

где K_g – теоретический коэффициент концентрации напряжений, обусловленный общей геометрией сварного узла, которая включает взаимное расположение свариваемых элементов, их толщину s , ширину сварного шва e , высоту усиления сварного шва g или катет K , другие размерные параметры индивидуально для каждого узла; K_w – теоретический коэффициент концентрации напряжений, обусловленный наличием сварного шва (микрогеометрическими параметрами шва). При наличии в сварном узле различных дефектов в уравнении (1) добавляются множители, учитывающие соответствующие факторы.

Подобно зависимости (1) в методе напряжения в горячей точке [2, 7], предназначенном для решения задач усталостной прочности сварных узлов, влияние общей геометрии узла и сварного шва на выносливость конструктивного элемента при заданной переменной нагрузке принимается в расчет порознь. В указанном методе используется понятие конструктивных напряжений, которые определяются методом конечных элементов (МКЭ) с помощью компьютерной модели исследуемого сварного узла, не включающей шов. Количество циклов до усталостного разрушения узла при заданной величине переменного нагружения можно получить, отметив на кривой усталости для стыкового сварного соединения найденное значение размаха конструктивных напряжений. Использование кривой усталости для стыкового сварного соединения в расчете позволяет принять в расчет, кроме влияния общей геометрии, воздействие сварного шва на усталостную прочность узла.

Применение формулы (1) может значительно упростить расчет теоретического коэффициента концентрации сварного узла, при этом влияние параметров ρ и Θ на искомый коэффициент может быть оценено отдельно с помощью расчета величины K_w .

Целью работы является проверка на конкретных примерах возможности расчета теоретического коэффициента концентрации напряжений в сварных узлах произведением коэффициентов концентрации, обусловленных наличием сварного шва и общей геометрией узла без учета шва, а также выработка на базе полученных результатов практических рекомендаций по расчету такого коэффициента в сварных узлах судового корпуса.

Изложение основного материала. Проверка справедливости зависимости (1) выполнялась на примерах крестообразного сварного соединения и узла пересечения поясков равновысоких балок. Геометрия исследуемого крестообразного соединения представлена на рис. 1. Расчет теоретических коэффициентов концентрации выполнялся в ANSYS, для анализа использовался элемент PLANE183 в режиме, моделирующем плоское напряженное состояние. Разбивка на конечные элементы при этом производилась согласно рекомендациям [5, 9], размер ребра элемента в районе перехода от основного металла к металлу шва, таким образом, был не менее $\rho/4$ мм. Указанные рекомендации проверялись на примере крестообразного соединения (рис. 1) с радиусом ρ , равным 0,514 мм. Коэффициент концентрации, полученный при длине ребра элемента $\rho/4$, составлявшей $8,1 \cdot 10^{-5}$ мм, отличался от рассчитанного при длине ребра $2,9 \cdot 10^{-5}$ мм на 1,1 %.

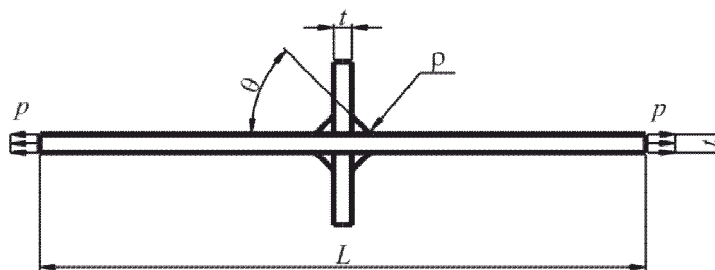


Рисунок 1 – Геометрические параметры крестообразного соединения [8]

Результаты расчетов величины K_t для «полной» модели в ANSYS при различных ρ представлены на рис. 2 и в табл. 1, из которых видно, что кривая зависимости $K_t(\rho)$ переходит в практически прямую при радиусах 8...12 мм. Потому, в качестве значения K_g был выбран теоретический коэффициент концентрации при $\rho=10$ мм.

Таблица 1 – Сравнение коэффициентов концентрации напряжений, рассчитанных с помощью «полной» модели узла и с помощью зависимости (1) при $\Theta=45^\circ$

ρ , мм	K_w	K_g	K_t	$K_g \cdot K_w$	g , мм	e , мм	δ , %	Тип разделки крайков	Условное обозначение согласно ГОСТ 5264-80 [10]
12,00	–	–	1,28	–	–	–	–		
10,00	–	–	1,35	–	–	–	–		
8,00	–	–	1,39	–	–	–	–		
6,00	–	–	1,51	–	–	–	–		
3,47	1,60	1,35	1,76	2,15	2	19	22,20	V-образная	C17
2,30	1,71	1,35	2,02	2,31	2	19	14,36	V-образная	C17
1,50	1,88	1,35	2,31	2,54	2	19	9,96	V-образная	C17
0,71	2,32	1,35	2,92	3,14	2	19	7,55	V-образная	C17
0,52	2,15	1,35	3,21	2,90	1	19	9,84	V-образная	C17
0,52	2,44	1,35	3,21	3,29	2	19	2,51	V-образная	C17
0,41	2,72	1,35	3,51	3,66	2	19	4,47	V-образная	C17
0,30	3,94	1,35	3,88	3,96	2	19	2,22	V-образная	C17
0,18	2,62	1,35	4,50	3,54	1	19	21,45	V-образная	C17
0,18	3,28	1,35	4,50	4,43	2	19	1,67	V-образная	C17
0,10	4,14	1,35	5,46	5,59	2	19	2,38	V-образная	C17
0,52	2,49	1,35	3,21	3,36	2	17	4,69	V-образная	C17
0,18	3,34	1,35	4,50	4,50	2	17	0,04	V-образная	C17
2,30	1,65	1,35	2,02	2,23	2	10	10,4	X-образная	C25
1,50	1,86	1,35	2,31	2,51	2	10	8,66	X-образная	C25
0,71	2,28	1,35	2,92	3,08	2	10	5,65	X-образная	C25
0,52	2,50	1,35	3,21	3,38	2	10	5,12	X-образная	C25
0,18	3,45	1,35	4,50	4,66	2	10	3,49	X-образная	C25

В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа теоретических коэффициентов концентрации, рассчитанных по формуле (1) и с помощью «полной» модели узла (рис. 1). Модуль разницы между результатами обозначен δ . Высота усиления и ширина стыкового сварного шва для расчета коэффициента K_w подбирались согласно требованиям стандарта [10]. Форма профиля стыкового сварного шва для определения теоретического коэффициента концентрации, обусловленного наличием сварного шва, моделировалась как с помощью сплайна, так и дугами. Представленные в табл. 1

результаты расчета K_w для швов с V-образной разделкой кромок были получены на плоских моделях стыковых соединений, построенных с помощью дуг. Результаты оценки величины K_w при X-образной разделке кромок, представленные в табл. 1, получены с использованием сплайнов для построения плоской модели. Существенной разницы между значениями, рассчитанными на моделях, построенных посредством применения дуг и сплайнов, не наблюдалось. Однако, при использовании сплайнов коэффициент K_w оказывался несколько выше. Например, для стыкового шва с $\rho=0,713$ мм, $e=17$ мм, $g=2$ мм и V-образной разделкой кромок величина K_w составила 2,296 при построении профиля шва дугами. При использовании сплайна K_w был равен 2,388. Для шва с $\rho=0,181$ мм, такими же размерными параметрами, как и в предыдущем примере, V-образной разделкой кромок, величина K_w при применении дуг составляла 3,338, а при применении сплайна $K_w=3,546$.

Ширины «фиктивных» стыковых сварных швов e для определения коэффициентов K_w принимались на уровне номинальной величины согласно стандарту [10] для толщины свариваемых встык листов 12 мм. Указанная толщина соответствует толщине неразрезного компонента узла на рис. 1. Таким образом, величина e составляла 19 мм для случая V-образной разделки кромок. Результаты расчетов для $e=19$ мм представлены в табл. 1. В указанной таблице также представлены результаты расчетов при ширине шва 17 мм, которая соответствует номинальной, уменьшенной на величину предельного отклонения. Как видно из таблицы, существенной разницы между значениями K_w при ширинах стыкового шва с V-образной разделкой кромок 17 мм и 19 мм нет.

Результаты табл. 1, рассчитанные для X-образной разделки кромок стыкового соединения, были получены при ширине шва, соответствующей, согласно [10], минимальной для данной толщины соединяемых элементов.

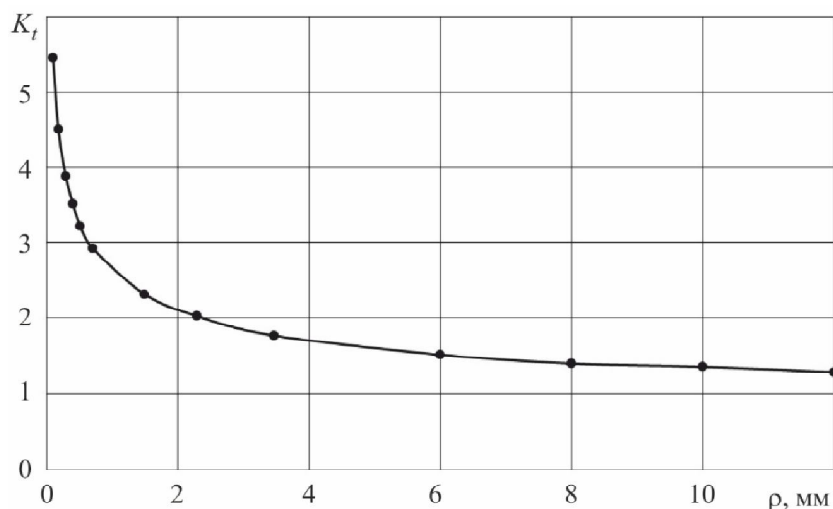


Рисунок 2 – Зависимость теоретического коэффициента концентрации напряжений от радиуса перехода ρ в сварном шве

Как видно из результатов представленной выше таблицы, разница между теоретическими коэффициентами концентрации напряжений K_t , полученными на «полной» модели, с величинами K_t , определенными по формуле (1), уменьшается по мере снижения величины радиуса перехода ρ . Максимальное расхождение между значениями K_t , определенными на «полной» модели и по зависимости (1), в случае высоты усиления стыкового шва равного 2 мм, составляло 22,2 % при $\rho=3,467$ мм. Такое значения радиуса, однако, не характерно для угловых швов, полученных распространенными на практике видами сварки. Кроме того, следует учитывать то, что моделировать стыковые швы с большими радиусами перехода и подобранными размерами согласно [10] (или другим стандартам) будет затруднительно, вследствие рассогласованности размерных параметров. Коэффициенты K_t , рассчитанные с помощью стыковых швов с высотой

усиления 1 мм, показывали более высокие расхождения со значениями K_t , определенными на «полной» модели.

Таким образом, при расчете теоретического коэффициента концентрации напряжений по зависимости (1) высоту стыкового шва для определения величины K_w следует подбирать максимально возможной для данной толщины соединяемых элементов с учетом допусков согласно нормативным документам. Ширину же следует принимать как номинальную, уменьшенную на величину предельного отклонения. Расхождение в результатах между X-образной и V-образной разделкой кромок так же не было существенным.

Расчет коэффициента K_w , очевидно, следует производить подбором сварных стыковых швов с X-образной разделкой кромок, так как такие швы будут «более острыми концентраторами» по сравнению со швами с V-образной разделкой из-за большей максимально допустимой высоты и меньшей минимально допустимой ширины шва согласно стандарту [10]. Такие приемы позволят получить результаты с погрешностями «в сторону завышения».

Справедливость зависимости (1) также проверялась на примере узла пересечения поясков равновысоких балок, представленном на рис. 3а. Для такого узла методом конечных элементов в САЕ ANSYS был проведен анализ напряженного состояния «полной» модели с учетом наличия 3-х плоскостей симметрии.

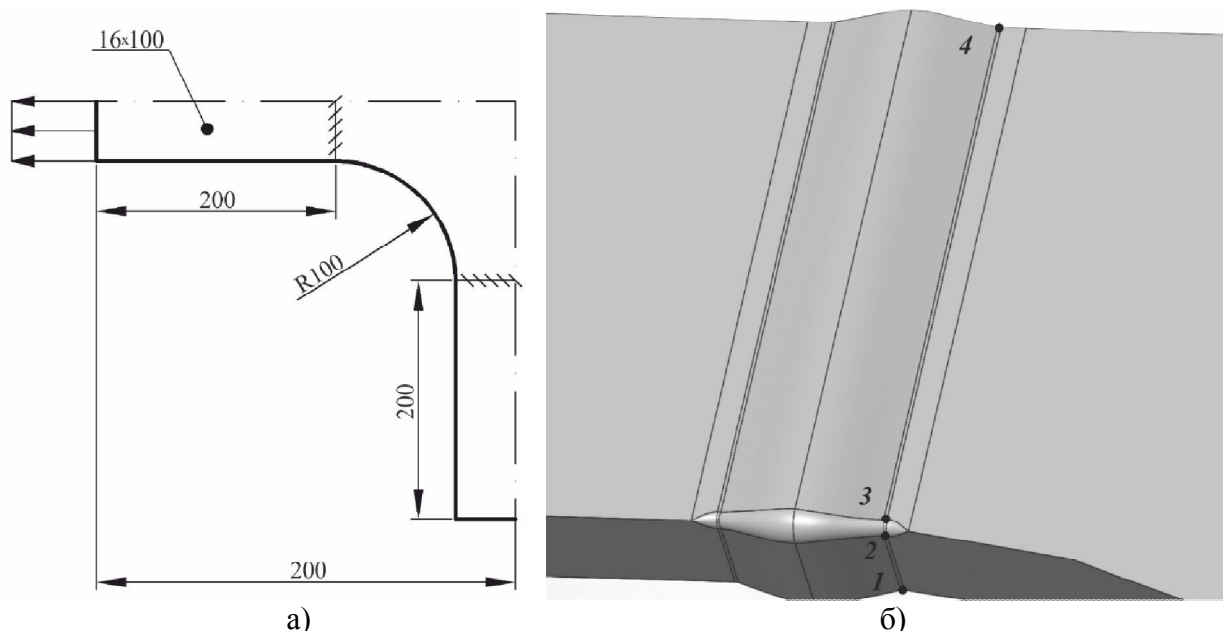


Рисунок 3 – Узел пересечения поясков равновысоких балок: а – схема узла; б – 3D-модель узла

На практике могут возникать задачи, в которых геометрические параметры шва в сварном узле судовой конструкции заранее неизвестны. Известными являются лишь общие размерные параметры сварного узла. Кроме того, следует учитывать, что геометрические параметры шва являются случайными величинами и изменяются вдоль его длины. По указанным причинам ширину сварного шва e и его высоту g целесообразно назначать по нормативным документам, исходя из предельных величин, чтобы получить значения коэффициентов концентрации «с запасом в сторону завышения». Характеристики стыкового шва в рассматриваемом узле назначались согласно [10] и были следующими: сварное соединение С25 с двухсторонней разделкой кромок, ширина шва $e=14$ мм (соответствует номинальному значению при данной толщине металла), высота усиления шва $g=2$ мм (соответствует значению, близкому к максимально возможному с учетом предельных отклонений). Острота концентратора напряжений увеличивается с увеличением отношения g/e , наибольшее влияние на коэффициент K_t оказывает величина радиуса ρ и величина g . Таким образом, при назначении параметра g была принята его величина, близкая к максимально допустимой с учетом предельного

отклонения. Радиус ρ был назначен с обеспеченностью 50 % согласно обобщенным статистическим данным для угловых сварных швов, полученных ручной дуговой сваркой [11]. Его величина составляла 0,986 мм. Угол Θ определялся по приближенной формуле:

$$\Theta = \arctg(2 \cdot g/e) + \delta,$$

где δ – произвольно назначаемый запас. Таким образом, угол Θ составлял 18° .

3D-модель исследуемого сварного узла представлена на рис. 3б. Необходимый размер ребер элементов, регламентируемый [5], в месте перехода от основного металла к металлу шва достигался локальным уплотнением сетки. Для расчета использовались тетраэдрические элементы второго порядка.

Результаты расчета приведенных напряжений по критерию Мизеса в при величине номинальных напряжений 1 Па показаны на рис. 4а.

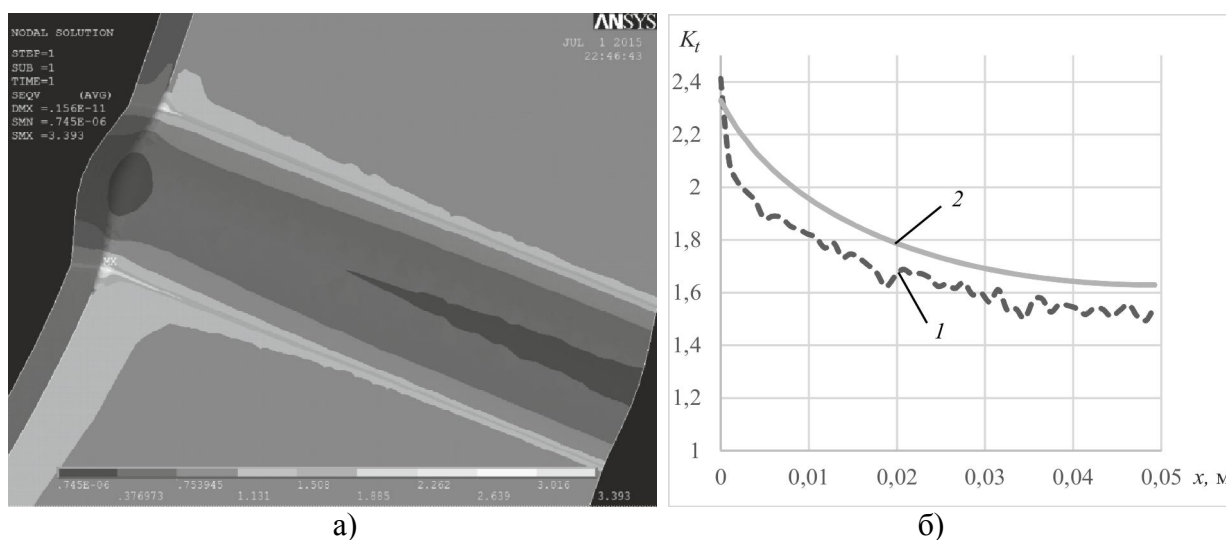


Рисунок 4 – Концентрация напряжений в узле пересечения поясков равновысоких балок: а – результаты расчета напряжений в CAE ANSYS; б – изменение теоретического коэффициента концентрации вдоль линии 3-4 (рис. 3б)

Величина максимальных напряжений, расположение наиболее напряженной области и ее размер в данном случае будут зависеть от исполнения рассматриваемого шва сварщиком и от того, каким образом будет смоделирована данная зона при разработке 3D-модели узла. Наибольшие напряжения, как видно из рис. 4а, приходятся на место перехода от основного металла к металлу шва, где образуется «мениск», которое соответствует линии 1-2-3-4 на рис. 3б. Для проверки справедливости зависимости (1) рассматривалось распределение напряжений по линии 3-4. Линия, соединяющая точки 3 и 4, характерна тем, что до некоторого расстояния от точки 3, на напряжения, действующие вдоль данной линии, оказывает влияние концентрация напряжений, обусловленная общей геометрией узла и радиусом перехода $R=100$ мм (рис. 3а). Указанное влияние ослабевает и нивелируется по мере удаления от точки 3. Таким образом, величина теоретического коэффициента концентрации напряжений на значительном удалении от данной точки соответствует величине K_t для стыкового шва с описанными выше размерами. Изменение теоретического коэффициента концентрации напряжений K_t вдоль линии 3-4, рассчитанное с помощью CAE ANSYS, показано на рис. 4б кривой 1.

Чтобы получить изменение теоретического коэффициента концентрации напряжений K_t вдоль линии 3-4 по формуле (1), был произведен расчет в ANSYS коэффициента K_w для описанного выше стыкового соединения. Величина K_w составляла 1,89. Следует заметить, что теоретический коэффициент концентрации напряжений в стыковом соединении может также быть рассчитан по приближенным зависимостям, описанным в [2–4], 6]. Полученное значение K_w было затем умножено на величину $K_g(x)$,

которая постепенно уменьшалась по мере удаления от точки 3 и приближения к точке 4 (рис. 3б). График функции $K_g(x)$ был получен в САЕ ANSYS на плоской модели, соответствующей узлу на рис. 3, а без сварного шва. График изменения напряжений в плоской модели узла без шва вдоль линии, совпадающей по расположению с линией 3-4, при номинальных напряжениях 1 Па являлся графиком функции $K_g(x)$. Результаты расчета по формуле (1) показаны на рис. 4б кривой 2.

Из рис. 4, б видно, что использование зависимости (1) показывает результаты качественно соответствующие расчету «полной» 3D модели узла в ANSYS. Количественно результаты расчета по исследуемой формуле превышают результаты расчета 3-мерной «полной» модели по всей рассматриваемой длине шва не более, чем на 10%. Таким образом, на данном примере показано, что формула (1) позволяет получить величину теоретического коэффициента концентрации напряжений близкую к рассчитанной методом конечных элементов «с запасом в сторону завышения».

Чтобы сократить объем вычислений при расчете сварного узла судового корпуса целесообразно использовать приближенные формулы для расчета коэффициента K_w , а коэффициент K_g , ввиду значительного разнообразия конструкций сварных узлов, рассчитывать с помощью МКЭ и доступной системы инженерного анализа. Для некоторых типов узлов, например, для пластин с вырезами различной формы и способами приложения нагрузки, можно найти аналитические решения [3]. Чтобы рассчитывать величину K_w необходимо обладать простой и всеобъемлющей формулой для оценки теоретического коэффициента концентрации напряжений в стыковом соединении. Ряд представленных в [2–4, 6] зависимостей имеют ограничения по размерам рассчитываемых соединений. Кроме того, указанные формулы обладают различной точностью. Ниже приведены исследуемые в данной работе зависимости для приближенной оценки теоретического коэффициента концентрации напряжений в стыковом соединении.

Для расчета коэффициента K_t стыковых сварных соединений с полным проплавлением, Х-образной разделкой кромок и углом раствора кромок разделки равным 90° в [3], [12] представлена формула Лоуренса. Данная зависимость имеет такой вид:

$$K_t = 1 + \alpha \cdot \left(\frac{s}{\rho} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где α – коэффициент, зависящий от величины угла наклона профиля шва в месте перехода от основного металла к металлу шва.

В работе [2] представлен следующий вариант формулы (2):

$$K_t = 1 + 0,27 \cdot \tan(\theta)^{0,25} \cdot \left(\frac{s}{\rho} \right)^{0,5}, \quad (3)$$

Для стыковых сварных швов с Х-образной разделкой кромок, подвергаемых растягивающей и изгибной нагрузкам, в [2] представлена зависимость, для определения теоретического коэффициента концентрации напряжений, следующего вида:

$$K_t = 1 + \alpha' \cdot \sin(\theta)^{\lambda_1} \cdot \left(\frac{s}{\rho} \right)^{\lambda_2}, \quad (4)$$

где коэффициент α' равен 0,728 при действии растягивающей нагрузки; показатели степени $\lambda_1=0,932$ и $\lambda_2=0,382$ при таком же виде нагрузки.

В [3], [6] представлены такие зависимости для приближенного определения теоретического коэффициента концентрации напряжений в стыковом шве:

$$K_t = 1 + \frac{1 - e^{-0,9 \cdot \theta \cdot \sqrt{\frac{s}{2 \cdot g} + 1}}}{1 - e^{-0,45 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{s}{2 \cdot g} + 1}}} \cdot \left[\frac{1}{2,8 \cdot \left(2 \cdot \frac{g}{s} + 1 \right) - 2} \cdot \frac{g}{\rho} \right]^{0,65}, \quad (5)$$

$$K_t = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(\frac{\rho}{g} \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\theta}{2}\right) + 4 \cdot \frac{\rho}{s} + 5 \cdot \frac{\rho}{e + \rho} \right)^2}} + 1 \quad (6)$$

Согласно [6] формула (5) применима для стыковых сварных соединений со следующими соотношениями размеров: $\rho/s=0,05 \dots 0,1$; $g/s=0,2 \dots 0,25$; $\Theta=30^\circ \dots 45^\circ$; $e/s=1 \dots 2,3$, а зависимость (6) для стыковых соединений с такими соотношениями размеров: $\rho/s=0,01 \dots 0,1$; $g/s=0,1 \dots 0,2$; $\Theta=15^\circ \dots 30^\circ$; $e/s=0,1 \dots 2,3$.

При выборе расчетной формулы следует учитывать, что некоторые размеры «фиктивного» стыкового сварного шва, с помощью которого оценивается величина K_w , могут отличаться от характерных размеров швов, которые встречаются на практике. Сравнение различных вариантов приближенных зависимостей для определения коэффициента K_t в стыковых сварных соединениях показано в табл. 2. Другие формулы, представленные в [2]–[4], [6] в табл. 2 не включались, по причине значительных расхождений с расчетом в CAE ANSYS, громоздкой структуры либо по причине узкого диапазона соотношений размеров шва, для которого рекомендуется рассматриваемая зависимость.

Таблица 2 – Результаты оценки микроконцентрации напряжений различными формулами и МКЭ

s , мм	ρ/s	g/s	e/s	Θ , град	Тип разделки кромки	Рассчитанные значения K_t					
						МКЭ	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
12	0,015	0,167	1,417	45	V-образная	3,44	3,20	3,20	3,62	3,68	3,09
16	0,062	0,125	0,875	17	X-образная	1,89	1,75	1,81	1,67	1,57	1,405
12	0,043	0,083	1,583	45	V-образная	2,15	2,30	2,30	2,75	2,14	1,746
12	0,043	0,167	1,583	45	V-образная	2,44	2,30	2,30	2,75	2,36	2,05
12	0,059	0,167	1,583	45	V-образная	2,32	2,11	2,11	2,55	2,1	1,85
12	0,015	0,167	0,833	45	X-образная	3,45	3,20	3,20	3,62	3,68	2,95
12	0,043	0,167	0,833	45	X-образная	2,50	2,30	2,30	2,75	2,36	1,973
12	0,059	0,167	0,833	45	X-образная	2,28	2,11	2,11	2,55	2,10	1,79

Как видно из табл. 2, наиболее близкие оценки K_w к расчету МКЭ показывали формулы (2), (3), (4), (5). Выше было указано, что размеры «фиктивного» сварного стыкового шва для оценки величины K_w и их соотношения могут отличаться от тех, что встречаются в действительности. Поэтому целесообразнее использовать зависимости для определения K_w , не содержащие всех размерных параметров шва, как, например, (5). Кроме того, (5) имеет громоздкую структуру. Величина K_w , рассчитанная по формулам (2), (3), (4) зависит только от толщины исследуемого соединения, радиуса ρ и угла Θ . В формуле Лоуренса (2) коэффициент α для растягивающей нагрузки резко уменьшается при уменьшении угла наклона профиля шва в месте перехода от основного металла к металлу шва [12], ее вариант (3) при малых углах Θ показывает несколько более высокие величины коэффициента концентрации, в сравнении с (2). Кроме того, формула (2) требует операцию интерполяции для расчета α . Зависимость (4), как видно из табл. 2, показывала близкие (в основном несколько завышенные) результаты к расчетам методом конечных элементов. Таким образом, наиболее целесообразно использовать для расчета

K_w формулы (3) и (4), причем, использование первой показывает результаты с небольшим отклонением «в сторону уменьшения» от МКЭ, а вторая – «в сторону завышения».

Все описанные выше коэффициенты концентрации напряжений рассчитывались на базе приведенных напряжений по критерию Мизеса.

Из выполненного в работе анализа следует, что расчет теоретического коэффициента концентрации напряжений, обусловленного наличием сварного шва, можно производить посредством расчета теоретического коэффициента концентрации напряжений в стыковом сварном соединении, размерные параметры шва которого соответствуют таким же для исследуемого узла. В случае, когда шов исследуемого сварного узла является угловым, недостающие характеристики стыкового шва подбираются согласно нормативным документам, регламентирующим размеры сварных швов, для такого вида сварки, который использовался при изготовлении исследуемого узла. Подбор выполняется таким образом, что высота шва принимается как максимально возможная с учетом предельных отклонений при данной толщине металла, а ширина как минимально возможная также с учетом предельных отклонений. Разделка кромок стыкового шва при этом предполагается Х-образной. Теоретический коэффициент концентрации напряжений стыкового соединения может быть рассчитан методом конечных элементов или по приближенным зависимостям, представленным в [2–4, 6]. В данной работе был выполнен анализ таких приближенных зависимостей и предложены оптимальные, с точки зрения авторов, для применения на практике.

Выводы. 1. Оценка теоретического коэффициента концентрации напряжений произведением коэффициентов концентрации напряжений, обусловленных наличием сварного шва и общей геометрией сварного узла без учета шва, для крестообразного сварного соединения и узла пересечения поясков равновысоких балок показала близкие к расчету детализированной модели в CAE ANSYS результаты, «с запасом в сторону завышения». Расхождение не превышало 10%.

2. Определение теоретического коэффициента концентрации напряжений, обусловленного общей геометрией сварного узла, можно получить расчетом модели исследуемого узла без шва с грубой сеткой. В случае узлов с угловыми швами, сварной узел следует моделировать со швом, размеры которого и угол в месте перехода от основного металла к металлу шва, соответствуют таким же в исследуемом объекте. Радиус перехода, при этом назначается на таком уровне, что его увеличение, не оказывает существенного влияния на величину теоретического коэффициента концентрации напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коростылев Л. И. Оценка усталостной прочности судовых корпусных конструкций с концентраторами напряжений [Текст] / Л. И. Коростылев // Вторая междунар. конф. по судостроению – ISC'98: Труды, Секция С. – СПб. : ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 1998. – С. 160-167.
2. Radaj D. Fatigue assessment of welded joints by local approaches. Second edition [Text] / D. Radaj, C. M. Sonsino, W. Fricke. – Cambridge : Woodhead Publishing Ltd., 2006. – 639 p.
3. Петин С. В. Основы инженерных расчетов усталости судовых конструкций [Текст] / С. В. Петин. – Л. : Судостроение, 1990. – 224 с.
4. Турмов Г. П. Приближенная оценка выносливости сварных соединений [Текст] / Г. П. Турмов // Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Изд-во ДВПИ, 1980. – С. 129-136.
5. Fricke, W. Guideline for the Fatigue Assessment by Notch Stress Analysis for Welded Structures [Text] / W. Fricke // International Institute of Welding. – IIW-Doc. XIII-2240r2-08/XV-1289r2-08. – Hamburg University of Technology Ship Structural Design and Analysis, July 2010. – 144 p.

6. Махненко В. И. Расчет коэффициентов концентрации напряжений в сварных соединениях со стыковыми и угловыми швами [Текст] / В. И. Махненко, Р. Ю. Мосенкис // Автоматическая сварка. – 1985. – №8. – С. 7-18.
7. Caccese V. Effect of weld geometric profile on fatigue life of cruciform welds made by laser/GMAW processes [Text] / V. Caccese et al. // Marine Structures. – Elsevier, January 2006. – vol. 19 – issue 1. – pp. 1-22.
8. Skorupa M. Fatigue life prediction of cruciform joints failing at the weld toe [Text] / M. Skorupa // Supplement to the welding journal. – August 1992. – P. 269-275.
9. Niemi E. Stress Determination for Fatigue Analysis of Welded Components [Text] / E. Niemi. – IISIIW-1221-93 (ex. doc. XIII-1458-92, XV-797-92). – Abington : Abington Publ., 1995. – 69 p.
10. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры – М. : Стандартформ, 2005. – 35 с.
11. Коростылёв Л. И. Анализ величин радиусов и углов наклона профиля сварных швов в месте перехода от основного металла к металлу шва [Текст] / Л. И. Коростылёв, Д. Ю. Литвиненко // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 87-89.
12. Lawrence, F. V., Predicting the Fatigue Resistance of Welds [Text] / F. V. Lawrence, N. J. Ho, P. K. Mazumdar // Fracture Control Program Report No. 36. – College of Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, October 1980. – 47 p.

REFERENCES

1. Korostihlev L. I. Ocenka ustalostnoy prochnosti sudovihkh korpusnikh konstrukciy s koncentratorami napryazheniy [Tekst] / L. I. Korostihlev // Vtoraya mezhdunar. konf. po sudostroeniyu – ISC'98: Trudih, Sekciya S. – SPb. : CNII im. akad. A. N. Krihlova, 1998. – S. 160-167.
2. Radaj D. Fatigue assessment of welded joints by local approaches. Second edition [Text] / D. Radaj, C. M. Sonsino, W. Fricke. – Cambridge : Woodhead Publishing Ltd., 2006. – 639 p.
3. Petinov S. V. Osnovih inzhenernikh raschetov ustalosti sudovihkh konstrukciy [Tekst] / S. V. Petinov. – L. : Sudostroenie, 1990. – 224 s.
4. Turmov G. P. Priblizhennaya ocenka vinhoslivosti svarnikh soedineniy [Tekst] / G. P. Trumov // Sudostroenie i sudoremont. – Vladivostok : Izd-vo DVPI, 1980. – S. 129-136.
5. Fricke, W. Guideline for the Fatigue Assessment by Notch Stress Analysis for Welded Structures [Text] / W. Fricke // International Institute of Welding. – IIW-Doc. XIII-2240r2-08/XV-1289r2-08. – Hamburg University of Technology Ship Structural Design and Analysis, July 2010. – 144 p.
6. Makhnenko V. I. Raschet koehfficientov koncentracii napryazheniy v svarnikh soedineniyakh so stihkovihmi i uglovihmi shvami [Tekst] / V. I. Makhnenko, R. Yu. Mosenkis // Avtomaticheskaya svarka. – 1985. – №8. – S. 7-18.
7. Caccese V. Effect of weld geometric profile on fatigue life of cruciform welds made by laser/GMAW processes [Text] / V. Caccese et al. // Marine Structures. – Elsevier, January 2006. – vol. 19 – issue 1. – pp. 1-22.
8. Skorupa M. Fatigue life prediction of cruciform joints failing at the weld toe [Text] / M. Skorupa // Supplement to the welding journal. – August 1992. – P. 269-275.
9. Niemi E. Stress Determination for Fatigue Analysis of Welded Components [Text] / E. Niemi. – IISIIW-1221-93 (ex. doc. XIII-1458-92, XV-797-92). – Abington : Abington Publ., 1995. – 69 p.

10. GOST 5264-80. Ruchnaya dugovaya svarka. Soedineniya svarnihe. Osnovnihe tipih, konstruktivnihe ehlementih i razmerih – М. : Standartiform, 2005. – 35 s.

11. Korostihlyov L. I. Analiz velichin radiusov i uglov naklona profilya svarnikkh shvov v meste perekhoda ot osnovnogo metalla k metallu shva [Tekst] / L. I. Korostihlyov, D. Yu. Litvinenko // Materiali vseukraïnsjkoï naukovo-tekhnichnoï konferencii z mizhnarodnoyu uchastyu «Suchasni tekhnologii proektuvannya, pobudovi, ekspluatacii i remontu suden, morskikh tekhnichnikh zasobiv i inzhenernikh sporud». – Mikolaïv : NUK, 2015. – S. 87-89.

12. Lawrence, F. V., Predicting the Fatigue Resistance of Welds [Text] / F. V. Lawrence, N. J. Ho, P. K. Mazumdar // Fracture Control Program Report No. 36. – College of Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, October 1980. – 47 p.

Коростильов Л.І., Литвиненко Д.Ю. ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ У ЗВАРНИХ ВУЗЛАХ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ РОЗРАХУНКОМ МАКРО- І МІКРОКОНЦЕНТРАЦІЇ

На прикладах вузла перетину поясків рівновеликих балок і хрестоподібного з'єднання досліджена можливість розрахунку теоретичного коефіцієнта концентрації напружень в зварних тонкостінних конструкціях суднового корпусу множенням коефіцієнтів макро- і мікроконцентрації напружень. На базі отриманих результатів вироблені практичні рекомендації із розрахунку коефіцієнта концентрації напружень у зварних вузлах за допомогою вказаного множення. Виконаний порівняльний аналіз варіантів наближених формул для розрахунку коефіцієнта концентрації напружень, обумовленого наявністю зварного шва.

Ключові слова: зварний вузол, коефіцієнт концентрації напружень, зварний шов, метод скінчених елементів.

Korostylov L.I., Lytvynenko D.Yu. THE ESTIMATION OF THE THEORETICAL STRESS CONCENTRATION FACTOR IN WELDED THIN-WALLED STRUCTURES BY THE CALCULATION OF STRESS MACRO- AND MICROCONCENTRATION

The estimation of the theoretical stress concentration factor in welded thin-walled ship structures by the multiplication of stress macro- and microconcentration factors was investigated considering the beams crossing flanges welded assembly and the cruciform welded joint. The practical guidelines for the estimation of the stress concentration factor in welded assemblies by the mentioned multiplication were developed based on the obtained results. The comparative analysis of the different variants of the approximate formulae for the calculation of the stress concentration factor caused by the presence of weld seam was carried out.

Keywords: welded assembly, theoretical stress concentration factor, weld seam, finite element method.

© Коростильов Л. І., Литвиненко Д. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 10.09.2015

УДК 621.363:621.313

РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**Літвінова М.Б.***Національний університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова, м. Миколаїв
Сєліверстова С.Р.**Херсонська державна морська академія***Штанько О.Д.***Національний університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова, м. Миколаїв*

У роботі наведено принципове технічне рішення та відповідна конструкція термоелектричного перетворювача теплової енергії вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання. Розроблено відповідний термоелектричний пристрій для двигуна об'ємом циліндрів більш 1,5 л потужністю до 300 Вт. Здійснено відповідний тепловий та електричний розрахунок. Метою є заміна електромеханічного генератора за допомогою установки допоміжного електричного двигуна до двигуна внутрішнього згорання для ефективної переробки енергії газів, що викидається у повітря. Допоміжний двигун встановлюється на вихлопну трубу автомобіля, спрощує його обслуговування, зменшує витрату палива та може використовуватися для різних типів автомобілів із відповідним типом двигуна.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, рекуперація енергії, електричний генератор.*

Постановка проблеми. Сучасна енергетична безпека держави – це розвиток нетрадиційних, зокрема, відновлюваних джерел енергії. Тому вирішення проблеми енергетичної безпеки через підвищення значення альтернативної енергії є ключовим питанням як науки, так і економіки [1].

Термоелектрика є перспективним науково-технічним напрямком, який заснований на використанні прямого, безмашинного перетворення теплової енергії в електричну [2]. Найбільш перспективним застосуванням термоелектрики із наслідками для «зелених технологій», безсумнівно, є рекуперація теплових втрат, зокрема автомобільного транспорту й інших відходів для повторного їх застосування (перетворення в електричну енергію) з метою економії палива та зменшення викидів парникових газів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до рекламаних даних на сучасні машини з електромеханічними перетворювачами використання паливної енергії відбувається із ККД 36–40 % [4]. З урахуванням різних втрат у двигуні лише 25 % енергії палива, що залишилося, витрачається на механічну роботу автомобіля. Якщо обчислити також втрати при механічній роботі автомобіля, то на здійснення руху витрачається не більше 14 % від енергії, що міститься у паливі [4]. З таким ККД можна вважати автомобіль пересувним обігрівачем навколишнього середовища.

Втрати спожитої енергії розподіляються таким чином: 25 % іде на охолодження двигуна; 35 % є втратами енергії розігрітого газу випускної системи. Для перетворення енергії розігрітого газу з метою економії палива на цей час використовуються термоелектричні генератори (ТЕГ). Вони встановлюються за каталітичним нейтралізатором по ходу системи випуску. Таке розміщення обмежує верхню границю температури нагріву поверхні ТЕГ до 500–600 °С. Для цих температур ККД термоелектричного генератора принципово не перевищує 5 % [5]. Із урахуванням вказаної температури ТЕГ для двигуна з об'ємом циліндрів до 1,5 л може виробляти не більш 100 Вт потужності, що замало для виключення електромеханічного генератора із електричної схеми автомобіля [6].

Метою роботи є розробка термоелектричного генератора, який повністю замінює електромеханічний і здійснює ефективну переробку надлишкової енергії, яка викидається у повітря.

Завдяки розвитку напівпровідникових технологій ККД сучасних термоелектричних генераторів досягла в середньому до 5 % [7]. Мало того, уже існує технологія, що дозволяє підвищити ККД до 6,5 % при різниці температур до 500 °С. На додаток, фірмою Altek випускаються двокаскадні термоелектричні модулі з робочою температурою до

900 °С с ККД, що перевищує 10 % (термогенеруючі модулі ALTEK - 1023 і ALTEK – 1024). Це дозволяє застосувати нові конструкції термоелектричних генераторів і використовувати їх у більш високотемпературному режимі [8]. На їх основі у роботі запропоновано конструкцію секційного термоелектрогенератора, який можна використовувати для будь-яких конструкцій автомобільних двигунів, і який зможе повністю замінити електромеханічні генератори автомобілів.

Принцип розрахунку швидкості руху та температури випускних газів на виході випускного колектора. Випускна система автомобіля складається з п'яти основних складових: випускного колектора, трубопроводу, глушника, каталітичного нейтралізатора, проміжного резонатора.

У сучасних автомобілях поширені дві схеми трубчастих випускних колекторів, тобто короткий колектор, якщо чотири труби з'єднані в одну трубу або довгий колектор, якщо чотири труби з'єднані попарно та далі з'єднані в одну трубу. У деяких двигунах влучення випускного газу в циліндр обумовлено технологічно, а саме – регулюється октанове число газової суміші. Тому при заміні колектора необхідно врахувати особливості роботи двигуна.

Перетворювач треба встановити замість колектора, де температура відпрацьованого газу може становити до 900 °С, так щоб не порушувати роботу двигуна. Пропонується установка секції термоелектричного генератора на кожному із чотирьох трубопроводів колектора. Для розрахунку тепловіддачі важливим є процес проходження газу по цих трубопроводах. По-перше їхній об'єм вибирається рівним подвійному робочому об'єму циліндра. Це є умовою забезпечення малості впливу роботи одного циліндра на інший. По-друге, протягом 1/4 робочого циклу двигуна порція відпрацьованого газу з циліндра витискує попередню і протягом часу, що залишився (3/4 циклу), ця порція газу практично залишається без руху.

Перша умова визначає об'єм порції газу та перемішування його з попередньою порцією. Тобто, протягом 3/8 газ остигає в трубопроводі до температури T_2 . Потім порція газу температурою T_1 перемішується з попередньою протягом 1/4 часу циклу з витіканням порції газу температурою T_2 до трубопроводу вихлопної труби. Ця температура повинна бути не менш робочої температури каталітичного нейтралізатора. Звідси вимога до швидкості остигання газу [5]:

$$\frac{T_1 + T_2}{2} - v_T \cdot t_u = T_2, \quad (1)$$

де v_T – швидкість зниження температури; t_u – час циклу.

$$v_T = \frac{(T_1 - T_2)}{2 \cdot t_u}. \quad (2)$$

Підставивши значення температур $T_1 = 900^\circ\text{C}$ и $T_2 = 500^\circ\text{C}$ маємо значення максимальної швидкості зниження температури вихлопного газу:

$$v_T = \frac{200}{t_u}. \quad (3)$$

Слід зазначити наступне: по-перше, такий результат стосується відразу до двох порцій газу. А це означає, що середня температура буде дорівнює 700 °С з коливанням температури від 900 °С до 500 °С. У такому екстремальному режимі може працювати виключно термоелектричний генератор. До цього треба додати, що газ у колекторі перебуває під надлишковим тиском, що змінюється. Це збільшує як теплоємність, так і теплопередачу від вихлопного газу до стінки колектора.

По-друге, для забезпечення цієї умови необхідно термічно ізолювати другу половину трубопроводу колектора.

Швидкість випуску вихлопного газу v_{BG} прямопропорційна частоті обертання вала двигуна n_i , кількості робочих циліндрів (тобто двом), робочому об'єму циліндра $V_{\text{ц}}$ і оберненопропорційна тактності двигуна τ . Тому :

$$v_{BG} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot 2 \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot n_i}{60 \cdot \tau} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot n_i}{30 \cdot \tau}. \quad (4)$$

Розрахунок термоелектричного генератора. Прототипом секційного термоелектрогенератора можуть служити термоелектричні генератори, що вже існують. Прикладом є ТЕГ на основі енергії відпрацьованих газів корпорації Hi-Z [6]. Його недолік – великий об'єм проходження робочого газу. А при джерелі з малим вихідним перерізом це приводить до автоматичного зниження температури робочого газу і як результат, до невисокого ККД генератора додаються втрати на розширення газу. У малих розмірах єдиним технологічним рішенням для такого генератора є заповнення робочого об'єму чим-то корисним, наприклад, рядами теплових трубок, які встановлюються поперечно. При низькій швидкості плинущу газу це поліпшує теплопередачу ТЕМ. Однак установка такого генератора на колектор неможлива через необхідність дотримання динамічних вимог до колектора.

Тому необхідно враховувати наступне: по-перше, малі габарити трубопроводів і близькість їхнього розташування друг до друга обмежують площу теплопередачі; по-друге, при розробці ТЕГ неможна погіршити динамічний рух вихлопного газу; по-третє, при зупинці двигуна вихлопна система нагрівається до високої температури.

Радіатор розраховується окремо на максимальну потужність термоелектричного модуля (ТЕМ). Він повинен при цьому забезпечити температуру не вище 50 °С (рекомендується для модуля за паспортними даними) охолоджуваної поверхні ТЕМ.

Для розрахунку основних параметрів секції ТЕГ запропонована спрощена фізична модель, наведена на рис. 1. Вона складається із джерела тепла – відпрацьованого газу, термоелектричного модуля, гарячого та холодного радіаторів для відводу тепла шляхом примусової продувки повітрям.

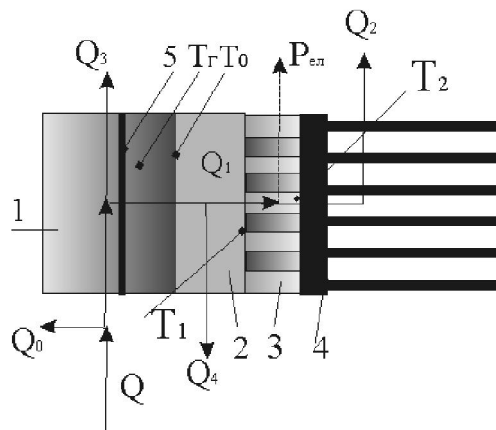


Рисунок 1 – Фізична модель термогенератора:

1 – джерело тепла; 2 – гарячий теплообмінник (радіатор); 3 – термоелектрична модуль;
4 – холодний теплообмінник (радіатор); 5 - полий тонкий циліндр

Рівняння теплового балансу для даної моделі:

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 + Q_1 + Q_3; \\ Q_1 - Q_4 &= P + Q_2, \end{aligned} \quad (5)$$

де Q_0 – втрати теплової потужності на елементах джерела тепла; Q_1 – теплова потужність, що надходить від гарячих газів до гарячого радіатора ТЕГ конвективним шляхом і випромінюванням від тонкого циліндра площею у два рази меншою за внутрішню площу труби; Q_2 – теплова потужність, що відводиться від холодної сторони ТЕМ у навколишнє середовище шляхом примусового обдування; Q_3 – теплова потужність, що відводиться

в навколишнє середовище із продуктами реакції горіння; Q_4 – втрати теплової потужності на елементах конструкції гарячого радіатора; P – електрична потужність ТЕМ.

Секція термоелектричного генератора встановлюється на одному із трубопроводів колектора. Рух вихлопних газів відбувається при виштовхуванні їх із циліндра. При цьому заповнюється трубопровід на об'єм циліндра з урахуванням зменшення тиску. Вихлопний газ що залишився, перебуває у трубопроводі до чергового упорскування газів. Із деяким наближенням можна уважати процес майже стаціонарним. При цьому енергія остигання газу практично, за мінусом втрат на витрати енергії через ізоляцію, іде через стінки теплообмінника. ККД такого процесу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (6)$$

де T_1 – температура газу, що вийшов із циліндра; T_2 – температура газу, що вийшов із секції термоелектричного генератора.

Температуру T_2 можна визначити виходячи із втрат енергії теплопередачі через стінку теплообмінника. Знаючи розподіл потужності залежно від частоти обертання двигуна і витрат на пересування, можна визначити потужність, що проходить через теплообмінник. Але це достатньо грубе наближення. Розрахунок параметрів ТЕГ, проведено з урахуванням величин теплових потоків, які необхідно підвести до термоелектричних модулів і які забезпечують оптимальний режим роботи генератора [9]. Для проведення комп'ютерного розрахунку використана прикладна програма Mathematica_8.0.1_WIN.iso [10].

Вихідними даними для розрахунку є: діаметр труби $D = 12$ см, вхідна температура газу 800°C , товщина стінки труби d . Математична модель за цими параметрами складається відповідно до рис. 2. Представимо якийсь елементарний об'єм газу товщиною dx , що рухається уздовж труби. По мірі проходження він віддає частину енергії й остигає. На початку труби температура дорівнює T_n . Наприкінці – T_k .

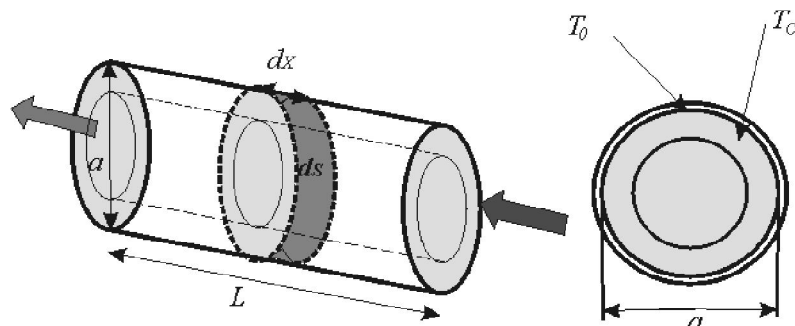


Рисунок 2 – Графічна модель процесу обміну

Теплова потужність, що надходить на площадку відповідно до рис. 2:

$$\delta Q = \left[\frac{1}{2} \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0) \right] \delta S, \quad (7)$$

де ε – коефіцієнт сірості матеріалу стінки (сталь покрита шаром сажі), дорівнює 0.80; σ – коефіцієнт Стефана-Больцмана, дорівнює $5,671 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); α – коефіцієнт теплопередачі дим – сталь, дорівнює 5,8 Вт/(м²·К).

Теплова потужність, що пройшла через ділянку δl площею δS стінки внутрішнього корпусу, визначається її теплопровідністю λ_m , градієнтом температури стінки генератора (він дорівнює різниці зовнішньої T_p і внутрішньої T_0 температур поділеної на товщину L), і площею стінки δS :

$$\delta Q = \lambda \frac{T_0 - T_p}{L} \delta S. \quad (8)$$

Дорівнявши δQ з виразів (7) і (8), маємо рівняння щодо температури стінки генератора, що нагрівається і обумовлює електричну потужність ТЕМ:

$$P(T) = \lambda \frac{T_0 - T_p}{L} = \frac{1}{2} \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0). \quad (9)$$

Запишемо вираз для елементарного об'єму газу:

$$\frac{dU}{dT} = Q \text{ або } C_p V \frac{dT}{dt} = P(T) dS, \quad (10)$$

де V – елементарний об'єм, рівний:

$$V = a^2 dx, \quad (11)$$

a – довжина сторони квадратного перерізу внутрішньої поверхні генератора (рис. 2); U – внутрішня енергія газу зазначеного об'єму; C_p – теплоємність при сталому тиску; dS – поверхня по периметру вказаного об'єму, яка складає:

$$dS = 4a \cdot dx. \quad (12)$$

Із (10), (11) і (12) маємо:

$$C_p a^2 dx \frac{dT}{dt} = P(T) \cdot 4a dx. \quad (13)$$

Якщо позначимо $v = dx / dt$ як швидкість руху випускного газу, то з (13) знаходимо:

$$dx = C_p a v \frac{dT}{P(T)}. \quad (14)$$

На основі (12) і (14) одержимо:

$$S = 4ax = C_p a^2 v \int_{T_n}^{T_k} \frac{dT}{P(T)}. \quad (15)$$

Разом із цим, різниця енергій газу, що ввійшов у генератор і вийшов з нього за одиницю часу – це інтегральна потужність, яка залишена газом генератору. Звідси:

$$P(T_k) = \frac{C_p dV(T_n - T_k)}{dt} = C_p \frac{a^2 dx}{dt} (T_n - T_k) = C_p a^2 v (T_n - T_k). \quad (16)$$

Розв'язав рівняння, одержуємо з виразу (15) значення $S(T_k)$, а з виразу (16) – значення $P(T_k)$. Це надає можливість побудувати графік залежності $P(S)$ (рис. 3).

Така методика ураховує форму вихлопної труби. Тому переріз можна обрати квадратним. Єдина вимога – не збільшувати об'єм труби, оскільки у ізобаричному процесі розширення можна одержати зниження температури газу.

Площа поперечного перерізу протока газів не повинна бути менш, ніж такий самий переріз колектора (як зазначено раніше, діаметр $D=13$ см). Обраний переріз має квадратну форму. За розрахунком сторона квадрата складає:

$$a = \sqrt{\pi} \cdot \frac{D}{2} = 1,77 \frac{13}{2} = 11,5 \text{ см}.$$

Периметр буде дорівнювати: $\Pi = 0,46$ м.

Відповідно до графіка (рис. 3), найбільш інтенсивна віддача енергії відбувається при площі контакту з газом до $0,1 \text{ м}^2$. А це буде забезпечено при довжині: $L = S/\Pi \approx 20$ см. Потужність відводу теплової енергії від газу в кожному із чотирьох трубопроводів, складе $Q_4 \approx 700$ Вт, а вихідна температура газу – $T_k \approx 650^\circ\text{C}$. Тоді сумарна енергія може скласти:

$$Q_4 \approx 700 \text{ Вт} \cdot 4 = 2.8 \text{ кВт.}$$

Звідси випливає, що необхідно ділити генератор на секції по 20 см. Трубу між секціями необхідно розділити і секції теплоізолювати друг від друга.

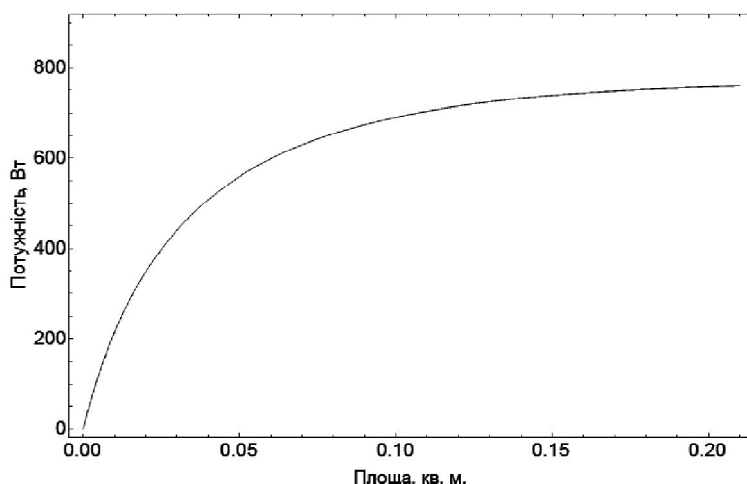


Рисунок 3 – Залежність потужності відбору теплової енергії від площі внутрішньої поверхні генератора

Варто звернути увагу на те, що каталізатор має робочу температуру, рівну 500 °С. Друга секція буде мати вхідну температуру газу рівну вихідній від першої секції. Тому установку другої секції потрібно проводити після каталізатора. З урахуванням ефективності обраних термоелектричних модулів АЛТЕК 1024 при температурі гарячої стінки 650 °С (рис. 4), $\eta_{\text{ТЕМ}} = 10\%$ потужність енергії, яка буде вироблятися перетворювачем може скласти $P = \eta_{\text{ТЕМ}} \cdot Q_4 = 10\% \cdot 2,8 \text{ кВт} = 280 \text{ Вт}$.

Це потребує встановлення вказаних модулів у кількості 8 шт. Відповідна напруга при послідовному з'єднанні модулів і робочому струмі $I = 15 \text{ А}$ складе:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{мод}} \cdot 8 = 2,2 \text{ В} \cdot 8 = 17,6 \text{ В}.$$

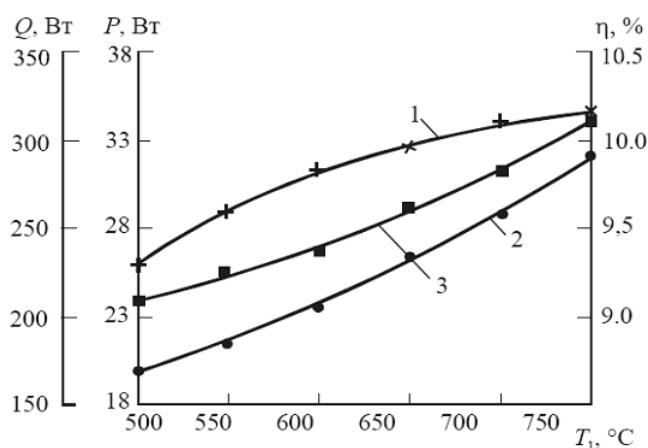


Рисунок 4 – Вихідні характеристики Алтек 1024 ($T = 50\text{ }^\circ\text{C}$):

1 – для ККД, 2 – для електричної потужності; 3 – для теплового потоку

Висновки. Таким чином, розроблено термоелектричний пристрій для перетворення теплової енергії вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання об'ємом циліндрів більш 1.5 л потужністю до 300 Вт із метою заміни електромеханічного генератора. Здійснено відповідний тепловий та електричний розрахунки. Рекуперація цієї енергії до механічного руху автомобіля можлива, якщо установити допоміжний електричний двигун замість електромеханічного генератора. Практичною значимістю отриманих результатів є створення термоелектричного генератора, що встановлюється на

вихлопну трубу автомобіля, спрощує його обслуговування і зменшує витрату палива і може використовуватися для любих типів автомобілів з відповідним типом двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Продан Ю. В. Енергетична безпека України: оцінка та напрямки забезпечення / ред. Ю. В. Продан, Б. С. Стогній; НАН України, Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін.-т». – К., 2008. – 400 с.
2. Городов Р. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Р. В. Городов, В. Е. Губин, В. Е. Матвеев – Томск : Из-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с.
3. Курис Ю. В. Альтернативные источники энергии / Ю. В. Курис. – К. : КНУ, 2008. – 310 с.
4. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів : навчальний посібник / В. Я. Чабанний, С. О. Магопєць, О. Й. Мажєйка., В. М. Кропівний та ін. – Кіровоград : Центрально-Українське видавництво. – 2007. – 391 с.
5. Анатичук Л. І. Вплив повітряного охолодження на ефективність термоелектричного генератора дизельного автомобіля / Л. І. Анатичук, Р. В. Кузь // Термоелектрика. – 2014. – № 2. – С.60-67.
6. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник: пер.с англ. / Х. Уонг – М. : Атомиздат, 2009. – 227 с.
7. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Новые технологии. – 2010. – Вып. 12. – С. 131-138.
8. Universal thermoelectric unit / [M. I. Fedorov, A. E. Engalychev, V. K. Zaitsev, A. E. Kaliazin, F. Yu Solomkin] // Proc. of the XIII International Conference on Thermoelectric Energy Conversion. USA, Kansas. City. – 1994. – P. 324-327.
9. Анатичук Л. И. Теория и компьютерное моделирование автомобильных термоэлектрических генераторов / Л. И. Анатичук, Р. В. Кузь // XIII Межгосударственный Семинар «Термоэлектрики и их применения», (13-14 ноября 2012 г., ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт- Петербург). – С. 65-68.
10. Шостаковский П. Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы Kryotherm / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 9. – С.113-120.

REFERENCES

1. Prodan U.V. (2008) Power safety of Ukraine : estimation and directions of providing. Prodan U.V., B.S. Stogniy; NAN of Ukraine, National technical university Ukraine «Kyiv. polytechnic institute», 400.
2. Cities of P.B. (2009). Unconventional and renewable energy sources. P.B. Cities, V.E. Gubin, V.E. Matveev is Tomsk: Publ. of the Tomsk polytechnic university, 294.
3. Kuris Yu.V. (2008). Alternative energy sources Kuris Yu.V. it is Kyiv: KNU, 310.
4. 4. Chabanniy V.Ya. (2007). Repair of cars. Train aid of V.Ya.Chabanniy, Magopets, O.Y Mazheyka., V.M. Kropivniy and other is Kirovohrad: the Centrally-Ukrainian publ., 391.
5. Anatichuk L.I. (№2, 2014) Influence of the air cooling is on efficiency of thermoelectric generator of diesel car. Anatichuk L.I. Kuz R.V. Thermo-electricity, 60-67.
6. Wong H. Y. (2009). Handbook of Essential Formulae and Data on heat transfer for engineers : handbook: trudedged. with an eng is M: Atomazdat, 227.
7. Shostakovskiy P. (№12, 2010). The Thermo-electric sources of alternative power supply. the New technologists, 131-138.
8. . Fedorov M.I., A.E. Engalychev, V.K. Zaitsev, A.E. Kaliazin, F.Yu Solomkin. (1994). Proc. of the XIII International Conference on Thermoelectric Energy Conversion. USA, Kansas. City, 324-327.

9. Anatichek L.I. Theory and computer design of motor-car thermo-electric generators. (13-14 on November 2012), Anatichek L.I., Kuz R.V. XIII Intergovernmental Seminar «Thermoelectricians and their applications», FTU the name of A.F. Ioffe, Sankt- Petersburg, 65-68.

10. Shostakovskiy P. (№ 9, 2010). Development of the thermo-electric systems of cooling and thermostating by means of the computer program KRYOTHERM, Components and technologists, 113-120.

Литвинова М.Б., Селиверстова С.Р., Штанько А.Д. РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе представлено принципиальное техническое решение и соответствующая конструкция термоэлектрического преобразователя тепловой энергии выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания. Разработано соответствующее тепловое устройство для двигателя с объёмом цилиндров более 1,5 л. мощностью до 300 Вт. Осуществлён соответствующий тепловой и электрический расчёт. Целью является замена электромеханического генератора с помощью установки вспомогательного электрического двигателя к двигателю внутреннего сгорания для эффективной энергии переработки газов, которая выбрасывается в воздух. Дополнительный двигатель устанавливается на выхлопную трубу автомобиля, упрощает его обслуживание, уменьшает расход топлива и может использоваться для любых типов автомобилей с соответствующим типом двигателя.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, рекуперация энергии, электрический генератор.

Litvinova M.B., Seliverstova S.R., Shtan'ko A.D. RECUPERATION OF ENERGY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The paper presents the basic technical solutions and the corresponding construction of the thermoelectric converter of thermal energy of the exhaust gases of internal combustion engine. Develop appropriate device for thermal engine with a volume of 1.5 l power up to 300 watts. Implemented appropriate thermal and electrical calculations. The aim is to replace the electromechanical generator by installing an auxiliary electric motor to the internal combustion engine for the efficient processing of energy gases that are released into the air. Additional motor mounted on the exhaust pipe of a vehicle, simplifies maintenance, reduces fuel consumption and can be used for all types of vehicles with the appropriate type of engine.

Keywords: internal combustion engine, energy recuperation, electrical generator.

© Літвінова М. Б., Селіверстова С. Р., Штанько О. Д.

Статтю прийнято
до редакції 25.09.15

КІНЕМАТИЧНЕ ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ І ГНУЧКІСТЬ ЗАТИСКУ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ АДАПТИВНОГО ТИПУ

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М., Стахурський О.О.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Запропонована система комплексного технологічного оснащення адаптивного типу для багатолезової обробки, яке складається із підсистеми адаптивного затиску заготовки в широкому діапазоні діаметрів та підсистеми адаптивної багаторізевої токарної обробки з механізмами кінематичного подрібнення стружки. Проведено аналіз роботи вирівнювальних пристроїв технологічного оснащення адаптивного типу з кінематичними міжінструментальними зв'язками при багатолезовій обробці. Розроблено комп'ютерну модель затискного пристрою з адаптацією до діаметрів затиску для моделювання його статичних та динамічних силових характеристик. Отримано залежності сумарної радіальної сили затиску від конструктивних та експлуатаційних параметрів, а також положення затискних елементів.

Ключові слова: адаптація, багатолезове різання, підсистема затиску, подрібнення стружки.

Актуальність досліджень. Технологічна система лезової обробки, яка, зокрема, включає інструментальне оснащення та затискні пристрої, здійснює взаємозв'язок між заданими характеристиками чинних у процесі різання об'єктів і факторів, власне процесом складної механіко-фізичної взаємодії заготовки і лез інструментів (різанням) і результуючими параметрами обробки. Результуючі параметри визначають ефекти та показники обробки. Серед останніх доцільно вирізняти первинні (точність деталі, якість поверхні, продуктивність обробки, надійність системи), від яких, в значній мірі, залежні інтегральні показники (енергоємність, економічність та інші) [1, 2]. Як ефективний засіб зменшення перевантажень верстатно-інструментальних систем, підвищення точності та продуктивності різання, забезпечення його вібростійкості та подрібнення стружки може служити комплексне технологічне оснащення адаптивного типу [3]. Воно складається із адаптивної підсистеми затиску й адаптивної підсистеми обробки заготовки, які пов'язані між собою та повинні забезпечувати виконання основної функції – забезпечення точної та якісної обробки поверхонь обертання.

Встановлення деталі та її утримання в процесі обробки супроводжується комплексом фізичних явищ, серед яких: пружні відтискання в підсистемі затиску, що включає привід та затискний патрон; пружні та пластичні деформації деталей та стиків і порушення фізичних зв'язків між ними; теплові та інші явища. Здатність підсистеми затиску верстата виконувати робочі функції при змінах умов роботи істотно залежить від можливості їх пристосування до змінних факторів впливу [1, 2].

Зливна стружка, яка утворюється у процесі обробки в'язких металів, сильно заважає ефективній роботі металообробного обладнання, а в окремих випадках призводить до їх поломки. Така стружка також є травмонебезпечною для обслуговуючого персоналу. Тому подрібнення стружки є невід'ємним етапом металообробки в сучасному машинобудуванні. Адаптивна підсистема обробки на базі багатолезових самоналагоджувальних інструментальних систем дозволяє розв'язати ряд питань щодо забезпечення високих якісних характеристик оброблення, в тому числі подрібнення стружки.

Тому розробка та дослідження комплексного технологічного оснащення, підсистеми затиску й інструментальні підсистеми якого можуть адаптуватися до характеристик заготовки, навантаження, а також забезпечувати подрібнення стружки у процесі роботи є актуальною науковою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Важливою складовою комплексного технологічного оснащення адаптивного типу для токарної обробки є пристрої для затиску заготовок. (рис.1). У результаті аналізу досліджень основних характеристик пристроїв для затиску

заготовок токарних верстатів та процесів, які в них відбуваються, можна виділити наступні напрямки їх адаптації [1–3]: 1) адаптація до геометрії (самоприспосовуваність до форми заготовок, до різних діаметрів заготовок та їх відхилення, до діапазону затиску оброблюваних заготовок); 2) адаптація по навантаженню (забезпечення постійної сили затиску при зміні умов обробки та геометричних параметрів заготовки; забезпечення регулювання сили затиску у процесі обробки на різних режимах та при зміні сил тертя та зчеплення); 3) адаптація для забезпечення необхідної жорсткості системи затиску (забезпечення однакового радіального зміщення деталі в різних положеннях різального інструменту за рахунок регулювання бази затиску; забезпечення однакової радіальної жорсткості затискного пристрою в різних кутових положеннях та ін.); 4) адаптація для забезпечення необхідної точності затиску (забезпечення точного позиціонування заготовки після її базування та затиску; забезпечення компенсації зміщень, викликаних силами затиску та різання; здійснення вибірки зазорів в елементах конструкції); 5) адаптація для забезпечення необхідної динамічної якості (автоматична компенсація відцентрових сил в затискному пристрої; активне балансування затискного пристрою в процесі обробки; активне демпфування коливань в затискному пристрої). Одним із дуже важливих напрямків адаптації підсистеми затиску заготовки є геометрична адаптація до діапазону діаметрів оброблюваних заготовок [1, 2].

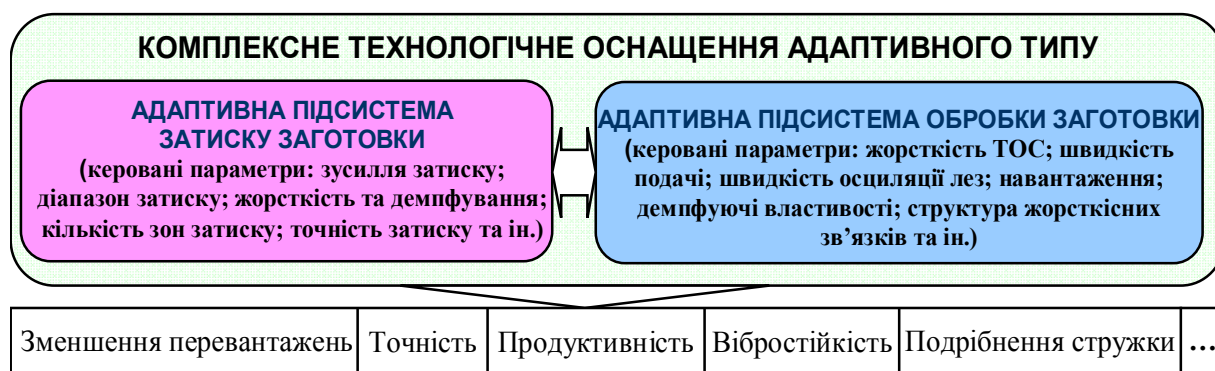


Рисунок 1 – Складові самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки

Не менш важливою складовою комплексного технологічного оснащення адаптивного типу є багатолезове інструментальне оснащення (рис.1). При багатолезовій обробці із кінематичними між інструментальними зв'язками (КМІЗ) можуть утворюватись як стружки сколювання і надлому, так і зливна стружка [1, 4]. Різання пластичних матеріалів з великими швидкостями призводить до утворення саме зливної стружки, яка є найбільш небезпечною для функціонування обладнання. За допомогою зміни подачі в якості параметра керування можна організувати надзвичайно тонкий і чутливий механізм керування пружними переміщеннями. Зміна ж подачі, пов'язана із зміщеннями вздовж напрямку подачі (осі X) не впливає негативно на якість поверхні. Забезпечення рухомості різальних елементів багатолезового оснащення адаптивного типу в напрямку подачі, а, отже, варіювання миттєвих подач цих елементів і відповідно зміни товщини зрізу, призводить до подрібнення стружки. Найбільш ефективним і надійним способом подрібнення стружки при обробці із застосуванням багатолезового інструментального оснащення адаптивного типу є кінематичне подрібнення [1, 4]. При цьому досягається стабільне утворення елементів стружки розрахованої довжини незалежно від виду матеріалу, а також більшості умов обробки. Можливість гарантованого утворення елементів стружки забезпечується самим механізмом кінематичного міжінструментального зв'язку. Адже коливання різальних елементів системи в напрямку подачі можна задати налагодженням КМІЗ чи умовами різання, і отримати вимушені взаємопов'язані зворотно-поступальні переміщення різальних лез без додаткової зміни конструкції верстатно-інструментального оснащення.

Постановка задач дослідження. У результаті аналізу можна виділити два напрями досліджень, які стосуються адаптивної підсистеми затиску та адаптивної підсистеми обробки комплексного технологічного оснащення адаптивного типу.

Аналізуючи стружкоутворення при багатолезовій обробці із застосуванням КМІЗ дізнаємося, що елементи стружки можуть утворюватись як в процесі неперервного різання, так і за рахунок дроблення стружки під час обробки. У першому випадку утворення елементів стружки визначається самою фізикою процесу різання та її особливостями для лезової обробки, що характерно і для обробки із застосуванням КМІЗ. Проте, внаслідок коливних рухів різальних елементів очевидно змінюються суттєво умови різання на кожному із них. При цьому, має місце певна нерівномірність процесу стружкоутворення. Ступінь цієї нерівномірності залежить від величин параметрів верстатно-інструментального оснащення із КМІЗ, його налагодження, режимів обробки та умов різання. Виходячи із цього, пропонується основні кінематичні параметри багатолезового різання із КМІЗ для забезпечення подрібненні стружки отримувати на основі аналізу портретів розгорток обробленої поверхні з траєкторіями руху різальних лез.

Аналіз напрямків адаптації підсистеми затиску заготовки до широкого діапазону діаметрів оброблюваних заготовок свідчить про доцільність реалізації структур затискних пристроїв на базі дискретно-неперервних схем охоплення діаметрів заготовок, що зменшує кількість затискних елементів і скорочення часу адаптації до певного діаметра поверхні затиску. Тому ще однією задачею є розробка комп'ютерної моделі для дослідження статичних та динамічних характеристик затискних пристроїв, створених на основі дискретно-неперервної схеми охоплення діаметрів заготовок, яка б враховувала реальну геометрію елементів затискного пристрою, положення затискних елементів та податливість стиків для визначення його потенційних можливостей при усталеному обертанні.

Дослідження стружкоутворення багатолезовими самоналагоджувальними інструментальними системами. Зміна фізичної картини перетворення окремих елементів зрізаного шару в стружку може стосуватись пластичного деформування і руйнування оброблюваного матеріалу, процесів тертя на конкретних поверхнях, або змінювати лише механіку окремих елементів стружки. Тоді, коли при однакових умовах при звичному різанні отримують неперервну, міцну стружку зливної форми, то при обробці із КМІЗ може утворюватись стружка подрібненої форми. Адже, з одного боку застосування КМІЗ суттєво впливає на зміну геометрії різання, може полегшувати процес руйнування матеріалу, при цьому можуть змінюватись і кут дії, і кут сколювання (зсуву).

З іншого боку, внаслідок коливних рухів різальних елементів суттєво змінюється товщина і ширина стружки. При значних коливаннях площі поперечного перерізу стружки міцність її по слабкому січенні (зокрема по впадині) може виявитись недостатньою і стружка зламається. Таким чином, утворюються елементи стружки у вигляді окремих спіральок, кілець чи завитків. При обриві елементів стружки посилюється нерівномірність процесу стружкоутворення, що сприяє подальшому подрібненню. Довжина елементів стружки зменшується із збільшенням нерівномірності умов різання на різальних елементах.

Найбільш суттєвим для формування стружки є товщина зрізаного шару, значення переднього кута інструменту та швидкості різання [4, 5]. Зливна стружка, наприклад, при дволезовій токарній обробці із КМІЗ, на перший погляд, не відрізняється від стружки, отриманої при звичайному поздовжньому точінні, проте, в дійсності, при обробці із КМІЗ діє ряд факторів, що суттєво впливають на стружкоутворення. Подача при багатолезовому різанні із КМІЗ (для будь-яких видів обробки) поділяється між різальними елементами і є величиною змінною. Таким чином, змінною є і товщина зрізаного шару кожним різцем, змінюються і кінематичні передні кути різальних елементів. Величина товщини зрізаного шару є пропорційною величині подачі: $a_{zp} = s \sin \varphi$. Очевидно, що при багатолезовій обробці із КМІЗ товщина різку є величиною змінною:

$$a_{зр} = s / n [1 + \Delta s_n(t) / s] \cdot \sin \varphi,$$

де $\Delta s_n(t)$ – різниця у значеннях миттєвих подач двох сусідніх різальних елементів відповідно до їх слідів.

Ця формула показує, що при багатолезовій обробці стружка виявляється тоншою, ніж при однорізцевої обробці, але змінної товщини. Це створює умови для переходу, при певних умовах, зливної стружки в елементну.

На основі портретів розгорток обробленої поверхні з траєкторіями руху різальних лез (рис. 2, 3) отримані співвідношення між подачами різальних елементів на відповідних етапах утворення стружки при використанні технологічного оснащення адаптивного типу.

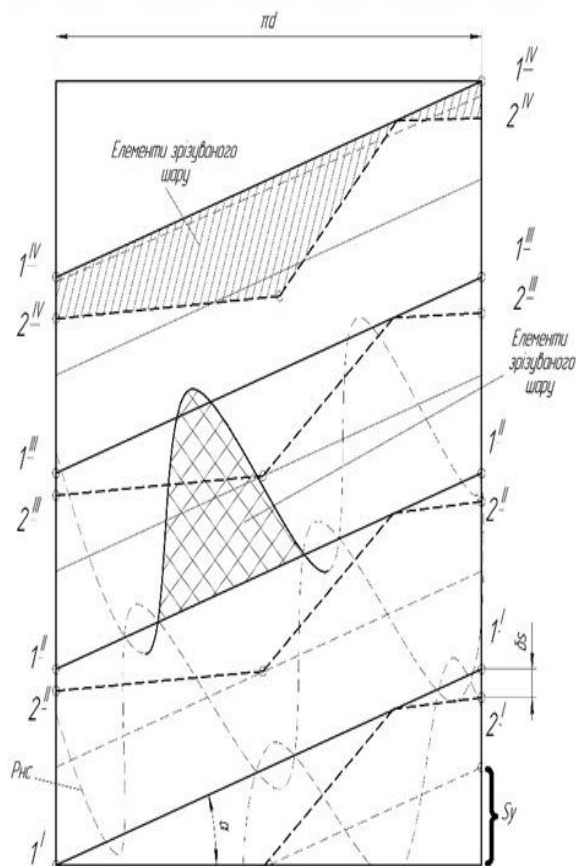


Рисунок 2 – Траєкторії руху різальних лез при усталеній дволезовій обробці, коли один різець жорсткий, а інший коливається

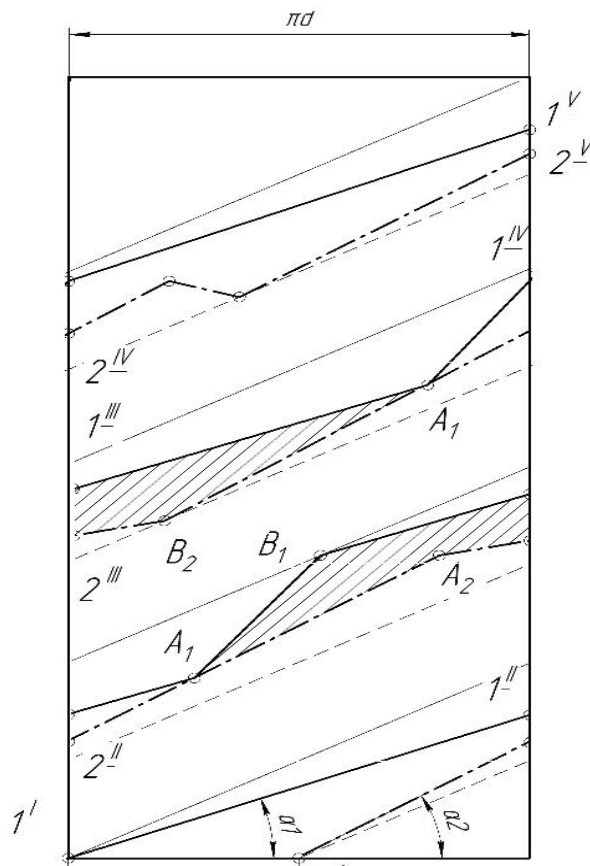


Рисунок 3 – Типова розгортка траєкторій руху різальних лез при нерівномірній дволезовій обробці

Досліджена кінематика утворення елементів стружки таким оснащенням показала, що для обробки внутрішніх поверхонь доцільніше використовувати в якості додаткових рухів зворотно-поступальні коливання інструменту, а при обробці зовнішніх поверхонь – зворотно-гойдальні чи зворотно-поступальні коливання. При усталеній дволезовій обробці траєкторії двох сусідніх лез є паралельними лініями. За один оберт усталена подача кожного різця становить $s_y = s/2$. Траєкторія різця 1 позначена суцільною прямою, а траєкторія різця 2 – штриховою лінією. Арабські цифри стосуються різців, а верхні індекси, що позначені римськими цифрами – відповідних проходів. Уявімо тепер, що при дволезовій обробці один різець закріплений жорстко, а інший коливається (рис. 2).

При більшій подачі різця 2 порівняно з різцем 1 їхні сліди з часом перетнуться, утвориться елемент стружки, а потім різець 2 повертається в початкове відносне положення (його траєкторія позначена штриховою ламаною лінією). Якщо різець змусити коливатись за синусоїдою, то різальні елементи можуть навіть виходити із контакту із заготовкою.

У випадку дволезової обробки із КМІЗ (рис. 3) умови різання на різальних лезах 1 і 2 можуть виявитись різними. При цьому траєкторії руху (прямої лінії) будуть мати різні кути нахилу i , при чому

$$\alpha_1 = \arctg \left[\frac{s_1}{\pi d / 2} \right] ; \quad \alpha_2 = \arctg \left[\frac{s_2}{\pi d / 2} \right] .$$

Співвідношення між подачами внаслідок функціонування КМІЗ можна записати як $s_1/s_2 = K_2/K_1$, де K_1 і K_2 – коефіцієнти, які характеризують відмінності в різанні різальних елементів 1 і 2, причому також виконується умова $s_1 + s_2 = s$. Тоді подачі на першому етапі різання можна визначити як:

$$s_1 = K_2 s / (K_1 + K_2) ; \quad s_2 = K_1 s / (K_1 + K_2) .$$

Через певний час від початку обробки сліди від різальних лез 1 і 2 перетнуться. Цьому моменту відповідатиме т. A_1 (для різального елемента 1) і т.д. A_2 (для різального елемента 2). Таким чином, через те, що різальний елемент 2 змушений знімати весь припуск самостійно, він зупиниться (горизонтальний фрагмент штрихової траєкторії), а різальний елемент 1 рухається з подачею з початкового відносного положення. На рис. 3 показана характерна розгортка для чотирьох обертів деталі.



Рисунок 4 – Фотографія фрагментів подрібненої стружки

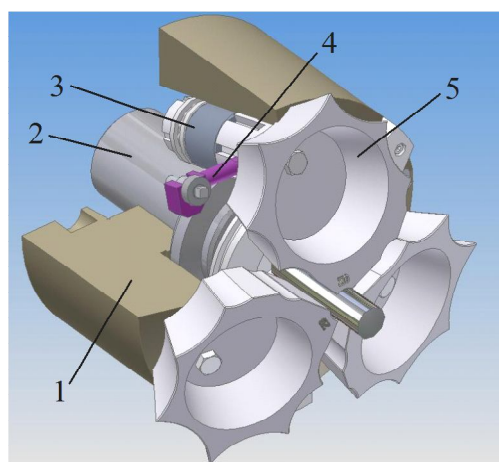
Впливати на процес утворення фрагментів стружки поряд із відношенням K_i/K_j і зв'язками між різальними елементами може також і нерівномірність розміщення різальних лез по периметру заготовки. Інколи таке розміщення з метою правильної орієнтації різальних елементів відносно головних осей жорсткості, чим зменшується можливість структурної нестійкості динамічної верстатно-інструментальної системи.

При стружкоподрібненні із самоналагоджувальною обробкою утворюються елементи стружки різних розмірів (рис. 4). При різних режимах і геометрії різальних лез досягається стабільне подрібнення. Для вивчення процесу подрібнення стружки використовувались самоналагоджувальні інструменти адаптивного типу. Оброблялась деталь із сталі 40ХН. Ситовий аналіз дозволив розділити стружку на фракції різної довжини. При цьому було помічено, що майже 80 % вмісту фракцій стружки для самоналагоджувального інструмента відповідали очікуваному діапазону 4–6 мм, який був попередньо розрахований відповідно до режимів обробки, тоді як для жорсткого інструмента ця величина майже ніколи не досягає 50 % і в загальному є випадковою. Порівнюючи отримані результати переконуємось, що формування певного розміру стружки, який є найбільш прийнятним до транспортування та одночасно не заважає протіканню процесу різання є здебільшого на 20 % стабільнішим, ніж при обробці жорстким інструментом, коли впливати на процес утворення стружки майже неможливо.

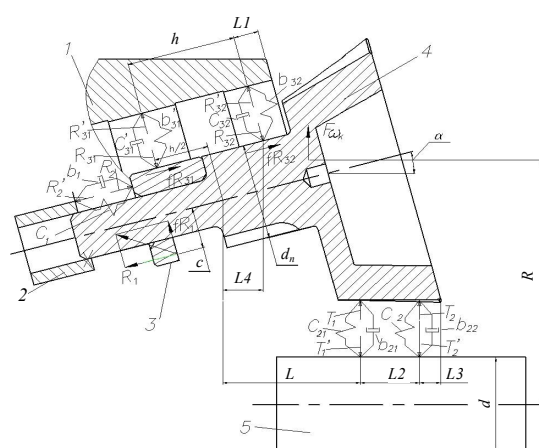
Дослідження статичних та динамічних характеристик затискних пристроїв, що забезпечують їх адаптацію до діапазону діаметрів. Реалізація дискретно-неперервної схеми охоплення заготовок одним або декількома (двома, трьома)

комплектами затискних елементів вимагає вирішення задач, пов'язаних із пошуком та вибором принципів адаптації. Одним із таких принципів є запропонований принцип інтеграції діапазонів затиску в затискному елементі [1, 2]. На основі цього принципу розроблений затискний патрон плунжерного типу (рис. 5), що має багатопрофільні затискні елементи, які при переході на інший діапазон затиску повертаються у відповідне положення.

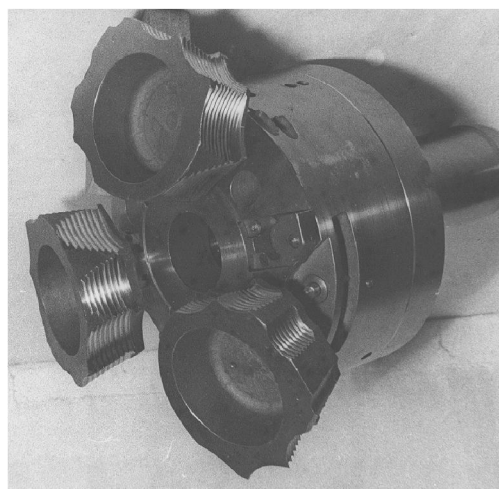
Для виконання повноцінного кінематичного та динамічного аналізу затискного патрона плунжерного типу використано CAE-систему COSMOSMotion. Визначення статичних та динамічних силових характеристик проводилося по розробленій на основі розрахункової схеми (рис. 6а) комп'ютерній моделі (рис. 6б), яка враховує масово-інерційні характеристики деталей затискного патрона, що приймають участь у передачі силового потоку від приводу затиску до заготовки, та зв'язків між ними. Розроблена модель також враховує податливості стиків «затискний елемент-деталь», «плунжер-корпус», «привідна втулка-плунжер», їх демпфувальні властивості, та тертя між рухомими елементами ЗП.



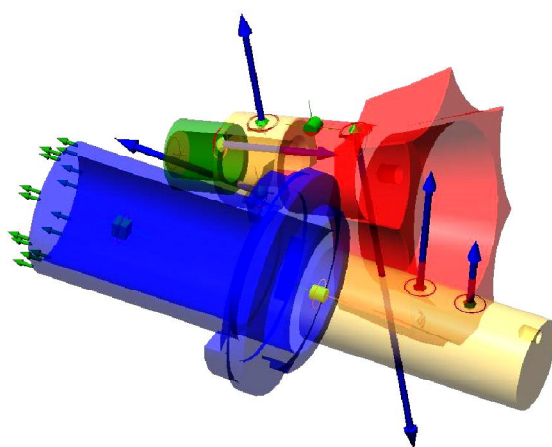
а)



а)



б)



б)

Рисунок 5 – Затискний патрон плунжерного типу: а) CAD – модель; б) дослідний зразок: 1 – корпус; 2 – привідна втулка; 3– плунжер; 4 – механізм фіксації; 5 – багатопрофільний ЗЕ

Рисунок 6 – Розрахункова схема (а) та комп'ютерна модель (б) для визначення динамічних силових характеристик затискного патрона з багатопрофільними затискними елементами

Моделювання руху затискного патрона, елементи якого навантажені осьовою силою від приводу затиску (діапазон навантажень $S_z = 10 \dots 45$ кН), проводилося при зміні частоти обертання від 0 до 4000 хв⁻¹ та різних положеннях затискного елемента. За

результатами обробки даних, отриманих в процесі моделювання (рис. 7), побудовано залежності сумарної радіальної сили затиску T_Σ (рис. 8) для його різних положень в залежності від частоти обертання затискного патрона та осьової сили приводу затиску.

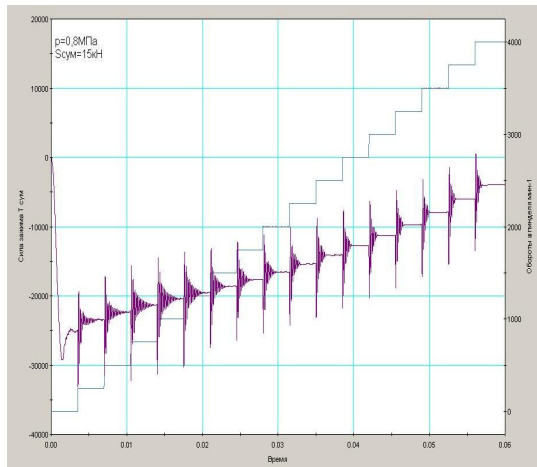


Рисунок 7 – Результати моделювання T_Σ в процесі обертального руху затискного патрона при ступінчастій зміні частоти обертання для $d = 60$ мм при $S_\Sigma = 15$ кН

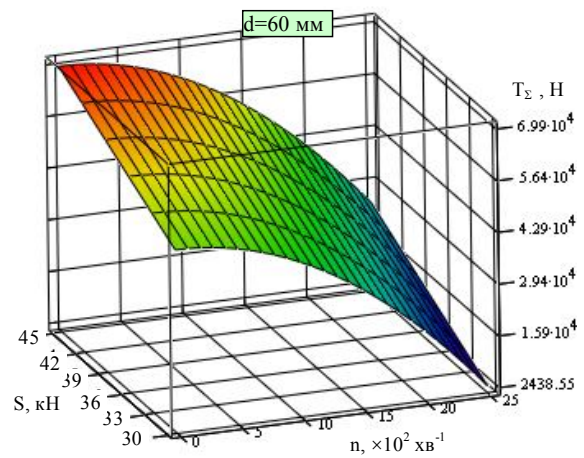


Рисунок 8 – Залежність сумарної радіальної сили затиску T_Σ від частоти обертання затискного патрона n , та сили приводу S_Σ при $d = 60$ мм

Аналіз отриманих залежностей показує, що інтенсивність зниження сумарної радіальної сили затиску T_Σ суттєво залежить від кутового положення багатопрофільного затискного елемента, що спричиняється зміною положення його центра мас в радіальному та осьовому напрямі (наприклад, при $d = 20$ мм радіус розташування центра мас $R = 55$ мм, а при $d = 100$ мм – $R = 82$ мм; це призводить до зниження допустимої частоти обертання патрона в 1,67 рази). За результатами моделювання для спроектованого затискного патрона з діаметром корпуса 200 мм (рис.5) допустимі частоти обертання для затиску заготовок в діапазоні діаметрів 20...100 мм набувають значень від 3500 до 2100 хв^{-1} при максимальній силі приводу затиску 30 кН.

Результати комп'ютерного моделювання підтверджуються результатами експериментальних досліджень дослідного зразка затискного патрона (рис. 6).

Висновки. Проведений аналіз роботи вирівнювальних пристроїв технологічного оснащення адаптивного типу з КМІЗ при багатолезовій обробці виявив їх переваги для дроблення стружки порівняно з існуючими методами. Кінематика утворення елементів стружки підтвердила можливість використання міжінструментального зв'язку для кінематичного подрібнення стружки за рахунок задання вимушених взаємно-пов'язаних зворотно-поступальних переміщень різальних лез. При цьому гарантоване утворення елементів стружки забезпечується самим механізмом кінематичного міжінструментального зв'язку. На основі розробленої комп'ютерної моделі затискного патрона плунжерного типу отримано його статичні та динамічні силові характеристики. Встановлено вплив конструктивних та експлуатаційних параметрів, а також положення багатопрофільних затискних елементів на залежність сумарної радіальної сили затиску від частоти обертання. Визначено допустимі частоти обертання спроектованого затискного патрона плунжерного типу з діаметром корпуса 200 мм, при яких забезпечується надійний затиск деталі в процесі обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах : монографія / [Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Шевченко О. В., Волошин В. Н.]. – К. :– Тернопіль : Терно-граф, 2011. – 692 с.
2. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ [Кузнецов Ю. Н., Драчев О. И., Луцев И. В., Шевченко А. В., Волошин В. Н.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 480 с.
3. Луців І. В. Комп'ютерне моделювання складових самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки / Луців І. В., Волошин В. Н., Буховець В. М. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні. – 2012.– Випуск 746. – С. 28-31.
4. Луцев И. В. Эффективные способы дробления сливной стружки / Луцев И. В., Нагорняк С. Г. // Технология и организация производства. – 1990. – № 4. – С. 30-32.
5. Максаров В. В. Теория и методы моделирования и управление процессом стружкообразования при лезвийной механической обработке : дис. ... доктора техн. наук: 05.03.01 / Максаров В. В. – СПб, 1999. – 340 с.
6. Максимова А. Н. Повышение эффективности механической лезвийной обработки на основе имитационного моделирования динамики технологической системы с учетом процесса стружкодробления. – автореф. дис. ... доктора техн. наук / Максимова А. Н. / СПб, 2000. – 21 с.

REFERENCES

1. Tekhnologichne osnathennya dlya visokoeftivnoї obrobki detaley na tokarnikh verstatakh : monografiya / [Kuznecov Yu. M., Luciv I. V., Shevchenko O. V., Voloshin V. N.]. – K. :– Ternopilj : Terno-graf, 2011. – 692 s.
2. Zazhimnihe mekhanizmih i tekhnologicheskaya osnastka dlya vihsokoehffektivnoy tokarnoy obrabotki: monografiya/ [Kuznecov Yu. N., Drachev O. I., Luciv I. V., Shevchenko A. V., Voloshin V. N.]. – Starihyj Oskol : TNT, 2014. – 480 s.
3. Luciv I. V. Komp'yuterne modelyuvannya skladovikh samonalagodzhualjnogo kompleksnogo osnathennya dlya tokarnoї obrobki / Luciv I. V., Voloshin V. N., Bukhovecj V. M. // Visnik Nacionaljnogo universitetu «Ljvivsjka politehnika». Optimizaciya virobnichikh procesiv i tekhnichnij kontrolj v mashinobuduvanni. – 2012.– Vipusk 746. – S. 28-31.
4. Luciv I. V. Ehffektivnihe sposobih drobleniya slivnoy struzhki / Luciv I. V., Nagornyak S. G. // Tekhnologiya i organizaciya proizvodstva. – 1990. – № 4. – S. 30-32.
5. Maksarov V. V. Teoriya i metodih modelirovaniya i upravlenie processom struzhkoobrazovaniya pri lezviyjnoy mekhanicheskoy obrabotke : dis. ... doktora tekhn. nauk: 05.03.01 / Maksarov V. V. – SPb, 1999. – 340 s.
6. Maksimova A. N. Povichshenie ehffektivnosti mekhanicheskoy lezviyjnoy obrabotki na osnove imitacionnogo modelirovaniya dinamiki tekhnologicheskoy sistemih s uchetoм processa struzhkodrobleniya. – avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk / Maksimova A. N. / SPb, 2000. – 21 s.

Луцив И.В., Волошин В.Н., Буховец В.Н., Стахурский А.А. КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ДРОБЛЕНИЕ СТРУЖКИ И ГИБКОСТЬ ЗАЖИМА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ АДАПТИВНОГО ТИПА

Предложенная система комплексной технологической оснастки адаптивного типа для многолезвийной обработки, состоящая из подсистемы адаптивного зажима заготовок в широком диапазоне диаметров и подсистемы адаптивной многолезвовой токарной обработки с механизмами кинематического дробления стружки. Проведен анализ работы выравнивающих устройств технологической оснастки адаптивного типа с кинематическими межинструментальными связями при многолезвийной обработке. Разработана компьютерная модель зажимного устройства с адаптацией к диаметрам зажима для моделирования его статических и динамических силовых характеристик. Получены зависимости суммарной радиальной силы зажима от конструктивных и эксплуатационных параметров, а также положения зажимных элементов.

Ключевые слова: адаптация, многолезвийное резание, подсистема зажима, дробление стружки.

Luciv I.V., Voloshin V.N., Bukhovec V.N., Stakhurskiy A.A. INEMATICAL CHIP CONTROL CLIP AND FLEXIBILITY INTEGRATED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ADAPTIVE TYPE

The proposed system of adaptive type of complex tooling for multiblade processing subsystem consisting of adaptive clamping workpieces in a wide range of diameters and adaptive subsystem Gang turning a kinematic chip control mechanisms. The analysis of the work of leveling devices adaptive type tooling with kinematic mezhinstrumentalnymi ties with multiblade processing. A computer model of the clamping device with adaptation to the clamping diameter to simulate its static and dynamic power characteristics. The dependence of the total radial clamping force on the design and operating parameters, as well as the position of the clamping elements.

Keywords: adaptation, multiblade cutting, clamping subsystem, chip control.

© Луців І. В., Волошин В. Н., Буховець В. М., Стахурський О. О.

Статтю прийнято
до редакції 01.10.2015

КОМБІНАТОРИКА ДВОХ-, ТРЬОХ- І ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ АНАЛІЗ

Настасенко В.О.

Херсонська державна морська академія

У даний час створенню нових композиційних матеріалів і технологій їх утворення приділяється велика увага, однак охоплення всього різноманіття можливих їх комбінацій без застосування наукових основ неможливе. Найбільш повно цим вимогам задовольняють математична комбінаторика та системні методи вибору кінцевих рішень. На їх основі проведений аналіз типових рішень і структур композиційних матеріалів, з оцінкою їх по 5 рівням складності вирішуваних завдань – від найпростіших, з комбонуванням відомих елементів і технологій, до синтезу нових матеріалів на рівні наукових відкриттів, для яких поки ще не знайдені, ні комбонувальні елементи, ні технології. Запропоновані структури, принципи і прийоми можуть бути рекомендовані для використання при розробках нових композиційних матеріалів.

Ключові слова: композиційні матеріали, умови їх синтезу і технології їх утворення і відбору.

Вступ. Зв'язок проблеми з основними науковими напрямками. Робота відноситься до галузей матеріалознавства та комбінаторики, зокрема – до комбінування елементів композиційних матеріалів і визначення їх можливостей при синтезі нових структур на науково-математичній основі.

Аналіз стану проблеми, вибір мети і завдань досліджень. Створення нових композиційних матеріалів і технологій їх виробництва є важливим і актуальним завданням, оскільки з ростом потреб суспільства у новій техніці і технологіях ростуть проблеми вживання нових матеріалів з кращими експлуатаційними властивостями, одержуваних високоекономічними методами. При великому різноманітті таких матеріалів та їх складових компонентів, зростає роль наукового підходу до їх отримання у великій кількості та у широких межах, а також до оцінки можливостей охоплення всіх сполучень і кінцевих комбінацій. Найбільш повно цим можливостям задовольняють: 1) математична комбінаторика [1], 2) системні методи вибору кінцевих рішень [2].

Комбінаторика передбачає формування різних сукупностей множини M , що містить n елементів. При цьому розрізняють 3 основних види з'єднань множин: розміщення, перестановки і поєднання [1].

Розміщення з n елементів по кількості k – це впорядковані сукупності, в яких вони відрізняються один від одного порядком елементів або їх складом. Загальне число розміщень з n елементів у кількості k становить:

$$A_n^k = n(n-1)\dots(n-k+1). \quad (1)$$

Перестановки – розміщення з n елементів по n , їх число становить величину:

$$P_n = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n = n! \quad (2)$$

Сполучення з n елементів по кількості k – це невпорядковані сукупності елементів множини M , що містять по k елементів, при якому 2 поєднання вважаються різними лише в тому випадку, коли вони відрізняються хоча б одним елементом.

Наукові основи визначення множини можливих рішень і оцінка їх рівня при створенні композиційних матеріалів є головною метою виконуваної роботи і становить її наукову новизну.

Обґрунтування можливих варіантів синтезу композиційних матеріалів.

В основу подальших досліджень були покладені структурні схеми поєднань вхідних параметрів та їх кінцевих комбінацій. При цьому враховували, що композиційні матеріали відрізняються від хімічних сполук, в яких властивості вхідних речовин істотно відрізняються від кінцевих продуктів (наприклад: Na – агресивний метал, Cl – отруйний газ, а їх хімічна сполука NaCl – кухонна сіль, є харчовим продуктом). Для композитів не

проявляються властивості ізомерії, пов'язані з різною будовою або розташуванням однакових атомів, характерних для органічних речовин, також ведучих до різних властивостей кінцевих продуктів (наприклад в одній і тій же за складом хімічній речовині $(\text{CH})_2(\text{COOH})_2$ його цис- і транс-форми, які відрізняються одностороннім і різнобічним розташуванням груп COOH відносно площини подвійного зв'язку вуглецю $\text{C} = \text{C}$, ведуть до різних кінцевих речовин: малеїнової кислоти – цис-ізомер, або фумарової кислоти – транс-ізомер [3]). На відміну від сплавів, у яких кількісні коливання складу хімічних елементів ведуть до появи зон локальних екстремумів з різкою зміною властивостей кінцевих продуктів (наприклад: сплав залізо-вуглець з 6.67% C веде до утворення чавуну [4]), у композитів такі зміни проявляються повільніше, що істотно впливає на характер проведення їх досліджень. При цьому значно зменшується кількість реальних комбінацій нових форм, у порівнянні з визначеним по залежностях (1) і (2), що потребує пошуку нових розрахункових залежностей.

Початковою є найпростіша система з 2-х елементів А і Б, для якої $n = 2$, $k = 2$, що показана на рис. 1.

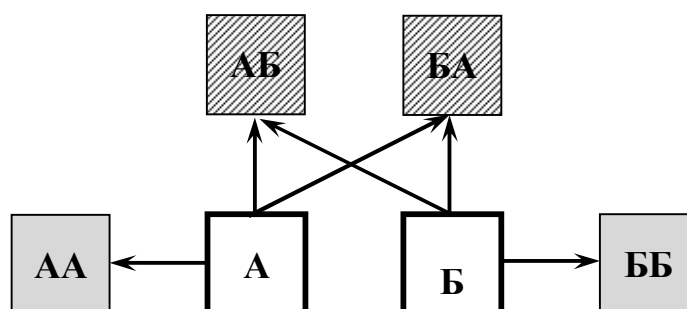


Рисунок 1 – Структурна схема для формування двохелементних композиційних матеріалів на базі 2-х вхідних речовин

При аналізі даної структури враховували, що збільшення вихідної кількості елементів (АА, ББ) не дає нових якісних рішень як і наявність дзеркальних ізомерів АБ і БА. Тому кінцева кількість N можливих комбінацій композиту з параметрами $n = 2$, $k = 2$ може бути визначена числовим виразом (3):

$$N_{2-2} = 2^2 - 2 - \frac{2}{2} = 1. \quad (3)$$

Для системи з 3-х вхідних елементів А, Б та В двохелементних кінцевих структур, для яких $n = 3$, $k = 2$, структурна схема можливих комбінацій рішень показана на рис. 2. У цьому випадку, за інших умов, однакових з попереднім варіантом для виключення кількісних змін АА, ББ, ВВ та ізомерів АБ, БА, АВ, ВА, БВ, СВ, кінцева кількість N можливих комбінацій композитів із параметрами $n = 3$, $k = 2$ може бути визначена числовим виразом (4):

$$N_{3-2} = 3^2 - 3 - \frac{6}{2} = 3. \quad (4)$$

На базі числових виразів (3) і (4) може бути отримана узагальнена залежність (5), яка вірна для визначення кількості реально можливих композиційних матеріалів при будь-якій кількості вхідних елементів n двокомпонентних кінцевих композиційних матеріалів $k = 2$.

$$N_{n-k} = \frac{1}{2}(n^k - n) \quad (5)$$

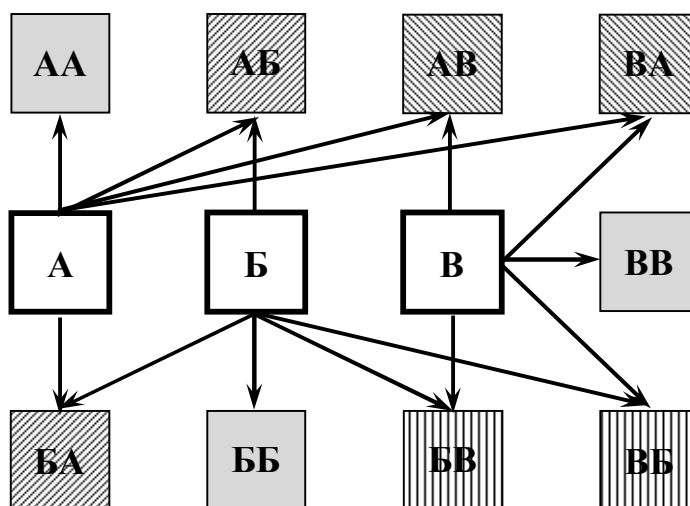


Рисунок 2 – Структурна схема для формування двохелементних композиційних матеріалів на базі 3-х вхідних речовин

Для системи з 4-х вхідних елементів А, Б, В і Г ($n = 4$) двохелементних кінцевих речовин ($k = 2$), структурна схема можливих комбінацій рішень показана на рис. 3, а кінцева кількість N можливих комбінацій синтезу композитів може бути визначена числовим виразом (6), який підтверджує вірність отриманої залежності (5):

$$N_{n-k} = \frac{1}{2}(n^k - n) = \frac{1}{2}(4^2 - 4) = 6. \quad (6)$$

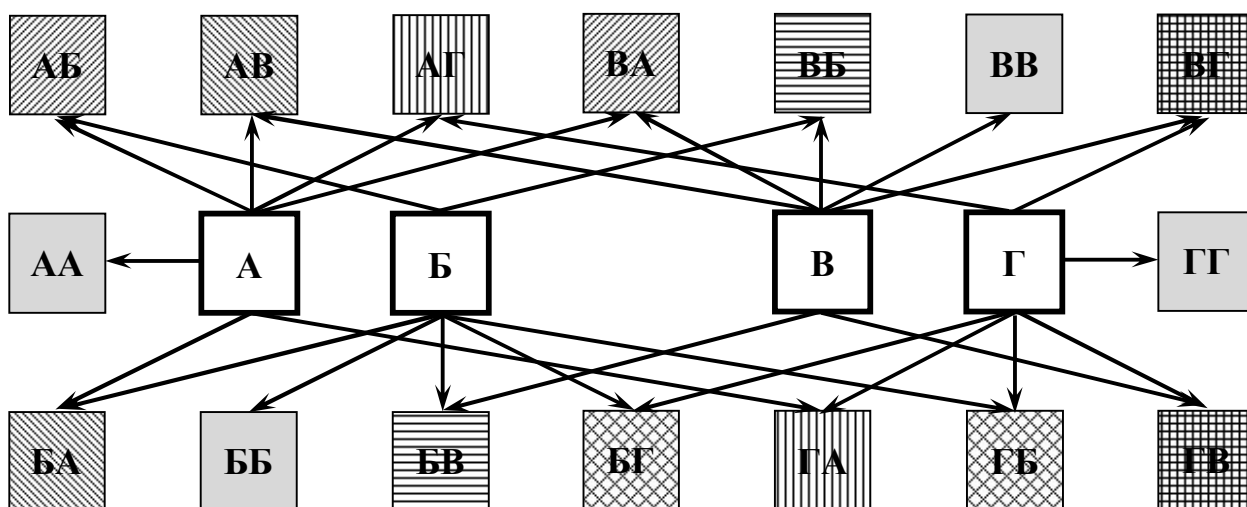


Рисунок 3 – Структурна схема для формування двохелементних композиційних матеріалів на базі 4-х вхідних речовин

Для системи із 3-х вхідних елементів А, Б і В ($n = 3$) трьохелементний кінцевих речовин ($k = 3$), структурна схема можливих комбінацій рішень показана на рис. 4, а кінцеве кількість N можливих комбінацій синтезу композитів може бути визначена числовим виразом (7), в якому дзеркальних ізомерів 18 штук і тільки 6 комбінацій (на рис. 4 показані білим кольором) не мають ізомерії, що дає 15 варіантів можливих кінцевих рішень:

$$N_{3-3} = 3^3 - 3 - \frac{18}{2} = 15. \quad (7)$$

Узагальнена залежність для визначення неповторюваної кількості можливих комбінацій композиційних матеріалів має вид (8):

$$N_{n-k} = n^k - n^{k-1} - n = 3^3 - 3^2 - 3 = 27 - 9 - 3 = 15. \quad (8)$$

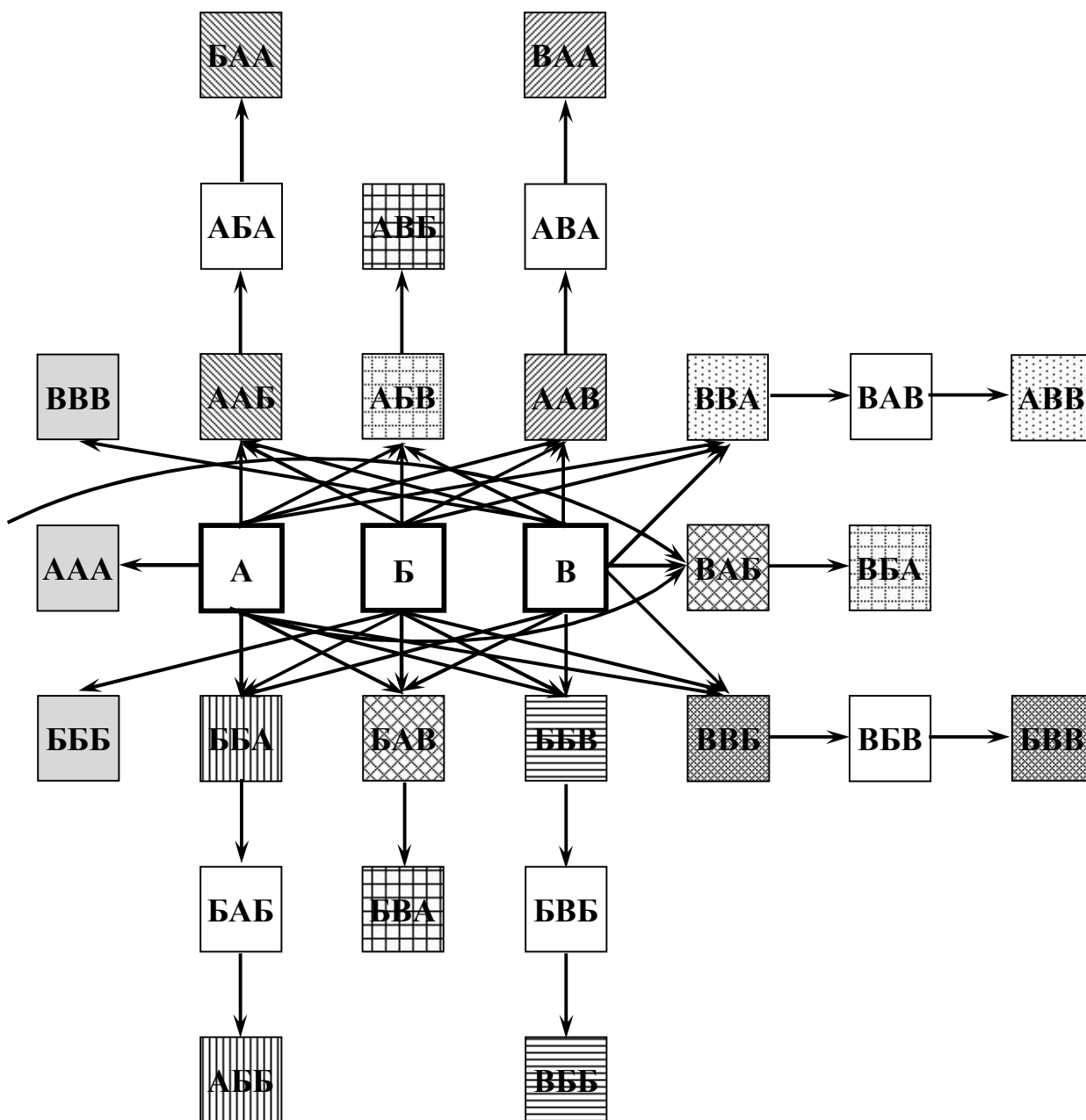


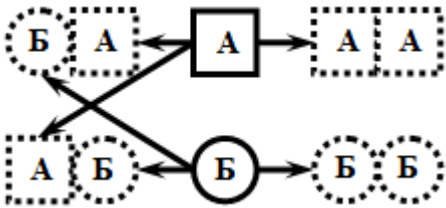
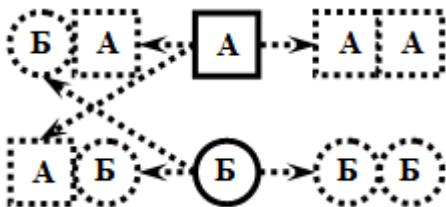
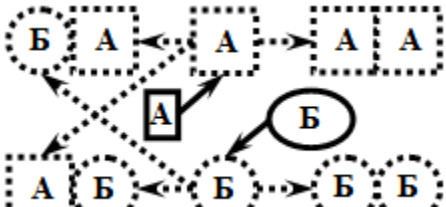
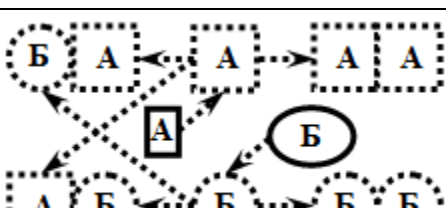
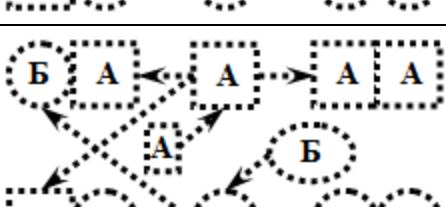
Рисунок 4 – Структурна схема для формування трьохелементних композиційних матеріалів на базі 3-х вхідних речовин

Аналогічним образом можуть бути визначені інші можливі комбінації вхідних і кінцевих структур композиційних матеріалів, використання яких полегшує планування та проведення експериментальних досліджень. Дані структури дозволяють охопити все поле можливих рішень без пропуску будь-якого із реально існуючих варіантів.

Аналіз можливих варіантів синтезу композиційних матеріалів. В основу аналізу покладена ієрархія рівнів складності основних типів творчих задач, що розроблена в [2, 5, 6], зміст і структура яких наведена в табл. 1.

Для 1-го рівня складності характерна структура, яка наведена на рис. 1. Такі дослідження становлять певну цікавість для накопичення нових матеріалів та інформації про них, кожний з яких може бути темою винаходу.

Таблиця 1 – Ієрархія рівнів складності основних типів творчих задач та їх сутність

<i>Рівень складності</i>	<i>Характеристика творчих задач даного рівня складності</i>	<i>Компонування блоків і правил їх складання</i>
1	Розв'язувана задача може бути скомпонована з готових вхідних елементів і блоків, але невідомий результат цих компонок і їх комбінацій.	
2	Потрібна компоновка готових вхідних елементів і блоків в комбінації за ще невідомими правилами.	
3	Немає повного набору вхідних елементів і блоків, але є подібні та відомі правила, за якими їх можна перетворити у вхідні.	
4	Немає повного набору вхідних елементів і блоків, але є подібні, а правила, за якими їх можна перетворити у вихідні, невідомі.	
5	Невідомі ні елементи, ні блоки, ні правила, за якими можна сформувати вхідні блоки і правила і їх перетворення, а далі – створити нові (рівень наукових відкриттів).	

Для 2-го рівня складності характерні структури, які наведені на рис. 2 і 3. Такі дослідження становлять певну цікавість для вибору комбінацій і пошуку речовин з кращими властивостями, що може бути темою для наукової статті й атестаційної роботи магістра.

Для 3-го рівня складності характерна структура, яка наведена на рис. 4. Такі дослідження становлять певну цікавість для вибору кращих комбінацій вхідних речовин, що визначають заздалегідь задані властивості кінцевих речовин, утворених на базі різних видів відомих технологій, що може бути темою для кандидатської дисертації.

Для 4-го рівня складності потрібно узагальнення характеристик відомих речовин та процесів їх перетворення в нові, шляхом створення нових технологій, в основу яких можуть бути покладені принципи АРВЗ [6]: навики, дроблення, об'єднання, обернути шкоду на користь, перехід в інший вимір, використання побічних ефектів і ресурсів, та ін.

Для 5-го рівня складності потрібне створення нових видів матеріалів з наперед невідомими властивостями і принципово нових технологій їх отримання. Це рівень наукових відкриттів, які можуть внести докорінні зміни в розвиток науки і техніки, що ведуть до утворення нових галузей промислового виробництва.

Слід врахувати, що вхідних і вихідних речовин, характерних для 1–2-го рівнів даної структури, може бути велика кількість, тому створюваних матеріалів буде декілька тисяч. Вони будуть накопичуватися, але вживатися мало, оскільки без системного узагальнення характеристик отриманих властивостей із визначенням локальних екстремумів, не буде вичерпана можливість створення ще кращих матеріалів в даній групі. Тому більш цікавими будуть наукові роботи 3-го рівня, в яких властивості отримуваних композиційних матеріалів будуть наперед задані в залежності до умов їх використання, а найбільш цікавими будуть роботи 4-го рівня, в яких будуть обґрунтовані екстремуми отримуваних властивостей для сгрупованих матеріалів за різними, а ще кріще – за комплексними техніко-економічними показниками.

Загальні висновки по роботі:

1. Застосування науково-обґрунтованих системних методів створення композиційних матеріалів полегшує вибір вірного шляху проведення досліджень і спрощує їх виконання, особливо на початкових етапах, пов'язаних із вибором теми, мети і завдань досліджень.

2. Додатковими перевагами розроблених структур є вилучення можливості пропуску будь-якого з варіантів комбінацій вхідних і вихідних елементів, а також можливість синтезу нових сполук швидко і в повній кількості існуючих варіантів.

3. Рівень розробок у сфері композиційних матеріалів відповідає 5-ти рівнями складності науково-технічних задач, а саме – від найпростіших, з компонуванням відомих елементів і технологій, до синтезу нових матеріалів з наперед невідомими властивостями на рівні наукових відкриттів, для яких поки що не знайдені, ані компонувальні елементи, ані технології.

4. Запропоновані структури, принципи і прийоми можуть бути рекомендовані для їх використання при розробці нових композиційних матеріалів, а також для виконання в даній сфері наукових досліджень різного рівня складності: винаходів, статей, атестаційних робіт магістрів, кандидатських і докторських дисертацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андерсон Джеймс. Дискретная математика и комбинаторика / Джеймс Андерсон. – М. : Вильямс, 2006. – 960 с.
2. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Политехнический словарь / [Под ред. А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др.]. – М. : Сов. Энциклопедия, 1989. – 656 с.
4. Материаловедение : учебник для высших технических учебных заведений / [Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова]. – М. : Машиностроение, 1986. – 384 с.
5. Настасенко В. А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений : монографія / В. А. Настасенко – Херсон : Изд-во Айлант, 2015. – 104 с.
6. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – М. : Моск. рабочий, 1973. – 296 с.

REFERENCES

1. Андерсон Джеймс. Дискретная математика и комбинаторика / Джеймс Андерсон. – М. : Вильямс, 2006. – 960 с.
2. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Политехнический словарь / [Под ред. А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др.]. – М. : Сов. Энциклопедия, 1989. – 656 с.

4. Материаловедение : учебник для высших технических учебных заведений / [Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова]. – М. : Машиностроение, 1986. – 384 с.

5. Настасенко В. А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений : монографія / В. А. Настасенко – Херсон : Изд-во Айлант, 2015. – 104 с.

6. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – М. : Московск. рабочий, 1973. – 296 с.

Настасенко В.А. КОМБИНАТОРИКА ДВУХ-, ТРЕХ- И ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ЕЕ АНАЛИЗ

В настоящее время созданию новых композиционных материалов и технологий их получения уделяется большое внимание, однако охват всего многообразия возможных их комбинаций без применения научных основ невозможен. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют математическая комбинаторика и системные методы выбора конечных решений. На этой базе проведен анализ типовых решений и структур композиционных материалов, с оценкой их по 5 уровням сложности решаемых задач: от простейших, с компоновкой известных элементов и технологий, до синтеза новых материалов на уровне научных открытий, для которых пока еще не найдены, ни компоновочные элементы, ни технологии. Предложенные структуры, принципы и приемы могут быть рекомендованы для использования при разработках новых композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы и технологии их получения, условия их синтеза и отбора.

Nastasenko V.A. COMBINATORICS OF TWO-, THREE- AND FOUR-COMPOSITE MATERIALS AND ITS ANALYSIS

At present, the development of new composite materials and technologies of their production is given a lot of attention, but the coverage of the whole variety of possible combinations without scientific foundations impossible. The most fully satisfy these requirements combinatorics and mathematical methods for selecting the final system solutions. On this basis, the analysis of standard solutions and structures of composite materials, with an estimate of 5 levels of difficulty of tasks: from simple, with the arrangement of elements and technologies, to the synthesis of new materials at the level of scientific discoveries, which have not yet been found or layout elements nor technology. The proposed structure, the principles and techniques can be recommended for use in the development of new composite materials.

Keywords: composite materials and technologies for their production, their conditions of synthesis and sampling.

© Настасенко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 05.11.15

РОЗРОБЛЕННЯ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Сапронов О.О.

Херсонська державна морська академія,

Баглюк Г.А.,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ, м. Київ,

Масляк Б.О.

Тернопільський національний економічний університет,

Клевцов К.М.

Херсонський національний технічний університет,

Наговський Д.А., Івченко Т.І.

Херсонська державна морська академія

Досліджено вплив температури на зміну напруги електричного пробою епоксикомпозитних матеріалів, наповнених частками різної дисперсності та природи. Експериментально встановлено, що напруга пробою, а, відповідно, й електрична міцність епоксикомпозитів суттєво залежить від температури навколишнього середовища. Найкращі характеристики вказаної залежності встановлені для композитних покриттів з частками карбідної шихти (50 мас.ч.) та колоїдної сірки (50 мас.ч.). Доведено, що обробка феромагнітних наповнювачів високочастотним імпульсним магнітним полем не суттєво впливає на електричну міцність покриттів. Додатково показано, що суттєве зниження напруги пробою усіх досліджуваних епоксикомпозитів спостерігали у діапазоні температур 333...353 К, що зумовлено явищем переходу епоксикомпозитного покриття з твердого у високоеластичний стан.

Ключові слова: епоксидний композит, феромагнітні наповнювачі, діелектрики, напруга пробою, електрична міцність.

Постановка проблеми. На сьогодні розвиток морського та річкового транспорту потребує зниження витрат на відновлення та ремонт суднового енергетичного устаткування. Нагальною проблемою при ремонті генераторів є просочення обмоток статора та ротора ізоляційним матеріалом. Водночас, особливу увагу приділяють заливці ізоляційним матеріалом високовольтних трансформаторів, ремонту кабелів. Тому на сьогодні розробка та використання нових матеріалів із високими показниками електрофізичних характеристик є актуальним завданням. Слід зауважити, що діелектричні властивості епоксикомпозитних полімерних матеріалів як в рідкому стані, так і після склування визначають їх широке застосування у вигляді ізоляційних покриттів. Як правило, діелектричні матеріали мають здатність до поляризації, що передбачає наявність у них електростатичного поля. Епоксидні композити, як технічні діелектрики, наповнені різними порошковими добавками, можна розглядати як ідеальний діелектрик. При зменшенні питомої електропровідності такі матеріали погано піддаються поляризації, що пов'язано з утворенням теплової та розсіюванням електричної енергії. Зазначене, на наш погляд, буде впливати на діелектричні властивості епоксикомпозитів і цей вплив буде яскравіше виражений при підвищеній температурі навколишнього середовища. Відповідно, за підвищених температур у епоксикомпозитах, як діелектричних матеріалах, зменшується величина електричної міцності і, відповідно, будуть відзначатись меншою напругою електричного пробою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових публікацій, стосовно електричної міцності полімерних матеріалів, що мають діелектричні властивості, вказує на достатньо велику кількість наукових досліджень посвячених електричному пробою діелектриків [1–3]. Щодо результатів досліджень електричної міцності епоксикомпозитів, наповнених феромагнітними порошковими матеріалами різної дисперсності, зокрема залізним суриком (3С) та частками Сталь 45, а також дисперсними

порошками карбідної шихти (КбШ) та колоїдної сірки (КС), можна констатувати про їх невеликий обсяг.

Показано [2], що при збільшенні напруги, прикладеної до діелектричного матеріалу, останній може набувати провідних властивостей. У такому випадку спостерігають пробій матеріалу. Типовим для пробою є те, що він відбувається миттєво, локалізовано та призводить до руйнування матеріалів. Швидке вивільнення значної кількості електричної енергії, внаслідок високої напруги, як правило, призводить до вигорання матеріалу в області пробою між електродами.

Напрямок пробою, зазвичай, визначається наявними локальними дефектами або неоднорідністю інгредієнтів в матеріалі. Максимальна напругу, яку ізолятор може витримувати впродовж тривалого часу до виходу з ладу, характеризується електричною міцністю діелектрика. Остання характеризується напругою пробою, яка співвідноситься з товщиною ізолятора, тобто максимальною напруженістю електричного поля, яку матеріал може витримувати необмежений час. Власна електрична міцність однорідного твердого тіла, зазвичай, більша від $100 \text{ МВ} \cdot \text{м}^{-1}$. Вона ж є при цьому основною, але невизначеною властивістю. Однією з причин цього є недостатня відтворюваність результатів, отриманих для серії зразків. Майже завжди спостерігається велике розсіювання досліджуваної величини. Іншими словами, процес пробою, а також особливості його оцінювання, за своєю природою є майже неорганізованими процесами, і, головним чином, залежать від статистичної нерівномірності складу та структури досліджуваного зразка. Друга причина полягає в тому, що електричний пробій діелектричного епоксикомпозитного покриття суттєво залежить від фізичного стану зразка, чистоти і типу використовуваного електрода. Саме ці причини, зазвичай, лімітують ефективну міцність ізолятора в реальних обставинах і повністю усунути їх, у процесі дослідження, не вдається. Таким чином, пошук значень власної електричної міцності матеріалів має, в основному, теоретичний характер. У цих обставинах слід з обережністю ставитися до стандартних тестів щодо визначення електричної міцності матеріалів. В дійсності за їх допомогою не вимірюють власне значення величини напруги пробою для діелектричних матеріалів, оскільки можливі передчасні розряди в навколишньому газовому або рідкому середовищі.

Враховуючи зазначене, у промисловості для оцінки характеристик пробою матеріалів при розробці конкретних виробів доцільно використовувати спеціально створені тести, що імітують умови експлуатації. Також старіння і спрацювання матеріалів впродовж певного терміну експлуатації, наприклад, хімічне розкладання під дією сонячного випромінювання і розтріскування під впливом механічних навантажень, набувають важливого значення, тому що такі зміни майже завжди призводять до появи електрично нестабільних ділянок у композитах. До того ж, під дією енергетичних полів відбувається поступове кумулятивне старіння, яке зрештою, приводить до електричного пробою ізоляційного покриття.

Мета роботи – встановити залежність напруги електричного пробою епоксикомпозитних покриттів від температури.

Матеріали та методика дослідження. При формуванні КМ як зв'язувач використовували епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Твердник вводили у епоксидний олігомер відповідно до загальноприйнятих рекомендацій [1] за співвідношення – ЕД-20 : ПЕПА-10 : 1. Як наповнювач використовували дисперсні (63...120 мкм) порошки: сталі (Сталь 45 ГОСТ 1050-88), пермалою (45Н ГОСТ 10994-74) та вугільного шлаку (ВШ), що є продуктом згорання кам'яного вугілля з подрібненням його механічним способом.

Як дрібнодисперсні наповнювачі (10...20 мкм) використовували порошки: колоїдної сірки (КС) (ГОСТ 127.5-93), залізного сурику (ЗС), що складається із суміші

мікроелементів і оксиду заліза (Fe_2O_3) (ГОСТ 8135-74) та карбідної шихти (КбШ). Карбідна шихта є побічним продуктом при виробництві ацетилену.

Вміст часток у епоксидних композиціях становив – 50 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20. Обробку височастотним імпульсним магнітним полем (ВМП) феромагнітних наповнювачів (Сталь 45 та 3С) проводили на розробленій установці [4]. Установку налаштовували на такі параметри ВМП: напруженість електромагнітного поля – $H = 1265$ А/м, частота – $f = 2,25$ МГц, тривалість обробки $\tau = 900$ с.

Епоксидні композити формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20 та наповнювача, введення часток в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсних часток; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = 300 \pm 10$ с. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1$ год при температурі $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 0,05$ К/с до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання КМ впродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05$ год з подальшим їх охолодженням разом з термошафою до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Електричну міцність отриманих КМ визначали згідно ГОСТ 6433.3-71 [5]. Для цього використовували випробувальний прилад АВД-70/50 (HVT-70/50). Випробувальний діодний прилад АВД-70/50 (HVT-70/50) призначений для випробування ізоляції силових кабелів і твердих діелектриків випрямленою Гц [6], електричною напругою до 70 кВ, а також для випробування твердих діелектриків синусоїдальною електричною напругою до 50 кВ з частотою 50

Досліджуваний зразок у вигляді захисного покриття товщиною $h = 0,5$ мм наносили на мідний субстрат з розмірами 50×50 мм. Температуру дослідження змінювали в межах $\Delta T = 293 \dots 393$ К.

Результати досліджень та їх обговорення. Важливим фактором, що впливає на електричну міцність епоксикомпозитів, наповнених дисперсними порошковими матеріалами різної природи, як показали попередньо проведені дослідження [7], є температура навколишнього середовища. На початковому етапі досліджували залежність електричної міцності епоксидної матриці від температури (рис. 1). Аналогічно досліджували електричну міцність модифікованих і необроблених ВМП покриттів із дисперсними наповнювачами. Результати експериментальних досліджень для покриттів однакової товщини наведено на рис. 2 та рис. 3.

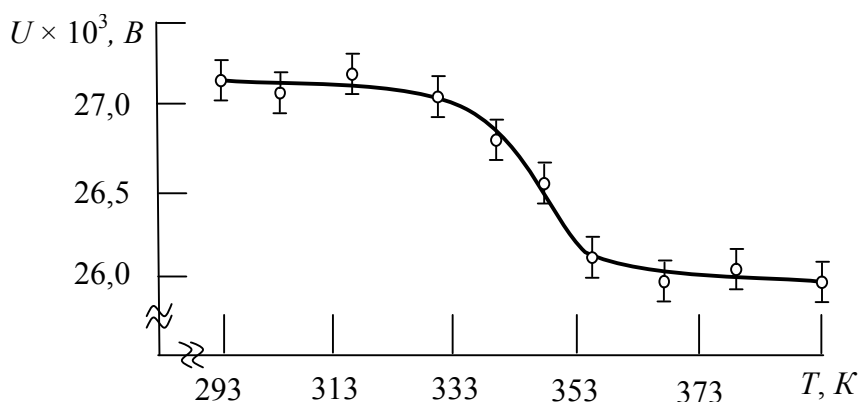


Рисунок 1 – Залежність напруги пробію покриття з епоксидної матриці від температури (за товщини покриття $h = 0,5$ мм)

Аналіз отриманих графічних залежностей вказує на їх ідентичність. Зокрема встановлено, що підвищення температури середовища, в якому поміщено досліджувані

покриття, призводить до монотонного зниження їх електричної міцності в межах 1,5...2,0 %. На початковому етапі дослідження при збільшенні температури від $T = 293$ К до $T = 343$ К електрична міцність матеріалів майже не змінюється і лише за температур $\Delta T = 343...353$ К спостерігається зниження напруги пробою захисних покриттів.

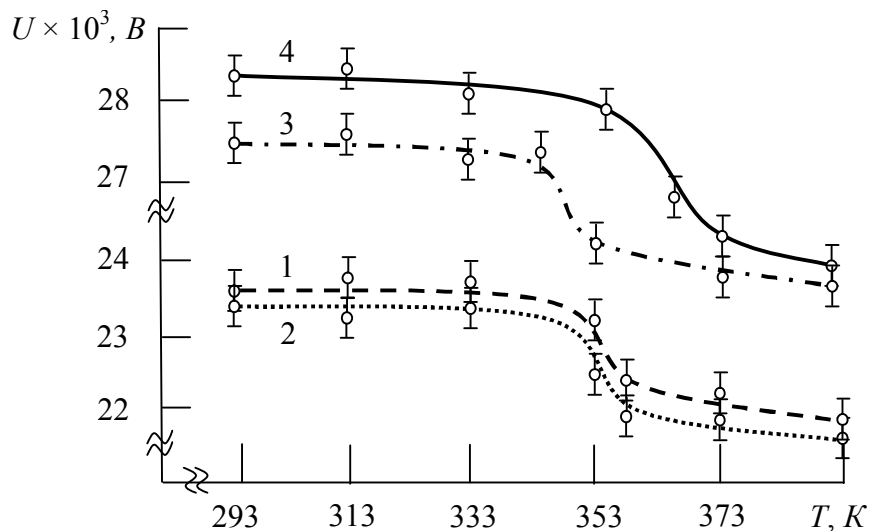


Рисунок 2 – Залежність напруги пробою захисних покриттів з дрібнодисперсними (10...20 мкм) наповнювачами від температури (за товщини покриття $h = 0,5$ мм): 1 – 3С; 2 – 3С (після обробки ВМП); 3 – КС; 4 – КбШ

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що напруга пробою, як характеристика електричної міцності ізоляційних епоксидних композитних матеріалів (КМ), залежить не тільки від температури, але і від фізичної природи наповнювача та його дисперсності. Встановлено (рис. 1–3), що найкращі показники електричної міцності КМ у температурному діапазоні $\Delta T = 293...343$ К має композит, наповнений дрібнодисперсним наповнювачем – карбідною шихтою (КбШ). При цьому величина напруги пробою у зазначеному діапазоні складає для даного композиту $U = 28,4$ кВ. Це на 3...4 % перевищує величину напруги пробою для епоксидної матриці.

Деяко менші значення напруги пробою спостерігали при дослідженні вихідних і модифікованих ВМП зразків. Зокрема, напруга пробою у діапазоні температур $\Delta T = 293...343$ К для епоксикомпозиту з частками ВШ складає $U = 26,3$ кВ. Для КМ із частками пермалою 45Н напруга пробою складає $U = 8,8$ кВ. Для КМ з колоїдною сіркою величина напруги пробою складає $U = 27,5$ кВ.

Крім того, напруга пробою для вихідних і модифікованих магнітним полем КМ із дисперсним наповнювачем порошком сталі 45 становить $U = 8,3$ кВ та $U = 7,5$ кВ відповідно. Аналогічні результати спостерігали для КМ з частками залізного сурику (ЗС). У зазначених діапазонах температури для вихідних і модифікованих КМ, наповнених дрібнодисперсними частками залізного сурику, складає відповідно $U = 23,4$ кВ і $U = 23,6$ кВ, а тенденція залежності напруги пробою від температури майже однакова.

Можна констатувати, що відбувається деяке зниження величини напруги пробою модифікованих магнітним полем, порівняно з необробленими, КМ, наповнених феромагнітними наповнювачами: залізним суриком та сталлю 45. Це явище, на наш погляд, можна пояснити орієнтацією доменів феромагнітного матеріалу, упорядкуванням його структури і, що найважливіше, зміною як поверхневого, так і об'ємного електроопору досліджуваних епоксикомпозитних матеріалів.

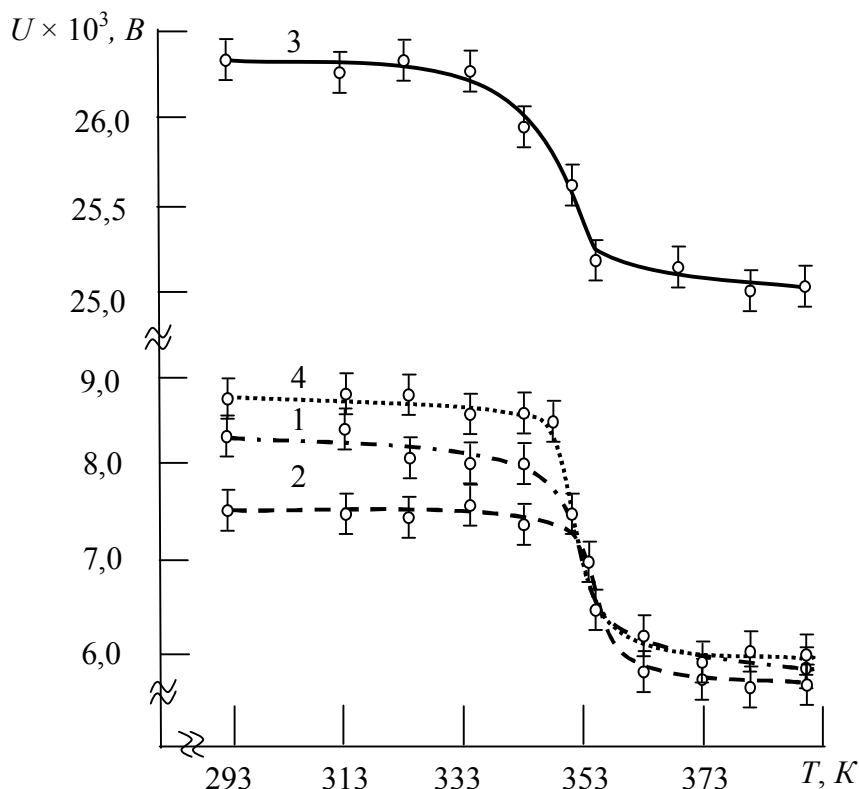


Рисунок 3 – Залежність напруги пробою захисних покриттів з дисперсними (63...120 мкм) наповнювачами від температури (за товщини покриття $h = 0,5$ мм): 1 – Сталь 45; 2 – Сталь 45 (після обробки ВМП); 3 – ВШ; 4 – пермалой 45Н.

Висновки. Результати проведених експериментальних досліджень дозволяють констатувати наступне:

1. Дослідження електричної міцності епоксикомпозитів з діелектричними властивостями є складним процесом як з точки зору підготовки необхідних зразків, так і матеріально-технічного оснащення досліджень. При цьому необхідно дотримуватись сталих значень характеристик, що впливають на зміну умов проведення досліджень (атмосферний тиск, вологість, рівномірність температурного поля, забрудненість поверхні зразків).

2. Найкращими показниками електричної міцності у вибраному діапазоні матеріалів відзначаються епоксикомпозити, наповнені карбідною шихтою та колоїдною сіркою. Напруга пробою таких матеріалів становить $U = 28,4$ кВ та $U = 27,5$ кВ відповідно. Зазначені композити доцільно використовувати як ізоляційні матеріали при експлуатації суднового енергетичного устаткування (електротехніка або зрошуванні струмопровідних частин електроустаткування високої напруги, що працюють при температурі, яка не перевищує $T = 350$ К).

3. Величина напруги пробою, а, відповідно, і електричної міцності досліджуваних епоксикомпозитів пов'язана з їх теплостійкістю. При температурі, що наближається до температури переходу твердого стану зразків у високоеластичний, величина напруги пробою зменшується і, наприклад, для матеріалів з КбШ зменшується від $U = 28,5$ кВ до $U = 25,0$ кВ. Для композитів з іншими досліджуваними наповнювачами спостерігали аналогічне зменшення напруги пробою в межах $\Delta U = 2,0...3,5$ кВ.

4. Можна констатувати, що відбувається деяке зниження величини напруги пробою модифікованих магнітним полем, порівняно з необробленими, КМ, наповнених феромагнітними наповнювачами: залізним суриком і сталлю 45. Це явище, на наш погляд, можна пояснити орієнтацією доменів феромагнітного матеріалу, упорядкуванням його

структури і, що найважливіше, зміною як поверхневого, так і об'ємного електроопору досліджуваних епоксикомпозитних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
2. Блайт Э. Р. Электрические свойства полимеров / Э. Р. Блайт, Д. Блур. – Д. : Физматлит, 2008. – 376 с.
3. Бартенев Г. М. Курс физики полимеров / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленов. – Л. : Химия, 1976. – С. 252-254.
4. Букетов А. В. Установка для высокочастотного электромагнитного опромінювання / А. В. Букетов, В. О. Скирденко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012)», (10-12 жовтня 2012 р., м. Херсон). – Херсон : ХДМА, 2012. – С. 226-227.
5. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении : ГОСТ 6433.3-71. – [Дата введения 01.07.71]. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 22 с.
6. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции : ГОСТ 1516.2-97. – [Дата введения 25.04.1997]. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 35 с.
7. Букетов А. В. Дослідження впливу наповнювачів на індекс трекінгостійкості модифікованих високочастотним електромагнітним імпульсним полем епоксидних композитів / А. В. Букетов, В. О. Скирденко, Д. В. Румянцев // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – Випуск 47. – С. 6-11.

REFERENCES

1. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiy – Ljviv : Vidavnictvo Nacionaljnogo universitetu «Ljvivsjka politehnika», 2005. – 240 s.
2. Blayjt Eh. R. Ehlektricheskie svoystva polimerov / Э. Р. Blayjt, D. Blur. – D. : Fizmatlit, 2008. – 376 s.
3. Bartenev G. M. Kurs fiziki polimerov / G. M. Bartenev, Yu. V. Zelenev. – L. : Khimiya, 1976. – S. 252-254.
4. Buketov A. V. Ustanovka dlya visokochastotnogo elektromagnitnogo oprominyuvannya / A. V. Buketov, V. O. Skirdenko // Materiali Vseukraïnsjkoï naukovo-praktichnoï konferencii «Suchasni energetichni ustanovki na transporti i tekhnologii ta obladnannya dlya ikh obslugovuvannya (SEUTTOO-2012)», (10-12 zhovtnya 2012 r., m. Kherson). – Kherson : KhDMA, 2012. – S. 226-227.
5. Materialih ehlektroizolyacionnihe tverdihe. Metodih opredeleniya ehlektricheskoyj prochnosti pri peremennom (chastotih 50 Gc) i postoyannom napryazhenii : GOST 6433.3-71. – [Data vvedeniya 01.07.71]. – M. : Izd-vo standartov, 1994. – 22 s.
6. Ehlektrooborudovanie i ehlektroustanovki peremennogo toka na napryazhenie 3 kV i vihshe. Obthie metodih ispihtaniy ehlektricheskoyj prochnosti izolyacii : GOST 1516.2-97. – [Data vvedeniya 25.04.1997]. – M. : Izd-vo standartov, 1997. – 35 s.
7. Buketov A. V. Doslidzhennya vplivu napovnyuvachiv na indeks trekingostiyykosti modifikovanikh visokochastotnim elektromagnitnim impul'snim polem epoksidnikh kompozitiv / A. V. Buketov, V. O. Skirdenko, D. V. Rumyancev // Naukovi notatki. – Lucjk : LNTU, 2014. – Vipusk 47. – S. 6-11.

Сапронов А.А., Баглюк Г.А., Масляк Б.О., Клевцов К.Н., Наговский Д.А., Ивченко Т.И.
РАЗРАБОТКА ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭПОКСИКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА
ЭЛЕМЕНТОВ СЭУ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Исследовано влияние температуры на изменение напряжения электрического пробоя эпоксикомпозитных материалов, наполненных частицами различной дисперсности и природы. Экспериментально установлено, что напряжение пробоя, а, соответственно, и электрическая прочность эпоксикомпозитов существенно зависит от температуры окружающей среды. Наилучшие характеристики указанной зависимости установлены для композитных покрытий с частицами карбидной шихты (50 мас.ч.) и коллоидной серы (50 мас.ч.). Доказано, что обработки а ферромагнитных наполнителей высокочастотным импульсным магнитным полем не существенно влияет на электрическую прочность покрытий. Дополнительно показано, что существенное снижение напряжения пробоя всех исследуемых эпоксикомпозитов наблюдали в диапазоне температур 333 ... 353 К, что обусловлено явлением перехода эпоксикомпозитного покрытия из твердого в высокоэластичное состояние.

Ключевые слова: эпоксидный композит, ферромагнитные наполнители, диэлектрики, напряжение пробоя, электрическая прочность.

Sapronov A.A., Bagliuk G.A., Maslyyak B.O., Klevtsov K.N., Nahovskyy D.A., Ivchenko T.I.
DEVELOPMENT EPOKSYKOMPOZYTYNYH INSULATION MATERIALS FOR THE REPAIR
ELEMENTS EMS MARITIME TRANSPORT

The effect of temperature on the electrical breakdown voltage change epoxy composites material filled with particles of different nature and dispersion. Experimentally that the breakdown voltage, and, respectively, and the dielectric strength epoxy composites essentially depends on the ambient temperature. Top specified characteristics depending established for composite coatings with particles of carbide mixture (50 mas.ch.) and colloidal sulfur (50 mas.ch.). Proved that treatment ferromagnetic fillers pulsed high-frequency magnetic field is not substantially affect the electric strength coatings. Additionally, it is shown that a significant reduction in breakdown voltage of all investigated epoxy composites observed in the temperature range 333 ... 353 K, due to the phenomenon of transition epoxy composites coverage in highly solid state.

Keywords: epoxycomposite, ferromagnetic fillers, insulators, breakdown voltage, dielectric strength.

© Сапронов О.О., Баглюк Г.А., Масляк Б.О., Клевцов К.М., Наговський Д.А., Івченко Т.І.

Статтю прийнято
 до редакції 23.10.2015

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РУШІЯ РОЗПУШУВАЧА З ПОВЕРХНЕЮ ҐРУНТУ

Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Міщук Д.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Найбільш ефективним способом руйнування мерзлих і скельних ґрунтів з точки зору продуктивності машин і собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навісними розпушувачами на базі потужних тракторів. Одним із шляхів підвищення ефективності розпушувального агрегату є удосконалення його системи керування.

Розпушування ґрунту забезпечує зниження витрат на тонну продукції, сприяє підвищенню якості продукції і є меншою небезпекою для довкілля в порівнянні з виконанням земляних робіт буропідливним методом.

У зв'язку з цим необхідно зробити аналіз математичних моделей рельєфу при взаємодії рушія розпушувача з поверхнею ґрунту.

Метою роботи є підвищення ефективності розпушувального агрегату шляхом удосконалення його системи керування.

Застосування стохастичних моделей рельєфу дозволяє вирішувати завдання взаємодії рушія з ґрунтом при русі базової машини по опорній поверхні з урахуванням реального рельєфу. Існуючий математичний апарат дозволяє моделювати рух базової машини по опорній поверхні з урахуванням реального рельєфу місцевості та може бути використаний у подальших роботах при розрахунках взаємодії рушія розпушувача з поверхнею ґрунту.

Ключові слова: розпушувач, рушій, ґрунт, рельєф, математична модель.

Вступ. Інтенсивне освоєння родовищ корисних копалини, їх транспортування і будівництво нафто- і газопроводів неможливо без сучасної землерийної техніки, здатної розробляти міцні, мерзлі і скельні ґрунти.

У зв'язку з тим, що мерзлі і скельні ґрунти мають підвищену міцність їх розробка землерийними машинами неможлива без попередньої обробки спрямованій на зниження опору ґрунту подальшій його розробці.

Нині використовуються різні способи розробки мерзлих і скельних ґрунтів [1, 2, 3], основні з яких буропідливні роботи та розпушування ґрунту навісними розпушувачами.

Найбільш ефективним способом руйнування мерзлих та скельних ґрунтів з точки зору продуктивності машин і собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навісними розпушувачами на базі потужних тракторів. У цьому випадку відрив стружки ґрунту від масиву відбувається у напрямі відкритої поверхні, що є найменш енергоємним способом, оскільки тут переважають зусилля розтягування (розриву) ґрунту, які у декілька разів менші ніж зусилля стиску або зсуву.

Розпушування ґрунту забезпечує зниження витрат на тонну продукції, сприяє підвищенню якості продукції і є меншою небезпекою для довкілля в порівнянні з виконанням земляних робіт буропідливним методом.

Мета і постановка задачі. Ефективність розпушувального агрегату значною мірою залежить від раціональних режимів роботи силової установки. Системи керування, що серійно випускаються на цей час, прилади індикації, а також уповільнена реакція людини-оператора на умови робочого процесу, що швидко змінюються, не дозволяють повною мірою використати тягово-зчіпні якості машини.

У процесі роботи розпушувального агрегату його ходове устаткування взаємодіє з ґрунтом, що викликає некеровані переміщення робочого органа у просторі, а, отже, і зміну глибини розпушування, що призводить до зміни реакції ґрунту на робочому органі.

У зв'язку з цим необхідно зробити аналіз математичних моделей рельєфу при взаємодії рушія розпушувача з поверхнею ґрунту. **Метою** роботи є підвищення ефективності розпушувального агрегату шляхом удосконалення його системи керування.

Аналіз взаємодії рушія розпушувача з поверхнею ґрунту. Математична модель ґрунтової поверхні може бути представлена детермінованими або стохастичними (випадковими) функціями [4, 5].

Детерміновані моделі, що є математичним описом нерівностей поверхні ґрунту у вигляді детермінованих функціональних залежностей вертикальної координати поверхні ґрунту $z_n(t)$ від часу, застосовуються в основному при дослідженнях, спрямованих на підвищення рівня розробки ґрунту та при визначенні граничних значень параметрів [4, 5, 6], і можуть бути представлені у вигляді: гармонічний сигнал:

$$z_n(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi);$$

імпульс:

$$z_n(t) = \frac{dl_0(t)}{dt};$$

ступінчаста дія:

$$z_n(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0; \\ \pm h & \text{при } t = 0. \end{cases}$$

Застосування стохастичних моделей рельєфу дозволяє вирішувати завдання взаємодії рушія з ґрунтом при русі базової машини по опорній поверхні з урахуванням реального рельєфу [5, 6, 7].

Нерівності рельєфу місцевості можна умовно поділити на макрорельєф, мікрорельєф і шорсткості. До макрорельєфу відносяться нерівності значної протяжності (більше 100 м) та відносно великої висоти нерівностей, які практично не викликають коливань машини і некерованих переміщень робочого органа [4]. Шорсткості характеризуються нерівностями завдовжки менше 0,5 м і компенсуються згладжуючою здатністю елементів ходового устаткування [4, 5].

Відповідно до мети роботи найбільший інтерес становлять дія мікрорельєфу на елементи ходового устаткування розпушувального агрегату, оскільки нерівності мікрорельєфу є однією з головних причин, які викликають некеровані переміщення остову машини, а, отже, і робочого органа [5].

Математичному опису мікрорельєфу присвячена достатня кількість робіт, в яких проведений статистичний аналіз різних ґрунтових поверхонь [4].

У роботах [4, 5, 6] поверхня ґрунту розглядається як стаціонарна і ергодична випадкова функція двох змінних:

$$y = y(x, z), \quad (1)$$

де x, z – відповідно подовжня і поперечна координати деякої середньої площини, відносно якої змінюються висоти нерівностей.

При цьому достатніми статистичними характеристиками мікрорельєфу ґрунту є його кореляційна функція $R(l)$ або нормована кореляційна функція $r(l)$ і спектральна щільність $S(\omega)$.

Кореляційна функція $R(l)$ дає уявлення про зміну мікрорельєфу по довжині ділянки l , спектральна щільність $S(\omega)$ – про частоту повторення довжин нерівностей. Аргументом спектральної щільності є шляхова частота:

$$\omega = \frac{\pi \cdot v_{\text{тр}}}{L_y}, \quad (2)$$

де $v_{\text{тр}}$ – швидкість руху машини; L_y – довжина нерівності мікрорельєфу.

Двовимірною кореляційною функцією поверхні, яка описується рівнянням (1), має вигляд [4, 5]:

$$R(l_1, l_2) = \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} \frac{1}{4xz} \int_{-x}^x \int_{-z}^z y(x, z) \cdot y(x + l_1, z + l_2) dx dz. \quad (3)$$

У зв'язку з тим, що обчислення двовимірної кореляційної функції $R(l_1, l_2)$ сполучено з певними труднощами, її можна замінити двома некорельованими функціями: функцією середнього перерізу подовжнього профілю $y(l)$ і функцією кута нахилу поперечного перерізу $\gamma_n(l)$ поверхні [4, 5]:

$$y(l) = 0,5 \cdot (y_n(l) + y_l(l)); \quad (4)$$

$$\gamma_n(l) = \frac{(y_n(l) - y_l(l))}{L_k}, \quad (5)$$

де $y_n(l)$ і $y_l(l)$ – функції мікрорельєфу перерізів ґрунтової поверхні відповідно по лівій і правій колії; L_k – ширина колії.

Статистичні характеристики мікрорельєфу описуються двома кореляційними функціями:

$$R_y(l) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{2x} \int_{-x}^x y(x) \cdot y(x + l) dx; \quad (6)$$

$$R_\gamma(l) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{2x} \int_{-x}^x \gamma(x) \cdot \gamma(x + l) dx. \quad (7)$$

Нормована кореляційна функція має вигляд:

$$r(l) = R(l) / R(0); \quad (8)$$

$$R(0) = D = \sigma^2, \quad (9)$$

де D – дисперсія; σ – середньоквадратичне відхилення.

Спектральний склад випадкової функції характеризується спектральною щільністю $S(\omega)$, яку можна визначити через кореляційну функцію, використовуючи перетворення Фур'є [4, 5]:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(l) \cdot e^{-j\omega l} dl. \quad (10)$$

У загальному вигляді існуючі моделі мікрорельєфу можна представити у вигляді:

$$r(l) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |l|} \cdot \cos \beta_i l, \quad (11)$$

де $\sum_{i=1}^n A_i = 1$; α_i – параметри, що характеризують загасання кореляції; β_i – параметри, що характеризують періодичність кореляції.

Окрім цього, при математичному описі нерівностей мікрорельєфу іноді використовуються й інші рівняння, наприклад вигляду [8]:

$$r(l) = A_0 e^{-\alpha_0 |l|} \cdot (l + \alpha_0 |l|) + \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |l|} \cdot (\cos \beta_i l + \frac{\alpha_i}{\beta_i} \sin \beta_i l). \quad (12)$$

Наприклад, в роботі [8] мікрорельєф цілини описаний рівнянням:

$$R_y(l) = \sigma^2 \cdot (A_1 e^{-\alpha_1 |l|} + A_2 e^{-\alpha_2 |l|} \sin \frac{\pi l}{\beta}), \quad (13)$$

де $\sigma = 0,19$ м; $A_1 = 0,28$; $A_2 = 0,72$; $\alpha_1 = 3,5 \text{ с}^{-1}$; $\alpha_2 = 0,67 \text{ с}^{-1}$; $\beta = 3,05 \text{ с}^{-1}$.

Мікрорельєф сільськогосподарського поля описується рівнянням:

$$R_y(l) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha_1 |l|} \cos \beta l, \quad (14)$$

де $\sigma = 0,015 \dots 0,08$ м – подовжній профіль; $\sigma = 0,05 \dots 0,28$ м – поперечний профіль; $\alpha = 1,4 \dots 2,8 \text{ с}^{-1}$ – подовжній профіль; $\alpha = 2,3 \dots 3,9 \text{ с}^{-1}$ – поперечний профіль; $\beta = 1,0 \dots 1,5 \text{ с}^{-1}$ – подовжній профіль; $\beta = 1,2 \dots 3,6 \text{ с}^{-1}$ – поперечний профіль.

Для реалізації випадкового мікрорельєфу на ПЕОМ зазвичай використовується алгоритм, ґрунтований на перетворенні стаціонарної послідовності x_i незалежних нормально розподілених випадкових чисел (дискретний білий шум) в послідовність y_n , для чого використовується рекурентне рівняння вигляду [4, 8, 9]:

$$\begin{aligned} y_i &= a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + \dots + a_l x_{i-l} - \\ &- b_1 y_{i-1} - b_2 y_{i-2} - \dots - b_m y_{i-m}, \\ &= \sum_{K=0}^l a_K x_{i-K} - \sum_{K=1}^m b_K y_{i-K}, \end{aligned} \quad (15)$$

де x_i – реалізація незалежних нормально розподілених чисел із параметрами $m_x = 0$ і $\sigma_x = 1$.

При цьому вид рекурентного рівняння визначається видом кореляційної функції [10]. Рівняння (15) описує поведінку деякого дискретного фільтру, який перетворить білий дискретний шум, що подається на його вхід, у випадковий процес із заданою кореляційною характеристикою. Передавальна функція цього фільтру має вигляд [8, 10]:

$$y(z) = \frac{a_0 + a_1 z + \dots + a_l z^l}{1 + b_1 z + \dots + b_m z^m} = \frac{\sum_{k=0}^l a_k z^k}{1 + \sum_{k=1}^m b_k z^k}. \quad (16)$$

Ґрунтуючись на передавальній функції (16), можна зобразити структурну схему дискретного фільтру (рис. 1), що описується рекурентним рівнянням (15) [8, 10].

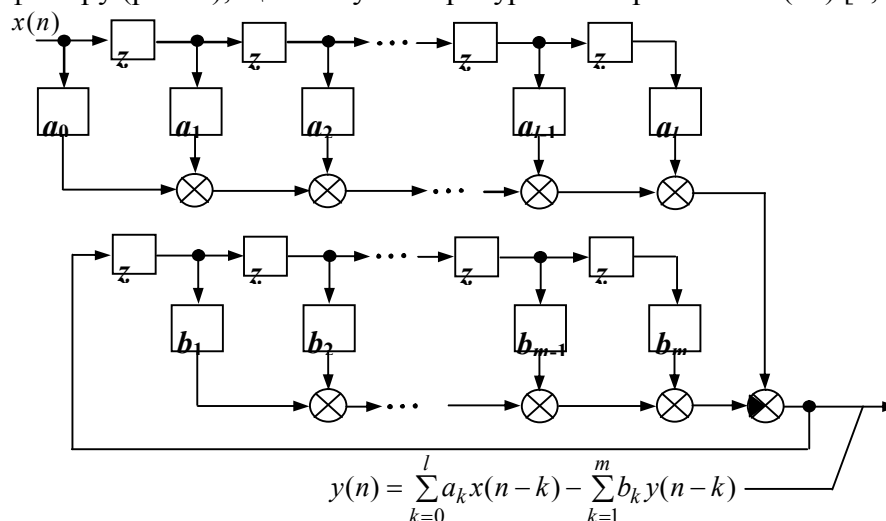


Рисунок 1 – Структурна схема дискретного фільтру

Для випадкових процесів із кореляційними функціями, що найчастіше зустрічаються, рекурентні рівняння та параметри коефіцієнтів, що входять в них, зазвичай зводяться у таблиці (табл. 1) [4, 8, 9].

Таблиця 1 – Рекурентні рівняння випадкових процесів та їх параметри

№ n/n	Кореляційна функція	Рекурентне рівняння	Параметри рекурентного рівняння
1	$R(\tau) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha \tau }$	$y(n) = a_0x(n) + b_1y(n-1)$	$a_0 = \sigma\sqrt{1-\rho^2}$; $b_1 = \rho$; $\rho = e^{-\gamma}$; $\gamma = \alpha \cdot h$
2	$R(\tau) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha \tau } \cdot \cos(\beta \tau)$	$y(n) = a_0x(n) + a_1x(n-1) + b_1y(n-1) + b_2y(n-2)$	$a_0 = \sigma C$; $a_1 = (\sigma C_0)/C$; $b_1 = 2\rho \cdot \cos \gamma_0$; $b_2 = -\rho^2$; $C_0 = \rho(\rho^2 - 1) \cdot \cos \gamma_0$; $C_1 = 1 - \rho^4$; $\rho = e^{-\gamma}$; $\gamma = \alpha \cdot h$; $C = \frac{\sqrt{(C_1 \pm \sqrt{C_0^2 - 4C_0^2})}}{2}$; $\gamma_0 = \beta \cdot h$
3	$R(\tau) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha \tau } \cdot \sin(\beta \tau)$	$y(n) = a_0x(n) + a_1x(n-1) + b_1y(n-1) + b_2y(n-2)$	$a_0 = \sigma C$; $a_1 = (\sigma C_0)/C$; $b_1 = 2\rho \cdot \cos \gamma_0$; $b_2 = -\rho^2$; $C_0 = \rho(\rho^2 + 1) \cdot \sin \gamma_0$; $C_1 = -4\rho^4 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos \gamma_0$; $\rho = e^{-\gamma}$; $\gamma = \alpha \cdot h$; $C = \frac{\sqrt{(C_1 \pm \sqrt{C_0^2 - 4C_0^2})}}{2}$; $\gamma_0 = \beta \cdot h$
4	$R(\tau) = R^I(\tau) + R^{II}(\tau)$	$y(n) = y^I(n) + y^{II}(n)$	Параметри відповідних рекурентних рівнянь
Примітка. h – крок дискретності часу τ ; $x(n)$ – реалізація нормально розподілених чисел з параметрами: математичне очікування $m_x = 0$, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 1$.			

Ходове обладнання є проміжною динамічною ланкою між остовом і нерівностями місцевості, по якій пересувається базова машина. При цьому ходове устаткування взаємодіє з мікрорельєфом місцевості, викликаючи переміщення остову і його коливання у просторі, які потім, у свою чергу, передаються на робочий орган.

У наш час для колісного ходового обладнання вже є досить добре розроблений та експериментально перевірений математичний апарат [4, 5, 7].

Математичний опис гусеничного рушія, в порівнянні з колісним, пов'язаний з певними складнощами, які полягають у наявності гусеничної стрічки, розташованої між опорними катками та нерівностями рельєфу [6].

У роботі [6] відзначається можливість переходу від моделі гусеничного рушія до деякої подібності колісного рушія. При цьому потрібне виконання наступних умов: ґрунт має високу несучу здатність і малу деформацію.

У процесі руху розпушувального агрегату гусеничний двигун деформує мікрорельєф ґрунтової поверхні, що знаходиться під ним, а також передає обурюючі дії деформованого мікрорельєфу на остов машини, викликаючи його лінійні та кутові переміщення. Враховуючи вищесказане, розрахункова схема ходової системи при русі по

грунту, що деформується, може бути представлена на рис. 2.

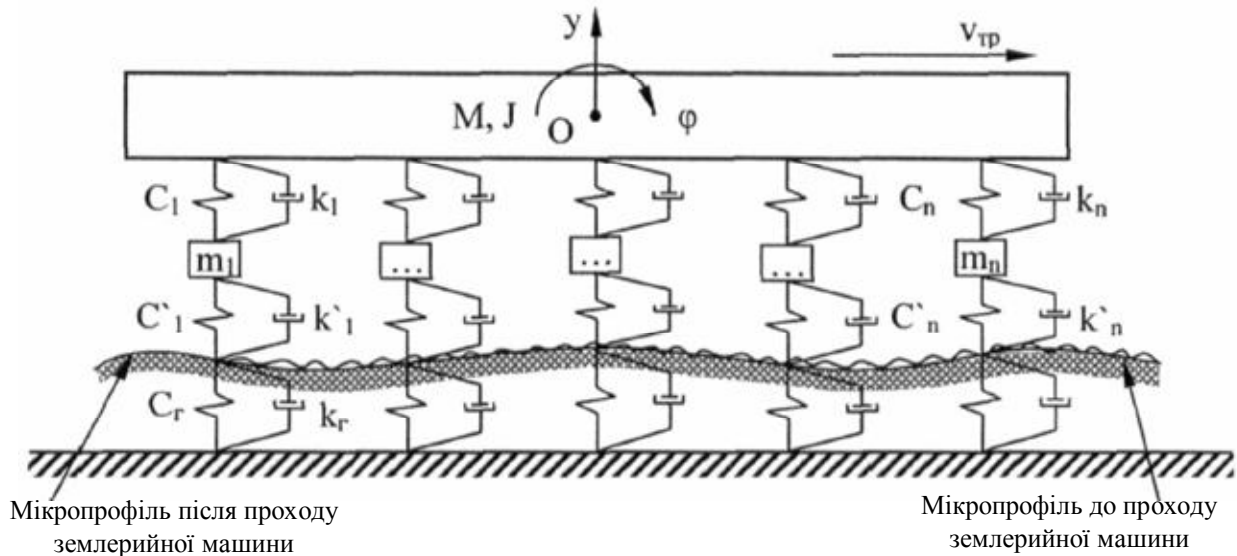


Рисунок 2 – Розрахункова схема ходової системи при русі по ґрунті, що деформується

На рис. 2 $C_1, \dots, C_n$, $C'_1, \dots, C'_n$ і C_r – відповідно коефіцієнти жорсткості підвісок гусеничних візків і ґрунту; $k_1, \dots, k_n$, $k'_1, \dots, k'_n$ і k_r – відповідно коефіцієнти в'язкості підвісок гусеничних візків і ґрунту; $m_1, \dots, m_n$ – маси відповідних візків підвіски; y і ϕ – переміщення остова.

При цьому розпушувальний агрегат замінюється тілом, що характеризується наступними параметрами: маса базової машини та розпушувального устаткування зосередженої в центрі ваги (точка O) та моментом інерції відносно поперечної осі ваги, що проходить через центр.

Проте, для спрощення математичного опису процесу взаємодії ходового устаткування з нерівностями мікрорельєфу, приймаються наступні допущення:

- ґрунт не деформується;
- не враховується вплив мас візків, внаслідок їх малості.

Враховуючи прийняті допущення розрахункова схема наводиться до виду (рис. 3) [6].

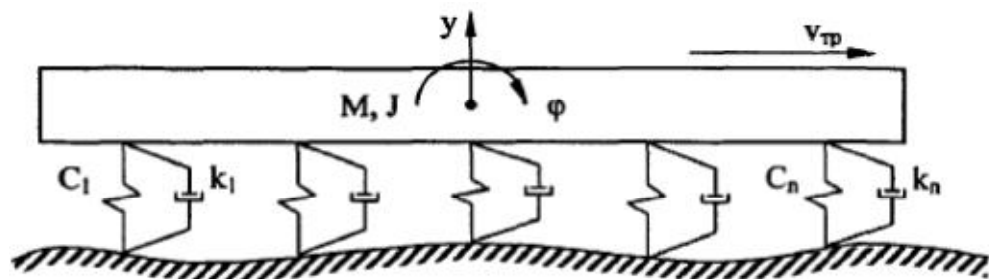


Рисунок 3 – Розрахункова схема ходової системи при русі по ґрунті, що не деформується

У разі жорсткої ходової системи можна також нехтувати коливаннями остова, внаслідок їх малості, і не враховувати пружнов'язкі властивості підвіски гусеничних візків, враховуючи лише переміщення остова в просторі (лінійні і кутові) [6].

При цьому, для переходу від гусеничної системи до системи подібної до колісної, кожна гусениця ділиться на дві півгусениці однакової довжини:

$$L_{\text{пр}} = \frac{L_r}{2}, \quad (17)$$

де L_r – довжина гусениці.

При цьому, кожна півгусениця контактуватиме з ґрунтом по площині контакту завдовжки $2l_0 = L_r$. У зв'язку з тим, що гусеничний рушій має згладжуючу здатність, на остов землерийної машини діє вже згладжений мікрорельєф. Для його визначення може застосовуватися рівняння виду [4, 5]:

$$Y(l) = \frac{l}{2l_0} \int_{l-l_0}^{l+l_0} y(l) dl, \quad (18)$$

де $y(l)$ – вертикальна координата мікрорельєфу; $Y(l)$ – результуюча вертикальна координата мікрорельєфу після згладжуючої дії гусениці.

Рівняння (18) є усереднюванням вертикальних координат мікрорельєфу по плямі контакту завдовжки $2l_0$, і використовується для визначення вертикальної координати згладженого мікрорельєфу в точці, розташованій в центрі півгусениці, для кожної півгусениці.

Вертикальну координату середньої точки $y_{\text{сеп}}$ для кожної гусениці і кут нахилу остову землерийної машини в подовжній площині γ визначають по рівняннях [5]:

$$y_{\text{сеп}}(l) = \frac{(y_1(l) + y_2(l))}{2}; \quad (19)$$

$$\gamma(l) = \frac{(y_1(l) - y_2(l))}{L_r}, \quad (20)$$

де $y_1(l)$ і $y_2(l)$ – вертикальні координати середніх точок півгусениць, відповідно передньої та задньої.

Для реалізації на обчислювальних машинах рівняння (18) задається в дискретному виді виразом [5]

$$y(n) = \frac{1}{M} \int_{m=n-k}^{n+k} y(m), \quad (21)$$

де $k = 0,5(M - 1)$; M – інтервал усереднення; $y(m)$ – ординати незгладженого мікрорельєфу.

Висновки. Застосування стохастичних моделей рельєфу дозволяє вирішувати завдання взаємодії рушія з ґрунтом при русі базової машини по опорній поверхні, з урахуванням реального рельєфу. Існуючий математичний апарат дозволяє моделювати рух базової машини по опорній поверхні, з урахуванням реального рельєфу місцевості, і може бути використаний в подальших роботах при розрахунках взаємодії рушія розпушувача з поверхнею ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М. : Машиностроение, 1975. – 424 с.
2. Горбатюк Є. В. Створення робочого органу землерийної машини з орієнтованими потоками виносу ґрунту : дис. ... канд. техн. наук. / Є. В. Горбатюк. – К. : КНУБА, 2006. – 180 с.
3. Щербаков Е. С. Исследование неуправляемых перемещений рыхлительного агрегата с целью повышения эффективности разработки мерзлых грунтов: дис. ... канд. техн. наук / Е. С. Щербаков. – М. : МАДИ, 1980. – 207 с.
4. Коротков М. С. Разработка методов измерения массы материала в ковше и запаса устойчивости фронтального погрузчика / М. С. Коротков. – Омск : СибАДИ,

1999. – 225 с.

5. Щербаков В. С. Научные основы повышения точности работ, выполняемых землеройно-транспортными машинами: дис. ... докт. техн. наук / В. С. Щербаков. – Омск : СибАДИ, 2000. – 416 с.

6. Кузин Э. Н. Повышение эффективности землеройных машин непрерывного действия на основе увеличения точности позиционирования рабочего органа : дис. ... докт. техн. наук / Э. Н. Кузин. – М. : ВНИИСДМ, 1984. – 443 с.

7. Слободин В. Я. Оптимизация параметров системы управления бульдозера с целью повышения эффективности процесса копания грунта: дис. ... канд. техн. наук / В. Я. Слободин. – Омск : СибАДИ, 1982. – 235 с.

8. Беляев В. В. Повышение точности планировочных работ автогрейдерами с дополнительными опорными элементами рабочего органа : дис.... канд. техн. наук / В. В. Беляев. – Омск, 1987. – 230 с.

9. Сукач М. К. Синтез землерийної і дорожньої техніки : підручник / М. К. Сукач, Є. В. Горбатюк, О. А. Марченко. – К. : Видавництво Ліра-К, 2013. – 376 с.

10. Гридина Е. Г. Цифровое моделирование систем стационарных случайных процессов / Е. Г. Гридина, А. Н. Лебедев, Д. Д. Недосекин, Е. А. Чернявский. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991. – 144 с.

REFERENCES

1. Zelenin A. N. Mashinih dlya zemlyanikhkh rabot / A. N. Zelenin, V. I. Balovnev, I. P. Kerov. – М. : Mashinostroenie, 1975. – 424 s.

2. Gorbatyuk Є. V. Stvorenniya robochogo organu zemleriyjnoї mashini z orientovanimi potokami vinosu gruntu : dis. ... kand. tekhn. nauk. / Є. V. Gorbatyuk. – К. : KNUBA, 2006. – 180 s.

3. Therbakov E. S. Issledovanie neupravlyaemikhkh peremetheniyj rihkhhliteljnogo agregata s celjyu povihsheniya ehffektivnosti razrabotki merzlihkh gruntov: dis. ... kand. tekhn. nauk / E. S. Therbakov. – М. : MADI, 1980. – 207 s.

4. Korihtov M. S. Razrabotka metodov izmereniya massih materiala v kovshe i zapasa ustoychivosti frontaljnogo pogruchika / M. S. Korihtov. – Омск : SibADI, 1999. – 225 s.

5. Therbakov B. C. Nauchnihe osnovih povihsheniya tochnosti rabot, vihpolnyaemikhkh zemleroyjno-transportnihmi mashinami: dis. ... dokt. tekhn. nauk / B. C. Therbakov. – Омск : SibADI, 2000. – 416 s.

6. Kuzin Eh. N. Povihshenie ehffektivnosti zemleroyjniikhkh mashin neprerihvnogo deystviya na osnove uvelicheniya tochnosti pozicionirovaniya rabocheho organa : dis. ... dokt. tekhn. nauk / Eh. N. Kuzin. – М. : VNIISDM, 1984. – 443 s.

7. Slobodin V. Ya. Optimizaciya parametrov sistemih upravleniya buljdozera s celjyu povihsheniya ehffektivnosti processa kopaniya grunta: dis. ... kand. tekhn. nauk / V. Ya. Slobodin. – Омск : SibADI, 1982. – 235 s.

8. Belyaev V. V. Povihshenie tochnosti planirovochnikhkh rabot avtogreyjderami s dopolniteljniimi opornihmi ehlementami rabocheho organa : dis.... kand. tekhn. nauk / V. V. Belyaev. – Омск, 1987. – 230 s.

9. Sukach M. K. Sintez zemleriyjnoї i dorozhjnoї tekhniki : pidruchnik / M. K. Sukach, Є. V. Gorbatyuk, О. А. Marchenko. – К. : Vidavnictvo Lira-K, 2013. – 376 s.

10. Gridina E. G. Cifrovoe modelirovanie sistem stacionarnikhkh sluchayjniikhkh processov / E. G. Gridina, A. N. Lebedev, D. D. Nedosekin, E. A. Chernyavskiyj. – L. : Ehnergoatomizdat. Leningradskoe otdelenie, 1991. – 144 s.

Пелевин Л.Е., Горбатюк Е.В., Мишук Д.А. АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЯ РЫХЛИТЕЛЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ГРУНТА

Наиболее эффективным способом разрушения мерзлых и скальных грунтов с точки зрения производительности машин и себестоимости разработки грунта является горизонтальное послойное разрыхление навесными рыхлителями на базе мощных тракторов. Одним из путей повышения эффективности рыхлительного агрегата является усовершенствование его системы управления.

Рыхление грунта обеспечивает снижение расходов на тонну продукции, способствует повышению качества продукции и является меньшей опасностью для окружающей среды по сравнению с выполнением земляных работ буроподрывным методом.

В связи с этим, необходимо сделать анализ математических моделей рельефа при взаимодействии движителя рыхлителя с поверхностью грунта.

Целью работы является повышение эффективности рыхлительного агрегата путем усовершенствования его системы управления.

Применение стохастических моделей рельефа позволяет решать задание взаимодействия движителя с грунтом при движении базовой машины по опорной поверхности с учетом реального рельефа. Существующий математический аппарат позволяет моделировать движение базовой машины по опорной поверхности с учетом реального рельефа местности и может быть использован в дальнейших работах при расчетах взаимодействия движителя рыхлителя с поверхностью грунта.

Ключевые слова: рыхлитель, движитель, грунт, рельеф, математическая модель.

Pelevin L.Ye., Gorbatiuk Ie.V., Mischuk D.A. ANALYSIS OF STRUCTURAL CHARTS OF JANITOR'S AND DETERMINATION OF PARAMETERS OF CHAIN SCRAPER DITCHERS

The most effective method of destruction of the frozen and rocky soils from the point of view of the productivity of machines and prime price of development of soil is the horizontal layer making light by hanging scarifiers on the base of powerful tractors. One of ways of increase of efficiency of burster aggregate is an improvement of his control system.

Loosening of soil provides the cost cutting on the ton of products, assists upgrading of products and is a less danger for an environment as compared to implementation of earthmovings a boring- blasting method. In this connection it is necessary to do the analysis of mathematical models of relief at co-operating of rendering-engine of scarifier with the surface of soil.

The aim of work is an increase of efficiency of burster aggregate by the improvement of his control system. Application of stochastic models of relief allows to decide the task of cooperation of rendering-engine with soil at motion of base machine on an underlayment taking into account the real relief. An existent mathematical vehicle allows to design motion of base machine on an underlayment taking into account the real hypsography and can be used in further works at the calculations of cooperation of rendering-engine of scarifier with the surface of soil.

Keywords: scarifier, rendering-engine, soil, relief, mathematical model.

© Пелевін Л. Є., Горбатюк Є. В., Мішук Д. О.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.15

АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ ПОРИСТОГО ПРОНИКЛИВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА РАДІУСОМ ПРИ РАДІАЛЬНО-ІЗОСТАТИЧНОМУ ПРЕСУВАННІ

Повстяной О.Ю., Штерн М.Б.

Луцький національний технічний університет

Проведено аналіз і розрахунок розподілу густини за радіусом пористого проникливого пустотілого циліндру, який отриманий методом радіально-ізостатичного пресування. Через певні аналітичні розрахунки визначено фактори, які сприяють неоднорідності розподілу густини при даному виді пресування для пористих проникливих матеріалів.

Авторами статті доведено, що для отримання оптимального поророзподілення по січенню пористого проникливого матеріалу, яке забезпечує максимальне значення експлуатаційних характеристик, необхідно використовувати таку схему пресування, яка дозволяє зв'язати структурні характеристики даного матеріалу з їх основними режимами роботи.

Проведено статистичну обробку отриманих у процесі вимірювання характеристик пористих матеріалів, а також відображено графічні залежності для візуалізації процесу аналізу структури.

Показано, що для практичного створення потрібної пористої структури матеріалу, яка буде відповідати оптимальному поєднанню експлуатаційних характеристик, необхідно встановити взаємозв'язок між технологічними режимами отримання і оптимальним перерозподіленням за радіусом.

Ключові слова: пористий проникливий матеріал, радіально-ізостатичне пресування, розподіл густини, пористість, поле напружень, діватор напружень.

Вступ. Сучасний стан розвитку порошкової металургії характеризується процесом неперервного збагачення її новими ідеями отримання пористих проникливих матеріалів (ППМ) [1, 2]. Однак, рішення цих задач методами порошкової металургії обмежені, з однієї сторони, технологічними можливостями відомих прийомів та методів отримання фільтруючих матеріалів [3, 4], а з другої, залежностями ряду властивостей від параметрів виготовлення [5, 6]. Крім того, на практиці при створенні ППМ зі заданим комплексом експлуатаційних характеристик виникають труднощі, які пов'язані з обмеженими властивостями традиційних технологій виготовлення.

Тому для отримання оптимального поророзподілення по січенню ППМ, яке б забезпечило максимальне значення експлуатаційних характеристик, необхідно використовувати таку схему пресування, яка дозволила би зв'язати структурні характеристики ППМ з основними режимами роботи їх та спрогнозувати оптимальне поророзподілення ППМ.

Отже, для практичного створення потрібної пористої структури ППМ, яка буде відповідати оптимальному поєднанню експлуатаційних характеристик, необхідно встановити взаємозв'язок між технологічними режимами отримання і оптимальним поророзподіленням за радіусом ППМ.

Актуальність дослідження. Метод радіально-ізостатичного пресування полягає в тому, що на відміну від більш поширеного осьового пресування в жорстких матрицях, зусилля до порошку прикладається у радіальному напрямку. Однією із переваг даного методу вважають рівномірність розподілу густини по об'єму пресовки. Дійсно, затрати на протидію зовнішньому тертю у випадку радіального пресування, з цієї точки зору, виявилися на порядок менші. Ця обставина і стала першопричиною при виборі методу отримання довгих циліндричних пустотілих виробів.

Саме цим керувалися Борок Б. А. та Мейерсон В. Д. у своїх роботах [7, 8], де описувався даний метод. Згодом, їх послідовники та прибічники почали шукати теоретичне виправдання однорідності розподілу густини. Щоправда, вже на початку 80-х років думки дослідників дещо розійшлися, хоча більшість схилилась на користь того, що густина має розподілятися рівномірно по радіусу.

Певним виправданням цього факту були публікації Штерна М. Б. та Мартинової І. Ф., де даний результат покладался в основу обчислень, спрямованих на визначення робочого тиску за умов радіального обтиснення [9, 10]. У той же час, більш послідовний підхід, який запропонував Михайлов О. В., ґрунтувався на застосуванні методу скінчених елементів не підтверджував рівномірного розподілу густини по радіусу [11]. Даний результат було отримано обчислювальним шляхом, різниця у поглядах певний час зберігалась.

Постановка задачі. Саме тому на підставі вищенаведеного, а також особливої уваги, якої набуває дане питання у зв'язку із вибором технології пресування. Тому **метою даної роботи** є проведення спеціального дослідження спрямованого на вирішення питання про розподіл густини за радіусом при радіально-ізостатичному пресуванні.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні **задачі**:

- дати опис геометричній моделі процесу пресування ППМ та розрахувати напруження та швидкості деформацій при цьому;
- визначити поле густини пустотілого ППМ;
- перевірити адекватність математичної моделі та точності теоретичних розрахунків за допомогою експериментальних досліджень.

Результати дослідження. Для досягнення даної мети використано континуальну теорію пластичності пористого тіла у модифікації, запропонованої у роботах [12, 13]. При цьому буде отриманий результат, який матиме відносно простий аналітичний вигляд, що дозволить аналізувати фактори, які сприяють неоднорідності розподілу густини.

Геометричну модель ППМ у вигляді пустотілого циліндру представлено на рис. 1

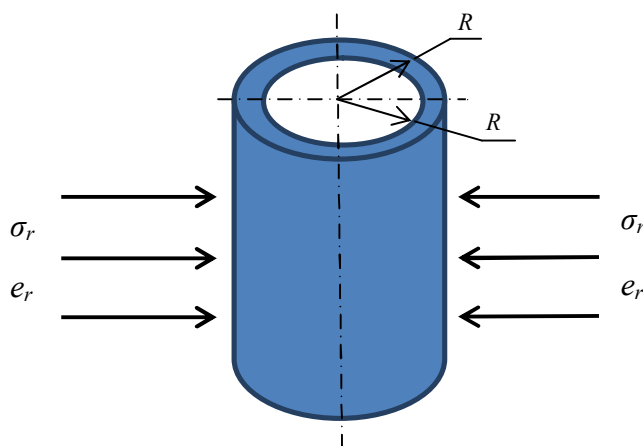


Рисунок 1 – Геометрична модель прикладання напружень на ППМ у вигляді пустотілого циліндру

Припускаємо, що циліндр на рис. 1 перебуває під дією радіального обтиснення, яке прикладене на його зовнішній поверхні $r=R_2$. Його внутрішня поверхня також циліндрична з радіусом $r=R_1$ є нерухомою. Завдяки опору, який чинить металевий порошок радіальному переміщенню, у ньому виникають напруження $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\phi$. Дотичні напруження не є визначальними та в подальшому ігноруються.

У свою чергу, радіальна дія, що визначається швидкістю v_r обумовлює існування швидкостей деформацій $e_r = \frac{\partial v_r}{\partial r}$, а також $e_\phi = \frac{v_r}{r}$. Ці компоненти разом із компонентою осьової деформації $e_z = \frac{\partial v_z}{\partial z}$ задовольняють рівняння збереження маси (рівняння нерозривності):

$$e = e_z + e_r + e_\phi, \quad (1)$$

де e – швидкість зміни об'єму, яка пов'язана зі швидкостями зміни пористості та густини виразим:

$$e = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{1}{1-\theta} \frac{\partial \theta}{\partial t}. \quad (2)$$

Згідно із відомими технологіями радіального обтиснення, висота на змінюється, тому далі вважатимемо, що $e_z = 0$

Далі також будуть використані перші два інваріанти тензорів напружень і швидкостей деформацій, які подаються у вигляді:

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\varphi); \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(e_r - e_\varphi)^2 + (e_z - e_\varphi)^2 + (e_r - e_z)^2}; \quad (4)$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\varphi)^2 + (\sigma_z - \sigma_\varphi)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2}. \quad (5)$$

Далі використаємо модель пластичності пористого тіла, яке вільне від впливу третіх інваріантів або параметрів Лодє-Надаї. Тому компоненти девіаторів напружень і швидкостей деформацій подібні. Це виражається наступною тензорною рівністю:

$$\frac{\sigma_z - \sigma_r}{\sigma_z - \sigma_r} = \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{e_r - e_\varphi} = \frac{\sigma_\varphi - \sigma_z}{e_\varphi - e_z}. \quad (6)$$

Зокрема, її наслідком є рівність:

$$\frac{\sigma_z - \sigma_r}{e_z - e_r} = \frac{\sigma_\varphi - \sigma_z}{e_\varphi - e_z}. \quad (7)$$

Слід підкреслити, що процес деформування, який має місце при радіально-ізостатичному пресуванні, відповідає плоскій течії. Тому, незважаючи на відсутність осової компоненти швидкості, осова компонента тензора напружень відмінна від нуля та легко визначається з рівняння (7):

$$\sigma_z = \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{e_r - e_\varphi} e_z + \frac{e_r \sigma_\varphi - e_\varphi \sigma_r}{e_r - e_\varphi}, \quad (8)$$

яке за допомогою умови $e_z = 0$ набуває вигляду:

$$\sigma_z = \frac{e_r \sigma_\varphi - e_\varphi \sigma_r}{e_r - e_\varphi}. \quad (9)$$

Далі особливу роль відіграватимуть інтенсивності девіаторів швидкостей деформацій і напружень:

$$\gamma = \frac{\sqrt{e_r^2 + (e_r - e_\varphi)^2 + e_\varphi^2}}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$\tau = \gamma \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{e_r - e_\varphi}. \quad (11)$$

Внаслідок сформульованих спрощень набувають конкретного вигляду та вирази для середнього тиску й інтенсивності девіатору напружень:

$$p = \frac{1}{3} \left(\frac{e_r(\sigma_r + 2\sigma_\varphi) - e_\varphi(2\sigma_r + \sigma_\varphi)}{e_r - e_\varphi} \right) \quad (12)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{e_r^2 + (e_r - e_\varphi)^2 + e_\varphi^2}}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{e_r - e_\varphi}. \quad (13)$$

Основна ідея побудови розв'язку полягає у застосуванні двох етапів. На першому з них виходимо з припущення, що поле густини є однорідним.

У дійсності вона не є однорідно розподіленою. От саме для того, щоб цю неоднорідність визначити, ми повертаємось до рівнянь, які описують поверхню навантаження [14].

Отже, почнемо із припущення, що густина розподілена однорідною. Із рівняння нерозривності (1) за умови, що $e_z = 0$, в цьому випадку впливає, що:

$$e_r = \frac{1}{2}e - \frac{b}{r^2}; \quad (14)$$

$$e_\varphi = \frac{1}{2}e + \frac{b}{r^2}; \quad (15)$$

$$v_r = \frac{1}{2}er + \frac{b}{r}. \quad (16)$$

Рівняння (19–21) містять швидкість зміни об'єму e та константу інтегрування b . Для того, щоб визначити цю константу використовуємо умову:

$$v_r = 0 \quad \text{якщо} \quad r = R_1 \quad (17)$$

$$0 = \frac{1}{2}eR_1 + \frac{b}{R_1}. \quad (18)$$

Задовольняючи цю умови, знаходимо:

$$b = -\frac{1}{2}eR_1^2. \quad (19)$$

Звідси виводимо ряд рівностей:

$$e_r = \frac{1}{2}e + \frac{\frac{1}{2}eR_1^2}{r^2}; \quad (20)$$

$$e_\varphi = \frac{1}{2}e - \frac{\frac{1}{2}eR_1^2}{r^2}; \quad (21)$$

$$e_r - e_\varphi = \frac{R_1^2}{r^2}e. \quad (22)$$

Тепер переходимо до визначення поля напружень. Із цією метою ми використовуємо рівняння (20–22):

$$\sigma_r - \sigma_\varphi = \frac{3(e_r - e_\varphi)\sigma_r}{2e_r - e_\varphi + 3e\chi} = \frac{3\frac{R_1^2}{r^2}\sigma_r}{(\frac{1}{2} + \frac{3R_1^2}{2r^2}) + 3\chi}, \quad (23)$$

а також рівняння квазістатки, яке часто називають рівнянням рівноваги:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0. \quad (24)$$

Підставляючи (23) у (24), приходимо до простого звичайного диференціального рівняння:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{6R_1^2 \sigma_r}{3rR_1^2 + r^3(1 + 6\chi)} = 0. \quad (25)$$

Загальний розв'язок рівняння (25) можемо подати у вигляді, який включає невідому константу інтегрування C :

$$\sigma_r = \frac{r^2 + 3R_1^2 + 6r^2\chi}{r^2} C. \quad (26)$$

Для її знаходження використовуємо той факт, що за відсутності внутрішньої порожнини, напруження буде розподілене рівномірно та буде рівним радіальному тиску p_{rad} :

$$R_1 = 0: \sigma_r = (1 + 6\chi)C = p_{rad}.$$

За його допомогою знаходимо всі компоненти тензору напружень та інваріанти напруженого стану:

$$\sigma_r = \frac{r^2 + 3R_1^2 + 6r^2\chi}{r^2} \frac{p_{rad}}{(1 + 6\chi)}; \quad (27)$$

$$\sigma_\varphi = \sigma_r - \frac{3 \frac{R_1^2}{r^2}}{\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2} \frac{R_1^2}{r^2}\right) + 3\chi} \sigma_r; \quad (28)$$

$$\sigma_r - \sigma_\varphi = \frac{3 \frac{R_1^2}{r^2}}{\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2} \frac{R_1^2}{r^2}\right) + 3\chi} \sigma_r; \quad (29)$$

$$p = \frac{6\chi}{1 + 6\chi} p_{rad}; \quad (30)$$

$$\tau = -\frac{\sqrt{6 + \frac{18R_1^4}{r^4}}}{1 + 6\chi} p_{rad}; \quad (31)$$

$$\frac{p^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\varphi} = (1 - \theta)\sigma_m; \quad (32)$$

$$\varphi = 1; \quad (33)$$

$$\chi = \psi = \frac{a}{\theta}; \quad (34)$$

$$p = \frac{6\chi}{1 + 6\chi} p_{rad};$$

$$\tau = -\frac{\sqrt{6 + \frac{18R_1^4}{r^4}}}{1 + 6\chi} p_{rad}. \quad (35)$$

Значення p_{rad} знаходимо, розв'язуючи однорідну задачу про радіальне стиснення циліндра, який не містить порожнини. Розв'язок представлений послідовністю наступних рівнянь:

$$e_z = 0; \quad (36)$$

$$e = 2e_r; \quad (37)$$

$$\gamma = -\sqrt{\frac{2}{3}}e_r; \quad (38)$$

$$p = +\sqrt{1-\theta_0} \frac{2e_r\psi}{\sqrt{\left(-\sqrt{\frac{2}{3}}e_r\right)^2\varphi + (2e_r)^2\psi}}\sigma_m; \quad (39)$$

$$\tau = \sqrt{1-\theta_0} \frac{-\sqrt{\frac{2}{3}}e_r\varphi}{\sqrt{\left(-\sqrt{\frac{2}{3}}e_r\right)^2\varphi + (2e_r)^2\psi}}\sigma_m; \quad (40)$$

$$\sigma_r = p - \frac{\tau}{\sqrt{6}}. \quad (41)$$

Отже,

$$P_{rad} = \sigma_r = -\frac{\sqrt{1-\theta_0}\sigma_m\sqrt{\varphi+6\psi}}{\sqrt{6}}. \quad (42)$$

Підставляючи значення φ та ψ та пам'ятаючи, що пористість відповідає рівномірному її розподілу, отримаємо:

$$p_{rad} = -\sqrt{1-\theta_0}\sigma_m\sqrt{\frac{1}{6} + \frac{a}{\theta_0}}. \quad (43)$$

На підставі результатів, які отримані раніше, можна безпосередньо перейти до визначення поля густини. Тому скористуємось першим із визначальних співвідношень – рівнянням (5). Зауважимо, що раніше ми ним ще не користувались. Подамо його спершу у вигляді:

$$\frac{p^2}{a}\theta + \tau^2 = (1-\theta)\sigma_m. \quad (44)$$

Звертає на себе увагу той факт, що воно містить інваріанти тензора напружень, які є нелінійними функціями r . Саме це рівняння є лінійним відносно пористості θ . Слід зауважити, що в даному випадку це значення пористості вже є наступним наближенням до істинного поля густини. Попереднім, або нульовим наближенням, було $\theta = \theta_0$.

Розв'язуючи це рівняння відносно θ , отримаємо рівняння для уточненого поля густини:

$$\theta = \frac{a(\sigma_m^2 - \tau^2)}{p^2 + a\sigma_m^2}. \quad (45)$$

Після підстановки у нього отриманих значень для p , τ , p_{rad} , маємо:

$$\theta = \frac{a \left(\sigma_m^2 - \left(-\frac{\sqrt{6 + \frac{18R_1^4}{r^4}}}{1 + 6\chi} p_{\text{rad}} \right)^2 \right)}{\left(\frac{6\chi}{1 + 6\chi} p_{\text{rad}} \right)^2 + a\sigma_m^2}. \quad (46)$$

Для конкретних обчислень перш за все необхідно знайти величину θ_0 , яка є нульовим наближенням до пористості. Із цією метою використовуємо закон збереження маси:

$$\theta_0 = 1 - \frac{R_{2i}^2}{R_2^2} (1 - \theta_i). \quad (47)$$

Тут і надалі R_{2i} – це початковий радіус заготовки перед радіально-ізостатичним навантаженням, θ_i – початкова пористість.

Параметр a доцільно визначити із експерименту на всебічне стиснення, апроксимуючи криву «тиск – пористість» у вигляді $p = \frac{a}{\theta}$. Параметр σ_m доцільно вважати рівним тиску, який відповідає зменшенню пористості на 25% від початкового значення (тобто, якщо вона була спочатку рівна 0,5, то σ_m рівне тому тиску, коли пористість дорівнюватиме 0,375).

Вигляд розрахункової залежності пористості наведений на рисунку 2. Як видно з розрахунків та проведення практичного дослідження пористість змінюється при зміні радіусу циліндричної заготовки ППМ (пустотілого циліндру), який виготовлений методом радіально-ізостатичного пресування.

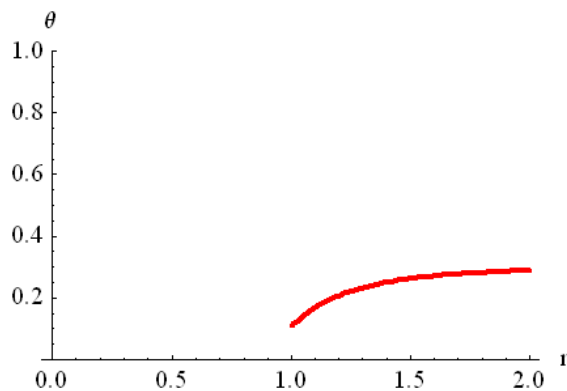


Рисунок 2 – Залежність пористості θ від радіусу r (см) заготовки

Для перевірки адекватності математичної моделі та точності теоретичних розрахунків визначимо структурні характеристики металографічним методом за допомогою прикладної програми *Smart-eye*[®], яка розроблена у Луцькому НТУ авторами під керівництвом наукового співробітника доц. Коменди Т. В. [15].

Для дослідження цілого зразка пористого проникливого матеріалу (пустотілого циліндра) ми розбили його на п'ять рівних частин по висоті з метою отримання структурного аналізу кожної частини, а потім і вцілому.

Для визначення структурного аналізу необхідно провести калібрування, тобто визначення правильного розміру частини мікрошліфа (рис. 3).

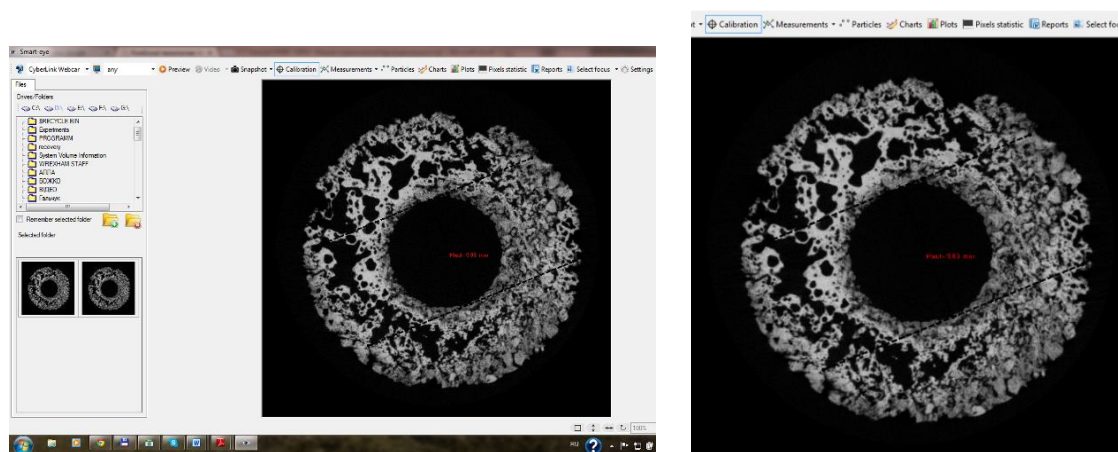


Рисунок 3 – Процес калібрування зразка та введення реальної розмірності за допомогою програми *Smart-eye*®

Програмне забезпечення *Smart-eye*® дозволяє здійснювати автоматичний розрахунок розподілу пористості за радіусом зразка та статистичну обробку даних перерізів ППМ (рис. 4).

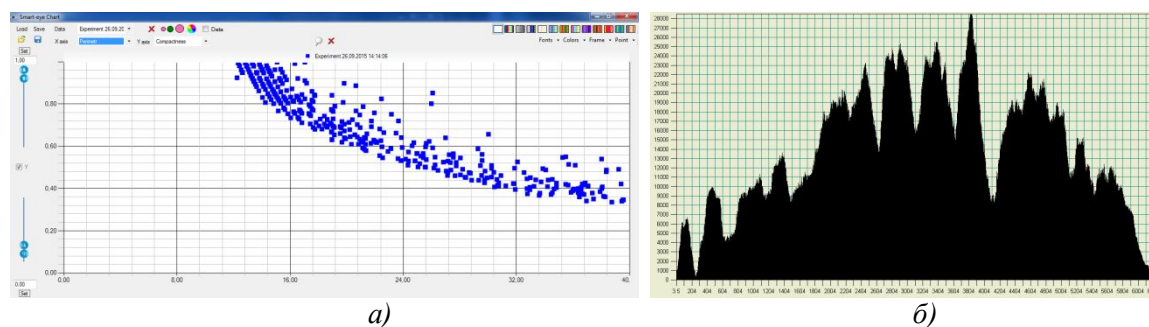


Рисунок 4 – Автоматичний розрахунок розподілу пористості θ за радіусом r (мм) зразка (а) та статистична обробка даних (б) перерізів ППМ

Із графіку видно, що розподіл пористості за радіусом пустотілого циліндра ППМ нерівномірний, особливо це яскраво видно на відстаннях, що наближаються до зовнішнього діаметру заготовки (32.. 40 мм).

Висновки. Авторами даного наукового дослідження було проведено аналіз і розрахунок розподілу густини за радіусом пустотілого ППМ, який отриманий методом радіально-ізостатичного пресування. Під час проведення теоретичних розрахунків був отриманий результат, який має простий аналітичний вигляд і дозволяє аналізувати фактори, які сприяють неоднорідності розподілу густину. Це і показано в ході проведення розрахунків і перевірки експериментально.

Проведено статистичну обробку отриманих у процесі вимірювання характеристик ППМ, а також відображено графічні залежності для візуалізації процесу аналізу структури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пористые проницаемые материалы : справочник / [Белов С. В., Витязь П. А., Шелег В. К. и др.]. – М. : Металлургия, 1987. – 332 с.
2. Шибряев Б. Ф. Пористые проницаемые порошковые материалы / Б. Ф. Шибряев. – М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
3. Анащенко М. П. Пористые материалы из металлических порошков для очистки питьевой, технической и сточной воды / М. П. Анащенко, Л. П. Пилинович, В. В. Савич, А. Л. Рак // Новые ресурсосберегающие технологии и улучшения экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении : пез. докл. межд. конф. – Витебск, 1998. – С. 269-271.

4. Витязь П. А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, Р. А. Кусин. – Мн. : НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
5. Витязь П. А. Прогнозирование свойств спеченных проницаемых материалов с переменной по сечению пористостью бидисперсной глобулярной модели / П. А. Витязь, В. К. Шелег, В. М. Капцевич. – Мн. : Вышэйшая школа, 1980. – Вып. 4. – С. 68-72.
6. Федорченко И. М. Фильтрующие свойства высокопористых материалов, изготовленных из железного порошка с несферической формой частиц / И. М. Федорченко, Н. А. Филатова // Порошковая металлургия. – 1962. – № 3. – С. 49-54.
7. Борок Б. А. Порошковая металлургия : уч. для вузов. / Б. А. Борок, И. И. Ольхов – М. : Металлургиздат, 1948. – 144 с.
8. Борок Б. А. Гидростатическое прессование металлических порошков / Борок Б.А. // Порошковая металлургия : доклады 4-го Всесоюзного совещания по вопросам порошковой металлургии – М. : Металлургиздат, 1956. – С.187-203.
9. Штерн М. Б. Про залежність густина – тиск та розподілі густини при пресуванні порошків / М. Б. Штерн // Порошкова металургія. – 2014. – № 03/04. – С. 19-29.
11. Штерн М. Б. Численное моделирование процессов прессования порошковых изделий сложной формы в жестких матрицах: влияние схемы прессования на распределение плотности / М. Б. Штерн, О. В. Михайлов // Порошковая металлургия. – 2002. – № 11/12. – С. 29-36.
12. Михайлов О. В. Моделювання ущільнення біпористих порошкових виробів, що мають похилі до напрямку пресування поверхні / О. В. Михайлов // Математичні моделі і обчислювальний експеримент в матеріалознавстві. – К. : ІПМ ім. І. М. Францевича НАН України. – 2011. – № 13. – С. 90-95.
13. Штерн М. Б. Развитие теории пластичности пористых тел / М. Б. Штерн // Порошковая металлургия. – 1992. – № 9. – С. 19-29.
14. Штерн М. Б. Определение ресурса пластичности порошковых материалов на основе модели пластического течения пористых тел. I. Критерий исчерпания ресурса пластичности / М. Б. Штерн, В. Д. Дудунов // Порошковая металлургия. – 1999. – № 11/12. – С. 31-40.
15. Кузьмов А. В. Влияние третьего инварианта на свойства и структуру определяющих соотношений порошковых материалов / А. В. Кузьмов, М. Б. Штерн // Порошковая металлургия. – 2003. – № 7–8. – С. 1-10.
16. Металографічний аналіз та обробка зображень мікроструктури сопел для піскоструменевої обробки, які виготовлені методами порошкової металургії / [О. Ю. Повстяной, В. А. Сичук, А. Макмиллан, В. Д. Рудь, О. В. Заболотний] // Порошкова металургія. – 2015. – № 3/4. – С. 136-143

Повстяной А.Ю., Штерн М.Б. АНАЛИЗ И РАССЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРИСТОГО ПРОНИЦАЕМОГО МАТЕРИАЛА ПО РАДИУСУ ПРИ РАДИАЛЬНО-ИЗОСТАТИЧЕСКОМ ПРЕССОВАНИИ

Проведен анализ и расчет распределения плотности по радиусу пористого проницаемого пустотелого цилиндра, полученный методом радиально-изостатического прессования. Через определенные аналитические расчеты определены факторы, которые способствуют неоднородности распределения плотности при данном виде прессования для пористых проницаемых материалов.

Авторами статьи доказано, что для получения оптимального распределения по сечению пористого проницаемого материала, который обеспечивает максимальное значение эксплуатационных характеристик, необходимо использовать такую схему прессования, которая позволяет связать структурные характеристики данного материала с основными режимами их работы.

Проведено статистическую обработку полученных в процессе измерения характеристик пористых материалов, что и отражено в графических зависимостях для визуализации процесса анализа структуры.

Показано, что для практического создания нужной пористой структуры материала, которая будет соответствовать оптимальным эксплуатационным характеристикам, необходимо

установить взаимосвязь между технологическим режимами получения и оптимальным порораспределением по радиусу.

Ключевые слова: пористый проницаемый материал, радиально-изостатическое прессование, распределение плотности, пористость, поле напряжений, девиатор напряжений.

Povstyanoy O.Yu., Shtern M.B. ANALYSIS AND CALCULATION OF THE DENSITY DISTRIBUTION OF POROUS PERMEABLE MATERIAL ON THE RADIUS OF THE RADIAL-ISOSTATIC PRESSING

The analysis and calculation of the density distribution along the radius of the porous permeable hollow cylinder obtained by radial-isostatic pressing. At certain analytical calculations of the factors that contribute to the heterogeneity of the density distribution in this type of compression of porous permeable materials.

The authors demonstrated that for optimal distribution by chopping penetrating the porous material that provides maximum performance value, you must use a scheme of pressing, which allows you to link structural characteristics of the material of the main modes of them.

A statistical analysis of the process of measuring the characteristics of porous materials and graphical displays for visualizing the dependency structure analysis process.

It is shown that for practical establishment of the desired porous structure of the material that will fit the optimal combination of performance, it is necessary to establish the relationship between technological regimes and obtain optimal pororozpodilennya radius.

Keywords: porous permeable material, radial-isostatic pressing, the density distribution, the porosity, the stress field, the stress deviator.

© Повстяной О. Ю., Штерн М. Б.

Статтю прийнято
до редакції 13.10.15

МОРФОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПРУЖНИХ ЛАНОК МАШИН ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ З МЕТАЛЕВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Проценко В.О.

Херсонська державна морська академія

У статті розглянуті питання реалізації системно-морфологічного підходу до синтезу структури пружних ланок машин змінної жорсткості з металевими елементами. Встановлено морфологічні ознаки способів забезпечення змінної жорсткості згаданих ланок та варіанти цих ознак. Запропоновано класифікації способів забезпечення змінної жорсткості ланок оснащених суцільними металевими та канатними пружними елементами. Розроблені морфологічні матриці синтезу способів забезпечення змінної жорсткості, розкриття яких дало можливість обчислити кількість можливих способів забезпечення змінної жорсткості. Отримані результати являють собою морфологічні основи синтезу структури пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими та канатними пружними елементами. Вони дозволяють формалізувати опис цих конструкцій і можуть стати основою для організації системного синтезу нових технічних рішень.

Ключові слова: пружний елемент, канат, жорсткість, муфта, структура, синтез.

Вступ. Розроблення, дослідження та впровадження ефективних конструкцій пружних ланок машин змінної жорсткості може стати причиною підвищення ресурсу сучасних машин. Однак позасистемний пошук нових технічних рішень значно ускладнює процес синтезу, оскільки він у такому випадку виконується практично «всліпу». З огляду на це, розвиток системних підходів до створення нових конструкцій деталей машин, в тому числі пружних ланок змінної жорсткості є актуальною задачею.

Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі. Задача створення пружних ланок, що мають змінну жорсткість привела дослідників до розробки ряду оригінальних пристроїв: муфт, пружних елементів, вантажних підвісок, різного роду амортизаторів та ін. Відомі на сьогодні способи забезпечення змінної жорсткості пружних ланок створених на основі пружних елементів універсальної конструкції із власною лінійною характеристикою, для випадку застосування їх у муфтах, в [1] узагальнено до таких:

- а) послідовне навантаження пружних елементів;
- б) «нетрадиційний» спосіб навантаження пружних елементів;
- в) забезпечення змінного положення точки (лінії) прикладення навантаження до пружного елемента.

Наведені у [1] приклади конструктивних рішень, що відповідають згаданим класифікації підтверджують її недостатню чіткість та формалізованість, що ускладнює реалізацію системного підходу у синтезі нових технічних рішень. Так, наведені у [1] приклади конструкцій для згаданих способів б) і в) фактично можуть бути обидва віднесені до способу в), оскільки конструкції по типу [2], які в наведеній класифікації [1] віднесені до випадку б) як раз реалізують зміну лінії прикладення навантаження до пружних елементів (у випадку [2] гвинтових пружин).

Ці обставини вимагають уточнення або розроблення нової класифікації способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок з метою формалізації опису та організації системного синтезу цих технічних рішень. Для організації системного синтезу пружних ланок змінної жорсткості зручно застосовувати метод морфологічного аналізу та синтезу [3]. Для його застосування необхідно уточнити класифікацію способів забезпечення зміни їх жорсткості, а для цього встановити морфологічні ознаки, які дозволять побудувати нову, уточнену класифікацію способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин і намітити напрямки подальших досліджень, що і становить мету даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі на початковому етапі запишемо узагальнену формулу [4] для визначення деформації перерізу $ДП$:

$$ДП = \frac{ВСФ}{ЖП}, \quad (1)$$

де $ВСФ$ – внутрішній силовий фактор (сила F , згинальний момент $M_{зг}$, крутний момент T); $ЖП$ – жорсткість перерізу стрижня.

В той же час:

$$ЖП = M \times ГХП, \quad (2)$$

де M – модуль пружності матеріалу; $ГХП$ – геометрична характеристика перерізу.

Підставляючи (2) у (1) отримаємо:

$$ДП = \frac{ВСФ}{M \times ГХП}. \quad (3)$$

Оскільки деформація $ДП$ базового пружного елемента визначає жорсткість пружної ланки, яку оснащено цим пружним елементом, формула (3) дозволяє уточнити запропоновану в [1] класифікацію та розкрити резерви створення нових пружних ланок змінної жорсткості для сучасних машин, а для цього намітити деякі морфологічні ознаки – це зміна $ВСФ$, $ГХП$, або $ЖП$ вцілому. Далі, для вирішення поставлених задач встановимо варіанти цих морфологічних ознак.

Внутрішній силовий фактор $ВСФ$ можна змінити за рахунок кількісної зміни величини зовнішнього навантаження на пружні елементи, зміни складової цього навантаження, що сприймається пружним елементом (за рахунок забезпечення змінного положення точки (лінії) прикладення навантаження до пружного елемента) [2], а також послідовним навантаженням і попереднім деформуванням складених пружних елементів [5, 6].

Для суцільних пружних елементів іншим варіантом зміни жорсткості згідно формули (3) є зміна геометричної характеристики перерізу пружного елемента $ГХП$. Принципово відповідь про можливі способи зміни $ГХП$ дають рівняння (4) та (5), які описують зміну моменту інерції J_{x1} при повороті перерізу на кут α чи зміщення на величину b відносно центральних осей:

$$J_{x1} = J_x \cos^2 \alpha + J_y \sin^2 \alpha - J_{xy} \sin 2\alpha; \quad (4)$$

$$J_{x1} = J_x + b^2 A, \quad (5)$$

де J_x , J_y , J_{xy} – осеві та відцентровий моменти інерції перерізу відносно головних осей; A – площа перерізу.

Перший із двох варіантів зміни $ГХП$ – поворот перерізу пружного елемента реалізовано у [7]. Другий варіант – зміщення перерізів пружних елементів поки в розроблених конструкціях пружних ланок застосування не знайшов, що розкриває резерв для майбутніх досліджень. Зміна площі A для суцільних металевих елементів не є можливою, тому далі не розглядається

Отже можна записати варіанти морфологічних ознак способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з класичними суцільними металевими елементами:

1. Вплив на внутрішній силовий фактор ($ВСФ = var$).

Варіанти: $ВСФ$ незмінний (A_0);

зміна $ВСФ$ послідовним навантаженням пружних елементів (A_1);

зміна $ВСФ$ попереднім навантаженням (деформацією) пружних елементів (A_2);

зміна $ВСФ$ забезпеченням змінного положення точки (лінії) прикладення зовнішнього навантаження до пружного елемента (A_3);

зміна $ВСФ$ зміною величини зовнішнього навантаження на пружний елемент (A_4).

2. Вплив на геометричну характеристику перерізу ($GHP = var$).

Варіанти реалізації: GHP незмінна (B_0);

зміна GHP поворотом перерізу пружного елементу (B_1);

зміна GHP зміщенням перерізу пружного елементу (B_2);

зміна GHP зміщенням і поворотом перерізу пружного елементу (B_3).

Наведені ознаки допускають розширення за рахунок додавання зміни $ЖП$ (формула (1)) без зміни GHP , або за її незначної зміни. Однак для класичних суцільних пружних елементів, що виготовлені з матеріалів із незмінним модулем пружності M , цей варіант не є можливим. Очевидне виключення становлять еластомірні елементи, які характеризуються рядом відомих недоліків і далі не розглядаються.

Серед металевих елементів можливістю зміни $ЖП$ без зміни GHP характеризуються тільки сталеві канати, це доведено роботами професорів Нестерова П. П., Глушко М. Ф., Ковальського Б. С., Сергеева С. Т., Малиновського В. А., Чаюна І. М. [8–13] та ін. Перспективність застосування сталевих канатів у якості елементів пружних ланок різноманітних машин доведена багатьма дослідниками.

Зокрема, дослідженнями проф. Малиновського В. А. [9] встановлено, що зведена згинальна жорсткість каната $\bar{B}$ складається з жорсткості B , обумовленої пружною деформацією дротин та трибожорсткості b від тертя дротів і сталок між собою:

$$\bar{B} = B \pm b. \quad (6)$$

Питання міцності та конструювання сталевих канатів були детально розроблені завдяки роботам проф. Глушко М. Ф., яким були отримані диференціальні рівняння статички каната [8]. На основі цих рівнянь, Глушко М. Ф., розглянувши аналогію згину каната та щільно звитої пружини, отримав формули для визначення пружної згинальної жорсткості канатів одинарної та подвійної звивки, загального вигляду:

$$B = n' g' + 10^{-3} (a_1 + a_2 \sigma_p) \Delta^4, \quad (7)$$

де n' – кількість сталок у канаті; g' – згинальна жорсткість окремої сталки; $a_{1,2}$ – коефіцієнти, що залежать від конструкції канатів; Δ – діаметр сталки; σ_p – середнє напруження розтягу.

Трибожорсткість b обчислюється за формулою:

$$b = (a_1 \sigma_p + a_2) d_k^4, \quad (8)$$

де a_1 і a_2 – дослідні коефіцієнти для конструкції застосованого в муфті канату, віднесені до одиничного діаметру.

Формули (7) та (8) ілюструють залежність згинальної пружної та трибожорсткості від сили натягу каната (у вигляді середнього напруження розтягу σ_p).

Аналогічні висновки можна дістати з розгляду квазіпружної моделі розтягувальної $\bar{A}$ (8) та крутильної $\bar{G}$ (9) жорсткості також запропонованих Малиновським В. А. [13]:

$$\bar{A} = A \pm a, \quad (8)$$

$$\bar{G} = G \pm g, \quad (9)$$

де A – пружна розтягувальна жорсткість; a – трибожорсткість при розтягу; G – пружна крутильна жорсткість; g – трибожорсткість при крученні.

Наведеними моделями не охоплено такий вид опору каната як стиск. Це не є дивним, оскільки робота канатів на стиск у поширених випадках їх використання є нетиповою, однак для створення пружних ланок, в яких пружні елементи працюють на стиск, сталеві канати є дуже перспективними, оскільки мають при стискуванні власну нелінійну характеристику [14], що формує умови для їх застосування у пружних ланках із

змінною жорсткістю, а також дозволить уникнути пропуску морфологічних ознак у новій класифікації.

Для зведеної стискальної жорсткості (compression rigidity) $\bar{C}$ каната по аналогії з формулами (8) та (9) запишемо:

$$\bar{C} = C \pm c, \quad (10)$$

де C – пружна стискальна жорсткість; c – трибожорсткість при стиску.

Очевидно, що найбільш простим засобом зміни зведеної стискальної жорсткості $\bar{N}$ є закручування чи розкручування каната.

Аналізуючи формули (6–10) для визначення зведених жорсткостей та їх складових, а також ряд результатів проф. Чаюна І. М. [15], можна зробити висновок, що резервом для зміни жорсткостей є керування пружними жорсткостями A , G та C , а також трибожорсткостями a , g та c . Таким чином, можна записати варіанти забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин за рахунок керування жорсткістю перерізу канатних елементів:

2. Вплив на жорсткість перерізу (для канатних елементів) ($ЖП = var$). Варіанти реалізації:

$ЖП$ незмінна ($Бк_0$);

зміна $ЖП$ натягуванням каната ($Бк_1$);

зміна $ЖП$ стисканням каната ($Бк_2$);

зміна $ЖП$ закручуванням каната ($Бк_3$);

зміна $ЖП$ розкручуванням каната ($Бк_4$);

зміна $ЖП$ натягуванням і закручуванням каната ($Бк_5$);

зміна $ЖП$ натягуванням і розкручуванням каната ($Бк_6$);

зміна $ЖП$ стисканням і закручуванням каната ($Бк_7$);

зміна $ЖП$ стисканням і розкручуванням каната ($Бк_8$);

зміна $ЖП$ виведенням з роботи окремих сталок ($Бк_9$);

зміна $ЖП$ зміною кривизни канатного елементу ($Бк_{10}$).

Конструктивно найбільш просто реалізувати варіанти $Бк_5$ – $Бк_{10}$ керування жорсткістю канатних пружних елементів, тому резерв майбутніх досліджень сталевих канатів ілюструють дані табл. 1.

Зміну кожного із вказаних параметрів можна виконати тільки за рахунок підведення керуючої енергії, що реалізує керування жорсткістю і витрачається на поворот, зсув, розтягування чи стиск елементів згідно наведених варіантів. Тут можливі два варіанти – керуюча енергія є частиною енергії, що передається чи сприймається пружною ланкою або вона підводиться ззовні від незалежного джерела. При використанні того чи іншого варіанту забезпечення керуючого впливу на жорсткість, відповідні ланки будуть пасивними чи активними. Активні варіанти керування жорсткістю зазвичай складні та дорогі. З огляду на це далі розглядатимемо тільки варіант керування жорсткістю за рахунок енергії та керуючих параметрів джерелом яких є рух самої пружної ланки. Оскільки рух характеризується силовими та кінематичними параметрами – обертальним моментом та кутовою швидкістю при обертальному русі (силою та лінійною швидкістю при поступальному русі), то наступною морфологічною ознакою вважатимемо джерело керуючого впливу – навантаження (тоді керування жорсткістю буде здійснюватись за рахунок навантаження та реалізуватиметься зв'язок жорсткості із навантаженням) та швидкість (керування жорсткістю здійснюватиметься силою інерції, наприклад, відцентровою при обертальному русі, і реалізуватиметься зв'язок жорсткості із швидкістю):

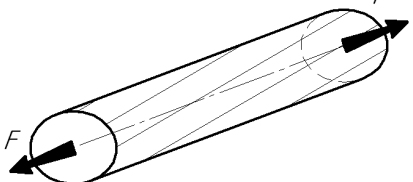
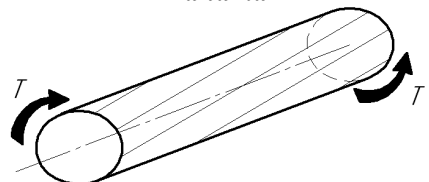
3. Джерело керуючого впливу.

Варіанти:

3.1) навантаження (механічний зв'язок жорсткості з навантаженням) (B_1);

3.2) швидкість (механічний зв'язок жорсткості з швидкістю) (B_2).

Таблиця 1 – Стан та резерви досліджень впливу на жорсткість сталевих канатів

Об'єкт впливу		Спосіб впливу	
		Зміна натягу каната 	Закручування (розкручування) каната 
1.	Пружна згинальна жорсткість B	Досліджено Глушко М. Ф., Чаюном І. М., Ковальським Б. С. та ін.	Досліджено Чаюном І. М.
	Трибожорсткість b при згині	Досліджено Малиновським В. А. та ін.	?
2.	Пружна стискальна жорсткість C	?	?
	Трибожорсткість c при стиску	?	?
3.	Пружна крутильна жорсткість G	Досліджено Глушко М. Ф., Чаюном І. М. та ін.	Досліджено Чаюном І. М.
	Трибожорсткість g при крученні	Досліджується Малиновським В. А. та ін.	Досліджується Малиновським В. А. та ін.
4.	Пружна розтягувальна жорсткість A	Досліджено Глушко М. Ф., Чаюном І. М. та ін.	Досліджено Чаюном І. М.
	Трибожорсткість a при розтягу	?	?

Таким чином, можна запропонувати нову класифікацію способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з суцільними металевими пружними елементами (рис. 1), яка характеризується більшою формалізованістю ніж існуючі, та дозволить у майбутньому застосувати при створенні нових конструкцій пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими елементами системний метод морфологічного аналізу.

Морфологічна матриця синтезу способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з суцільними металевими елементами ($СЗЖСМЕ$) може бути представлена у вигляді (11):

$$СЗЖСМЕ = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Тоді формула для визначення повного числа варіантів $N_{СЗЖСМЕ}$ розкриття матриці (11) набуде вигляду (12):

$$N_{СЗЖСМЕ} = (A) \times (B) \times (B) = 5 \times 3 \times 2 = 30. \quad (12)$$

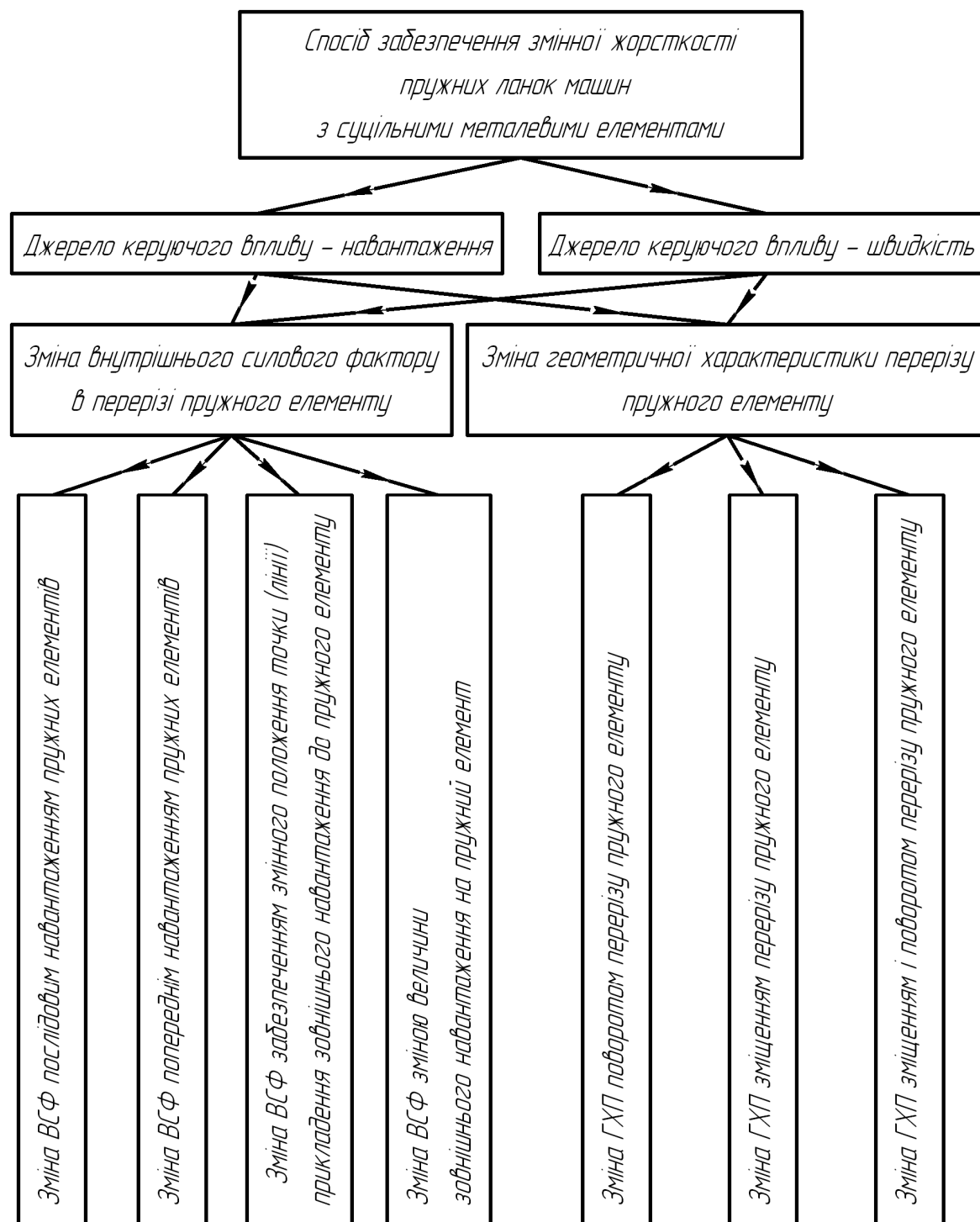


Рисунок 1 – Класифікація способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок з суцільними металевими пружними елементами

Отже, за рахунок виконаних теоретичних досліджень встановлено, що можна виділити 30 основних способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин із суцільними металевими елементами.

Для канатних пружних елементів класифікація способів забезпечення змінної жорсткості може бути узагальнена до вигляду показаного на рис. 2.

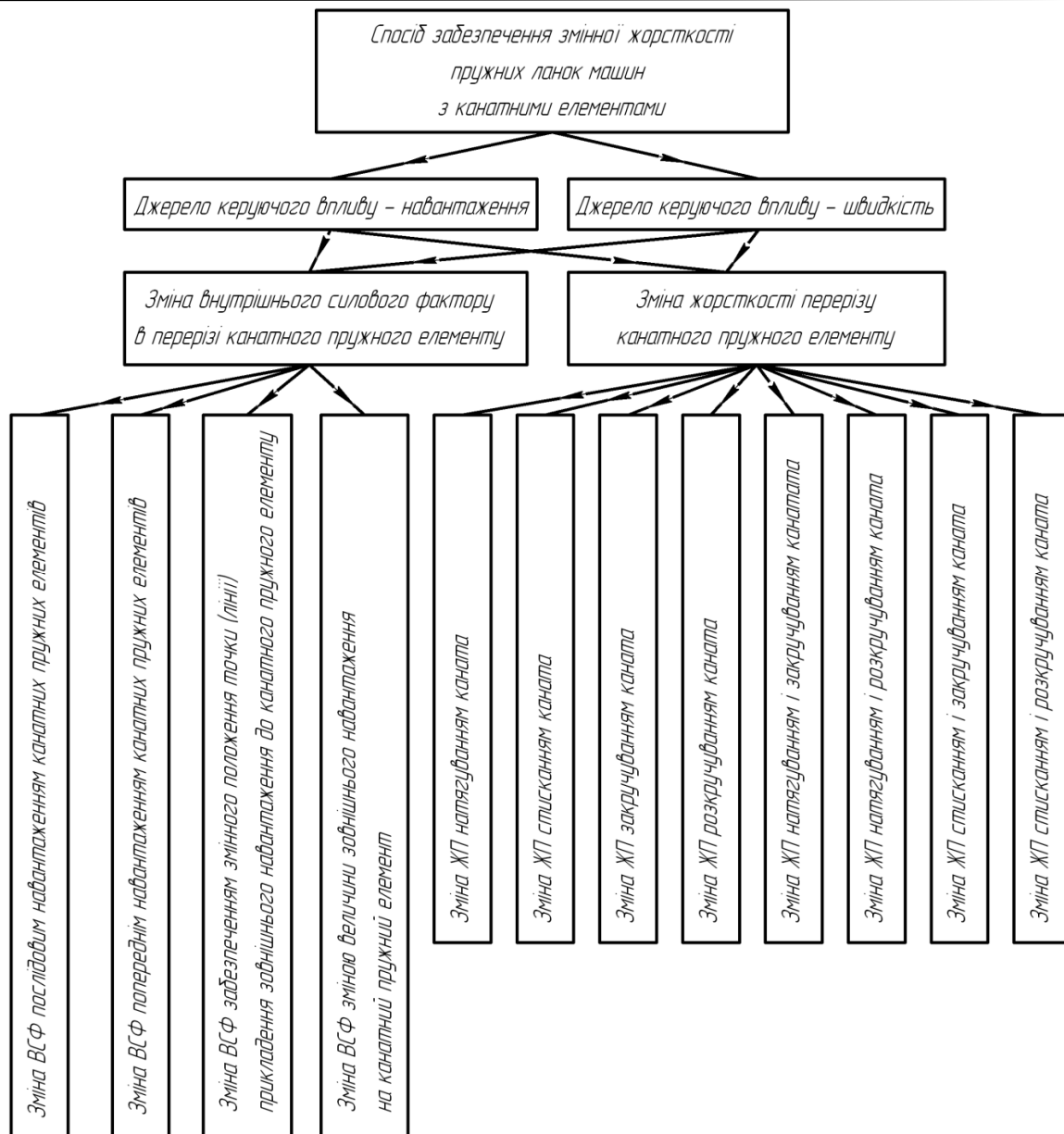


Рисунок 2 – Класифікація способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок з канатними пружними елементами

Морфологічна матриця синтезу способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з канатними елементами (СЗЖКЕ) може бути представлена у вигляді (13).

$$СЗЖКЕ = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B\kappa_0 \\ B\kappa_1 \\ B\kappa_2 \\ B\kappa_3 \\ B\kappa_4 \\ B\kappa_5 \\ B\kappa_6 \\ B\kappa_7 \\ B\kappa_8 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Тоді формула для визначення повного числа варіантів $N_{CЗЖКЕ}$ розкриття матриці (13) набуде вигляду (14):

$$N_{CЗЖКЕ} = (A) \times (B_k) \times (B) = 5 \times 8 \times 2 = 80. \quad (14)$$

Таким чином можна виділити 80 основних способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з канатними елементами.

Результати виконаних досліджень формують умови для розроблення нової класифікації пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими та канатними пружними елементами, що стане можливим після доповнення розроблених класифікацій способів забезпечення змінної жорсткості морфологічними ознаками що додатково характеризують технічні системи, що розглядаються і становить джерело майбутніх досліджень.

Таким чином, в результаті виконання представлених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Існуючі класифікації способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин характеризуються недостатньою формалізованістю, що утруднює їх системне застосування для синтезу нових технічних рішень.

2. За рахунок виконання теоретичних досліджень встановлено морфологічні ознаки способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин із суцільними металевими та канатними елементами та варіанти цих ознак.

3. Встановлення морфологічних ознак способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з суцільними металевими та канатними пружними елементами дозволило запропонувати нові класифікації цих способів.

4. Розроблені морфологічні матриці синтезу способів забезпечення змінної жорсткості, розкриття яких дало можливість встановити, що для пружних ланок оснащених суцільними металевими пружними елементами можна виділити 30 способів забезпечення змінної жорсткості, а для ланок оснащених канатними пружними елементами – 80 способів забезпечення змінної жорсткості.

5. Показано, що механіка сталевих канатів, для випадку застосування їх у пружних елементах змінної жорсткості вивчена недостатньо та розкрито резерв для подальших досліджень.

6. Отримані результати являють собою морфологічні основи синтезу структури пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими та канатними пружними елементами, оскільки дозволяють формалізувати опис цих конструкцій та можуть стати основою для організації системного синтезу нових технічних рішень.

Подальші дослідження слід зосередити на наступному:

1. Дослідження діапазону зміни жорсткості пружних елементів різних типів при реалізації вказаних способів впливу.

2. Дослідження властивостей сталевих канатів у випадках керованого впливу на їх напружено-деформований стан.

3. Розроблення класифікації пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими пружними елементами.

4. Розроблення класифікації пружних ланок машин змінної жорсткості з канатними пружними елементами.

5. Морфологічний синтез нових конструкцій пружних ланок машин змінної жорсткості з суцільними металевими пружними елементами.

6. Морфологічний синтез нових конструкцій пружних ланок машин змінної жорсткості з канатними пружними елементами.

7. Встановлення функціональних та експлуатаційних характеристик пружних ланок машин змінної жорсткості з металевими та канатними пружними елементами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сидоренко І. І. Пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком / І. І. Сидоренко, В. О. Курган // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – Вип. 2. – С. 38-45.
2. Панов С. Л. Исследование упругих муфт квазиулевоу жест кости : автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин / С. Л. Панов. – Харьков, 1979. – 24 с.
3. Настасенко В. А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений : монография. – Херсон : Айлант, 2015. – 100 с.
4. Чаюн И. М. Сопротивление материалов / И. М. Чаюн. – Одесса : Изд-во «Optimum», 2013. – 376 с.
5. Ніколайчук В. В. Обґрунтування кінематично-силових параметрів з'єднань змінної жорсткості : автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство / В. В. Ніколайчук. – Львів, 2014. – 18 с.
6. Яхин С. М. Совершенствование методов расчета и повышение надежности пружинных элементов сельскохозяйственной техники : автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.03 – технологи и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / С. М. Яхин. – М., 2013. – 32 с.
7. Сидоренко І. І. Розроблення пружних муфт з механічним зворотнім зв'язком крутильної жорсткості за крутильним моментом, що передається : автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство та деталі машин / І. І. Сидоренко. – Одеса, 1994. – 18 с.
8. Нестеров П. П. Проходческие канаты / П. П. Нестеров, С. Т. Сергеев. – Харьков : Металлургиздат, 1953. – 188 с.
9. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты / М. Ф. Глушко. – К. : Техніка, 1966. – 327 с.
10. Сергеев С. Т. Стальные канаты / С. Т. Сергеев. – К. : Техніка, 1974. – 324 с.
11. Малиновский В. А. Особенности механики подъемных и тяговых канатов с учетом нелинейных и квазиупругих свойств : автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.05.05 – подъемно-транспортные машины; 05.15.16 – горные машины / В. А. Малиновский. – Днепропетровск, 1996. – 36 с.
12. Чаюн И. М. Статическая несущая способность подъемных канатов : автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение; 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / И. М. Чаюн. – Одесса, 1993. – 36 с.
13. Малиновский В. А. Влияние внутреннего конструкционного трения на кручение шахтных канатов / В. А. Малиновский, А. А. Пригода // Бюллетень МАИСК. – 2012. – № 9 – С. 22-38.
14. Проценко В. О. Обґрунтування можливості застосування стиснутих сталевих канатів як пружних елементів сучасних машин / В. О. Проценко // Стальные канаты. – Одесса : Астропринт, – 2013. – № 9. – С. 232-238.
15. Чаюн И. М. Несущая способность подъемных канатов и лент / И. М. Чаюн. – Одесса : Астропринт, 2003. – 236 с.

REFERENCES

1. Sidorenko I. I. Pruzhna mufta z nelineynim mekhanichnim zvorotnim zv'yazkom / I. I. Sidorenko, V. O. Kurgan // Praci Odesjkogo politekhnichnogo universitetu. – 2011. – Vip. 2. – S. 38-45.
2. 2. Panov S. L. Issledovanie uprugikh muft kvazinulevoyj zhest kosti : avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk: spec. 05.02.02 – mashinovedenie i detali mashin / S. L. Panov. – Kharjkov, 1979. – 24 s.
3. Nastasenکو V. A. Morfologicheskij analiz – metod sinteza tihsyach izobretenij : monografiya. – Kherson : Ayjlant, 2015. – 100 s.
4. Chayun I. M. Soprotivlenie materialov / I. M. Chayun. – Odessa : Izd-vo «Optimum», 2013. – 376 s.
5. 5. Nikolaychuk V. V. Obruntuvannya kinematchno-silovikh parametriv z'ednanj zminnoï zhorstkosti : avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk: spec. 05.02.02 – mashinoznnavstvo / V. V. Nikolaychuk. – Ljviv, 2014. – 18 s.
6. Yakhin S. M. Sovershenstvovanie metodov rascheta i povihshenie nadezhnosti pruzhinnikh ehlementov seljskokhozyayjstvennoy tekhniki : avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk: spec. 05.20.03 – tekhnologi i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v seljskom khozyayjstve / S. M. Yakhin. – M., 2013. – 32 s.
7. Sidorenko I. I. Rozroblennya pruzhnikh muft z mekhanichnim zvorotnim zv'yazkom krutiljnoï zhorstkosti za krutiljnim momentom, tho peredaetsya : avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk: spec. 05.02.02 – mashinoznnavstvo ta detali mashin / I. I. Sidorenko. – Odesa, 1994. – 18 s.
8. Nesterov P. P. Prokhodcheskie kanatih / P. P. Nesterov, S. T. Sergeev. – Kharjkov : Metallurgizdat, 1953. – 188 s.
9. Glushko M. F. Staljnihe podjhemnihe kanatih / M. F. Glushko. – K. : Tekhnika, 1966. – 327 s.
10. Sergeev S. T. Staljnihe kanatih / S. T. Sergeev. – K. : Tekhnika, 1974. – 324 s.
11. Malinovskij V. A. Osobennosti mekhaniki podjhemnihkh i tyagovikh kanatov s uchetoм nelineynihkh i kvaziuprugikh svoystv : avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk: spec. 05.05.05 – podjhemno-transportnihe mashin; 05.15.16 – gornihe mashin / V. A. Malinovskij. – Dnepropetrovsk, 1996. – 36 s.
12. Chayun I. M. Statischeeskaya nesuthaya sposobnostj podjhemnihkh kanatov : avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk: spec. 05.02.02 – mashinovedenie; 05.05.05 – podjhemno-transportnihe mashin / I. M. Chayun. – Odessa, 1993. – 36 s.
13. Malinovskij V. A. Vliyanie vnutrennego konstrukcionnogo treniya na kruchenie shakhtnikh kanatov / V. A. Malinovskij, A. A. Prigoda // Byulletenj MAISK. – 2012. – № 9 – S. 22-38.
14. Procenko V. O. Obruntuvannya mozhlivosti zastosuvannya stisnutikh stalevikh kanativ yak pruzhnikh elementiv suchasnikh mashin / V. O. Procenko // Staljnihe kanatih. – Odessa : Astroprint, – 2013. – № 9. – S. 232-238.
15. Chayun I. M. Nesuthaya sposobnostj podjhemnihkh kanatov i lent / I. M. Chayun. – Odessa : Astroprint, 2003. – 236 s.

Проценко В.А. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА УПРУГИХ ЗВЕНЬЕВ МАШИН ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В статье рассмотрены вопросы реализации системно-морфологического подхода к синтезу упругих звеньев машин переменной жесткости с металлическими элементами. Установлены морфологические принципы способов обеспечения переменной жесткости упомянутых звеньев и варианты этих признаков. Предложены классификации способов обеспечения переменной жесткости звеньев оснащенных цельными металлическими и канатными упругими элементами. Разработаны морфологические матрицы способов обеспечения переменной жесткости. Полученные результаты являются морфологическими основами синтеза структуры упругих звеньев машин переменной жесткости с цельными металлическими и канатными упругими элементами. Они позволяют формализовать описание этих конструкций и могут стать основой для организации системного синтеза новых технических решений.

Ключевые слова: упругий элемент, канат, жесткость, муфта, структура, синтез.

Protsenko V.O. THE MORPHOLOGICAL FUNDAMENTALS OF STRUCTURAL SYNTHESIS OF ELASTIC LINKS OF MACHINES OF VARIABLE RUGGEDNESS WITH METAL ELEMENTS

Questions of realisation of a system-morphological campaign to synthesis of elastic links of machines of a variable gesture of a bone with metal elements are considered in the article. Morphological principles of modes of security of a variable gesture of a bone of the mentioned links and variants of these признакою are fixed. Classifications of modes of security of a variable gesture of a bone of links оснащенных integral metal and канатными are offered by elastic elements. Morphological dies of modes of security of variable ruggedness are developed. The received results is the morphological fundamentals of synthesis of structure of elastic links of machines of variable ruggedness with integral metal and канатными elastic elements. They allow to formalize the exposition of these constructions and can become the fundamentals for architecture of system synthesis новых technical decisions.

Keywords: elastic element, rope, ruggedness, clutch, structure, synthesis.

© Проценко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 05.10.15

МАТРИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Рожков С.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье выполнен анализ работы дизель-генераторных установок переменной частоты вращения мощностью до 1000 кВт. Показано принципиальную возможность получения экономии топлива в судовых пропульсивных комплексах до 40–50 % при различных режимах работы установки, при использовании матричного преобразователя энергии. Выполнен анализ повышения эффективности автономной системы электрической энергии как объекта с переменной структурой, где динамика работы системы управления существенно зависит от параметров нагрузки и от свойств элементов коммутации. Показано, что для анализа быстропротекающих процессов в матричном коммутаторе следует учитывать неидеальность коммутационных элементов.

Ключевые слова: частотный преобразователь, коммутирующий элемент, пропульсивный комплекс, оптимальность, переменная частота вращения

Введение. Современный этап развития транспортных систем характеризуется тем, что основными критериями их совершенства стали служить не скорость и грузоподъемность, а энергетическая (топливная) эффективность и надежность. Повышение энергетической эффективности различных судовых энергетических установок, в том числе и судовых электроэнергетических систем (СЭЭС), осуществляется разными методами, например, более широким применением валогенераторных установок (ВГУ) и утилизационных турбогенераторов (УТГ) с использованием полупроводниковых преобразователей нового поколения.

Актуальность исследований. Судовая СЭС, как правило, строится на базе дизель-генераторных установок (ДГУ) постоянной частоты вращения, при этом тяговые (гребные) электродвигатели могут питаться вместе с другими потребителями от единой электростанции (ЕЭС) автономного объекта. Повышение экономичности такого типа электростанции возможно за счет применения ДГУ переменной частоты вращения, а экономия топлива достигается за счет задания для каждого значения мощности нагрузки оптимальной частоты вращения вала ДВС, соответствующей наименьшему удельному расходу топлива [1–4, 7]. В данной области исследований известны работы фирм Fubag, Honda, Hyundai, Kyor, ABB, Wärtsilä и др., однако это относительно новое научно-техническое направление исследований для энергетики еще недостаточно изучено в области синтеза систем регулирования каналов электродвижения, динамических режимов работы, разработке математической модели ЕЭС с системой электродвижения на базе ДГУ переменной частоты вращения.

Целью исследования является анализ и разработка системы управления матричным преобразователем для электростанции автономного объекта на базе ДГУ переменной частоты вращения.

Результаты исследований. В качестве основных источников электроэнергии на современных судах в большинстве случаев используются дизель-генераторы (ДГ), количество которых в зависимости от типа судна обычно составляет от 2-х до 6-ти. Для получения переменного тока постоянной частоты ДГ работают при постоянной частоте вращения независимо от нагрузки, что практически не позволяет выбрать оптимальный режим их работы в течение основного ходового режима судна.

Относительная мощность судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) составляет от 15 % (балкеры) до 70 % (пассажирские суда) от мощности главной энергетической установки [1–4], а следовательно, повышение эффективности и надежности СЭУ невозможно без совершенствования СЭЭС.

Одним из направлений повышения эффективности ДГ является совершенствование систем управления при эксплуатации установок переменной частоты вращения. В этом случае повышение экономической эффективности достигается заданием для каждого значения мощности активной нагрузки оптимальной частоты вращения двигателя внутреннего сгорания (ДВС), соответствующей номинальному удельному расходу топлива [4]. В таких системах электроэнергию переменного тока постоянной частоты получают с помощью преобразователей частоты – полупроводниковых или электромеханических.

В обычном ДВС с переменной скоростью удельный расход топлива изменяется в зависимости от скорости двигателя (рис. 1, 2). Такой режим работы характерен для небольших судов, на которых используют винт с фиксированным шагом. Для определенной скорости движения судна существует точка оптимального расхода топлива, которая в данном часто не достигается, т.к. относится только к одной фиксированной скорости судна.

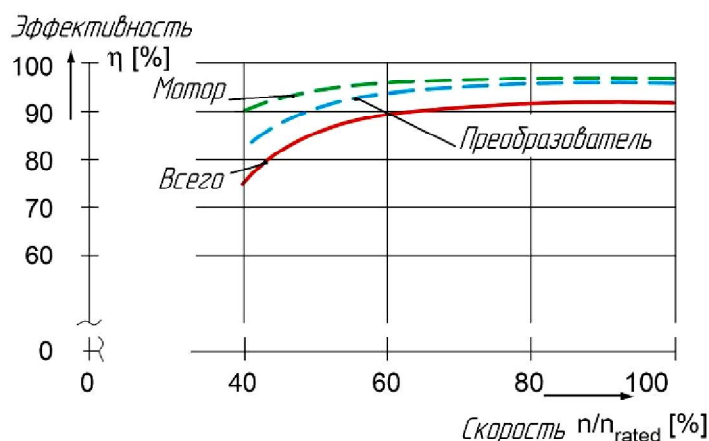


Рисунок 1 – Изменение эффективности (КПД) преобразователя частоты при управлении двигателем во всем диапазоне скоростей

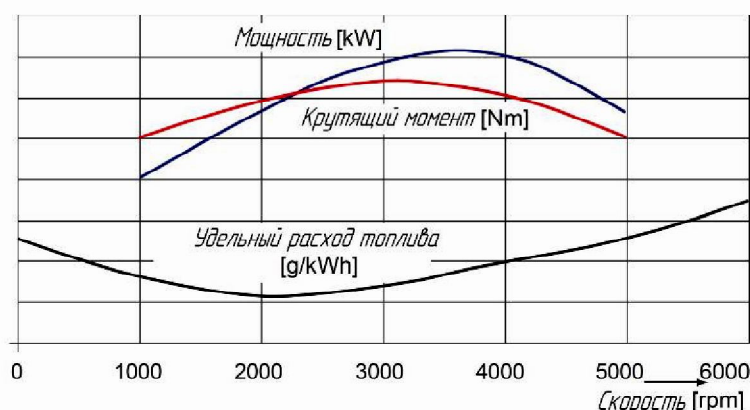


Рисунок 2 – Зависимость расход топлива от скорости судна

Современные системы управления пропульсивными комплексами достигают лучших показателей эффективности при использовании преобразователя частоты и электродвигателя, а следовательно, основой электростанции современного судна является ДВС, который может работать в точке оптимального расхода топлива.

Преимуществами такой системы при обслуживании энергетической системы судна являются общее снижение затрат на обслуживание, в том числе и на высокоскоростные ДВС, которые имеют более низкую стоимость. Экономические преимущества эксплуатации дизель-электрических силовых установок следующие:

- оптимальное потребление дизельного топлива для выработки электроэнергии;

- оптимальная работа по скорости вращения и диапазонам нагрузок улучшает качество сгорания топлива;
- высокий КПД во всем диапазоне скоростей;
- снижение расходов на техническое обслуживание за счет увеличения интервалов обслуживания, определяемых оптимальным временем работы ДВС;
- улучшение условий планирования технического обслуживания
- минимальное время простоя для технического обслуживания и ремонта;
- гибкое использование нескольких генераторов на судне.

Эксплуатационная надежность:

- значительное сокращение движущихся механических частей;
- повышение показателей среднего времени наработки на отказ (MTBF, Mean time between failure) за счет использования дизель-электрической системы с винтом фиксированного шага (ВФШ), вместо обычной системы с винтом регулируемого шага (ВРШ).

Модульная конструкция силовой установки дизель-электрической обеспечивает гибкость при размещении бортовых блоков:

- отсутствие длинных карданных валов;
- более практичное расположение дизельных двигателей;
- снижение требований при эксплуатации площадей судна;
- гибкость в выборе скорости дизельного двигателя.

Структурная схема системы ДГ переменной частоты вращения с полупроводниковым преобразователем частоты представлена на рис. 3.

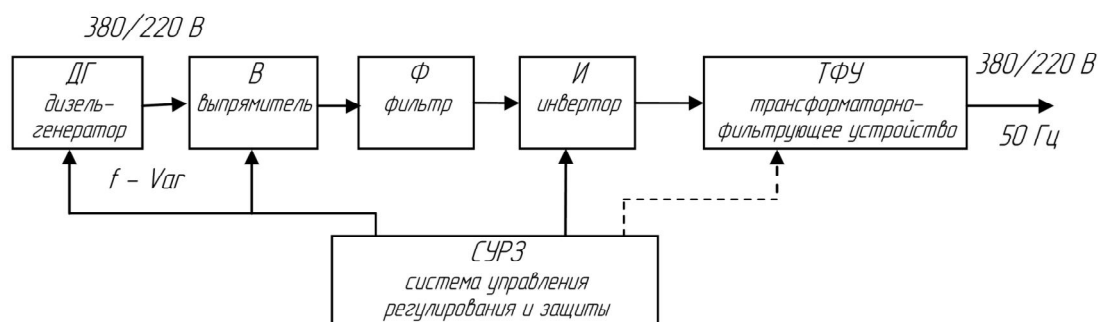


Рисунок 3 – Система ДГ переменной частоты вращения с преобразователем частоты

В состав системы входит: ДГ – дизель-генератор переменного тока переменной частоты со стабилизированным напряжением; В – выпрямитель (нерегулируемый или управляемый); Ф – фильтр; И – инвертор; ТФУ – трансформаторно-фильтрующее устройство; СУРЗ – система управления регулирования и защиты.

Использование полупроводниковых преобразователей электроэнергии [3, 6-8], выполненных на основе силовых полевых транзисторов (MOSFET), биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), запираемых тиристоров с полевым управлением (МСТ) позволяет значительно повысить показатели автономных электроэнергетических систем, в том числе и систем с первичными источниками переменного тока переменной частоты.

К системам с прямой передачей энергии [5, 8, 9] относятся матричные структуры, которые обеспечивают преобразование параметров источника переменного тока (амплитуды и частоты) в напряжение без накопления энергии в промежуточной элементе или системе. Такие матричные преобразователи частоты содержат статические ключи, соединяющие входные и выходные выводы, а управление ключами осуществляется таким образом, чтобы обеспечить формирование кривой выходного напряжения с заданной основной гармоникой из отрезков кривой входного напряжения. Преобразователи частоты без цепей постоянного тока имеют ряд положительных качеств, обуславливающих целесообразность их широкого применения:

- питание преобразователя осуществляется непосредственно от сети без промежуточного выпрямления, что в ряде случаев позволяет строить схемы с меньшим числом вентиляй;
- отсутствия крупногабаритных деталей (конденсаторов), занимающих от 30 до 50 % объема инвертора, позволяет разрабатывать малогабаритные и высоконадежные преобразователи;
- преобразователь позволяет осуществлять двусторонний обмен мощностью между источником питания (сетью) и потребителем (нагрузкой).

На рис. 4 показана типовая схема трехфазного преобразователя частоты.

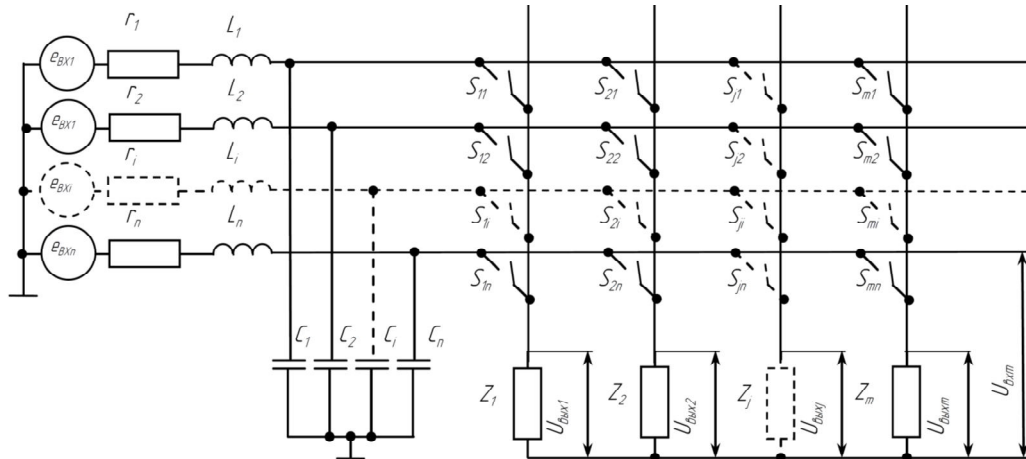


Рисунок 4 – Схема трехфазного преобразователя частоты

При моделировании систем с полупроводниковыми преобразователями [5–9] обычно используют точные линейные импульсные модели преобразователей ключей (рис. 5), которые представляют собой однонаправленные звенья, которые замыкаются на время τ



Рисунок 5 – Импульсная нелинейная модель ключа

Передаточную функцию по напряжению линейной части ключа можно показать в виде $W_K(s) = \frac{k}{T_c \cdot s + 1}$, где коэффициент передачи $k < 1$ определяется падением напряжения на активном сопротивлении ключа, а постоянная времени T_c – временем срабатывания ключа, т.е. скоростью протекания переходных процессов при коммутации. Если период квантования T_0 значительно меньше периода входного напряжения, можно считать, что в течение интервала τ входное напряжение не меняется [8, 10], что дает возможность перейти к импульсной модели ключа (рис. 6).

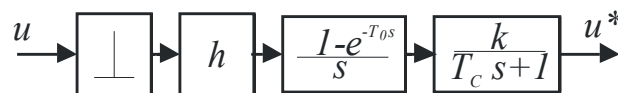


Рисунок 6 – Импульсная модель ключа преобразователя

Входное напряжение поступает на импульсный элемент, преобразующий ее, и далее умножается на относительное время замыкания $h = \frac{\tau}{T_0}$, где T_0 – период квантования, а фиксатор осуществляет преобразование сложившихся импульсов

в последовательность прямоугольных импульсов. При малых пульсациях тока и напряжения возможно использование приближенных усредненных моделей [8–11].

На рис. 7 показана обобщенная модель ключа матричного преобразователя, которая получена из линейной импульсной модели (рис. 5) путем замены ключа аperiodическим звеном с коэффициентом передачи, равным относительной продолжительности замкнутого состояния ключа h и постоянной времени T_c , которая определяется временем срабатывания ключа. В этой модели напряжения заменяются средними значениями $\bar{u}$ и $\bar{u}^*$ за период коммутации T_0 .

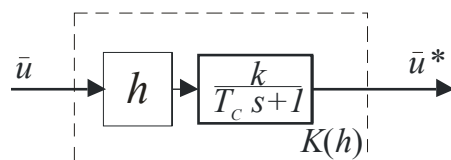


Рисунок 7 – Обобщенная модель ключа матричного преобразователя

На рис. 8 показана структурная схема матричного преобразователя частоты, используемой для построения математической модели обобщенного матричного преобразователя автономной энергетической системы в пространстве состояний [5].

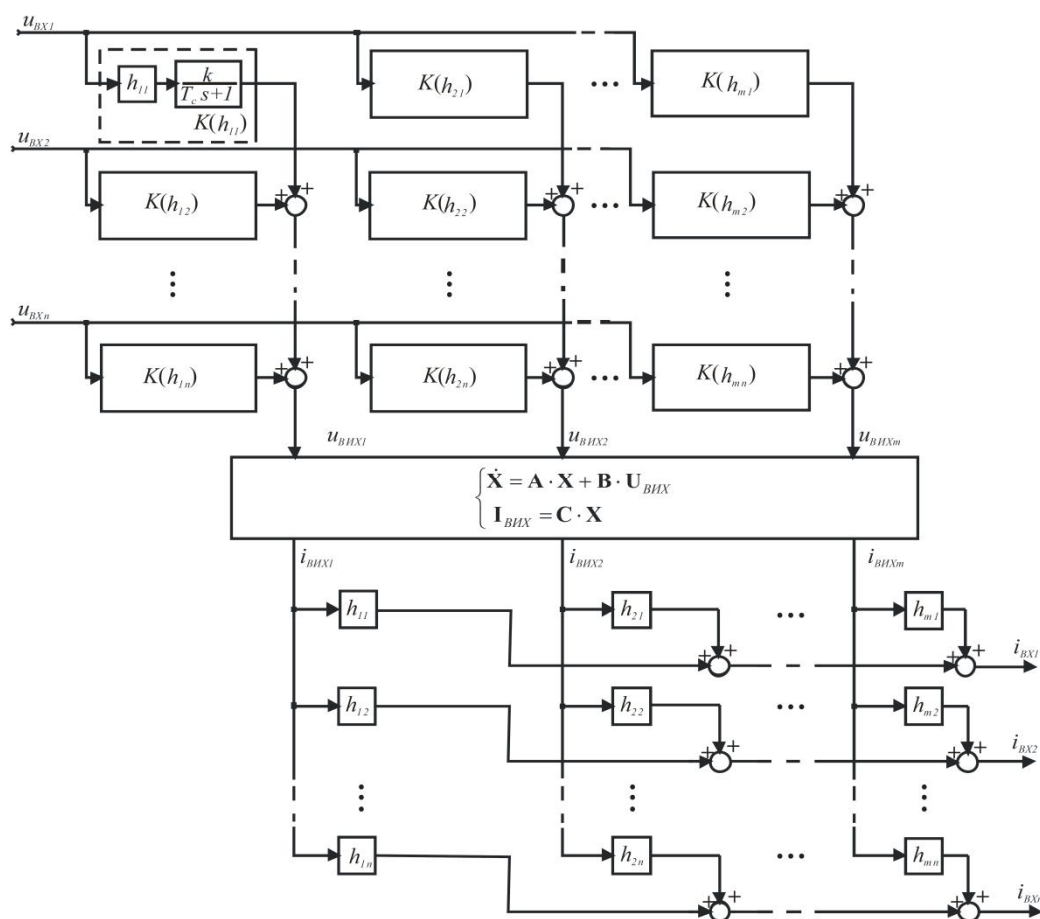


Рисунок 8 – Структурная схема матричного преобразователя частоты

Входное напряжение поступает на ключи $K(h_{ij})$, где индексы $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ определяют расположение ключа относительно входных и выходных фаз преобразователя. Напряжения, сформированные ключами, суммируются и поступают на входы нагрузки.

Входами нагрузки являются выходные напряжения преобразователя, а выходами – выходные токи. Для определения входного тока преобразователя ток нагрузки, умноженный на соответствующие значения h_{ij} , суммируется по всем выходным фазам.

В соответствии с представленной моделью (рис. 8), при условии идентичности параметров ключей $K(h_{ij})$ преобразователя, напряжения $u_{ij}(t)$ на выходах могут быть описаны дифференциальными уравнениями:

$$\frac{du_{ij}(t)}{dt} = -\frac{1}{T_C} \cdot u_{ij}(t) + \frac{h_{ij} \cdot k}{T_C} \cdot u_{BXi}(t), \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Если отсутствует взаимное влияние между ключами, то выходные напряжения матричного преобразователя можно определить как:

$$u_{BIXj}(t) = \sum_{i=1}^n u_{ij}(t), \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Введем вектор состояний:

$$\mathbf{X}_\Pi(t) = \mathbf{U}_{BIX}(t) = \begin{pmatrix} u_{BIX1}(t) & \dots & u_{BIXm}(t) \end{pmatrix}^T.$$

Учитывая выражения (1) и (2), уравнение состояний матричного преобразователя частоты будут иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{X}_\Pi(t)}{dt} = \mathbf{A}_\Pi \cdot \mathbf{X}_\Pi(t) + \mathbf{B}_\Pi \cdot \mathbf{U}_{BX}(t), \\ \mathbf{U}_{BIX}(t) = \mathbf{C}_\Pi \cdot \mathbf{X}_\Pi(t), \end{cases} \quad (3)$$

где $\mathbf{U}_{BX}(t) = \begin{pmatrix} u_{BX1}(t) & \dots & u_{BXn}(t) \end{pmatrix}^T$ – вектор входных напряжений.

Матрицы уравнений состояния определяют как:

$$\mathbf{A}_\Pi = \{a_{\Pi ij}\}_{m \times m}, \quad \mathbf{B}_\Pi = \{b_{\Pi ij}\}_{m \times n}, \quad \mathbf{C}_\Pi = \mathbf{I}_m,$$

$$\text{где } a_{\Pi ij} = \begin{cases} -\frac{1}{T_C}, & i = j, \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad b_{\Pi ij} = \frac{h_{ij} \cdot k}{T_C}.$$

Силовые ключи имеют коэффициент передачи близок к 1 и время срабатывания T_C до 1 мс. Если постоянная времени нагрузки значительно превышает время срабатывания, то передаточная функция ключа будет $W_K(s) \approx 1$. Тогда выражение (3) может быть значительно упрощено и приведено к виду установившегося отклонения напряжения в процентах от номинальной $\delta U_y = \frac{U_y - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \cdot 100\%$, где U_y – установившееся

действующее значение напряжения, В; $U_{НОМ}$ – номинальное значение напряжения, В.

В системах с дизель-генераторами переменной частоты вращения частота вращения дизеля и, соответственно, генератора, может изменяться в диапазоне частот вращения дизеля от минимально устойчивой частоты вращения до максимальной. При этом мощность дизеля и его потребление топлива зависят как от момента нагрузки на валу дизеля, так и от его частоты вращения. На рис. 9. представлены характеристики дизеля с величинами оптимальных мощностей при различных частотах вращения (I) и удельными расходами топлива фирмы S.E.M.T. (фр. Societe d'Etudes de Machines Thermiques – «компания по исследованию тепловых машин») – Pielstick PC4.2B типа PC4 – 480

Как видно из приведенных характеристик, каждой частоте вращения и развиваемой мощности соответствует оптимальный удельный расход топлива. Следовательно, при

работе ДГ с переменной частотой вращения можно получить оптимальный расход топлива при заданных мощностях на выходе. Для этого необходимо согласование характеристик дизеля с предельными электромагнитными характеристиками генератора. Под предельными электромагнитными характеристиками генератора понимают зависимость его мощности от частоты вращения при постоянном по величине напряжении.

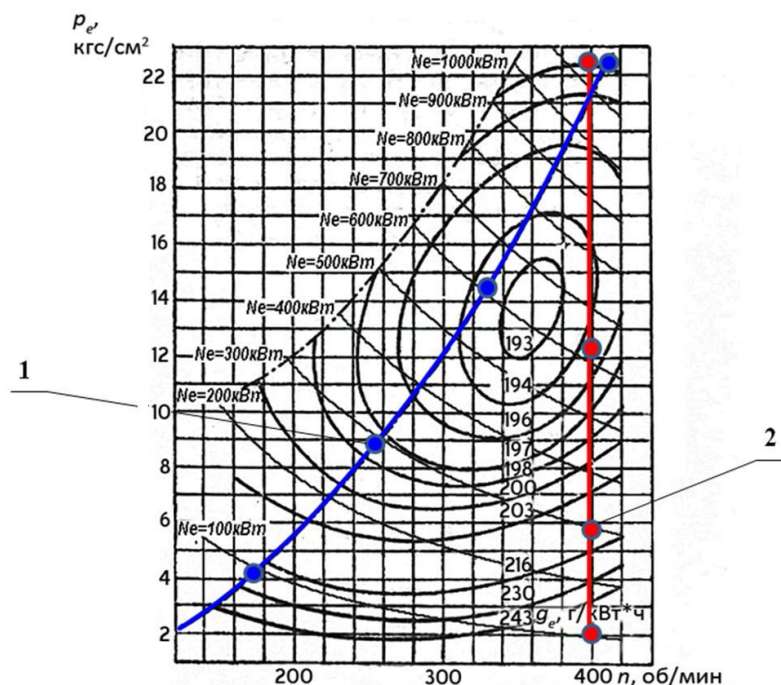


Рисунок 9 – Многопараметровая (универсальная) характеристика среднеоборотного дизеля (СОД) фирмы S.E.M.T. Pielstick PC4.2B типа PC4 – 480:

N_e – мощность дизеля кВт, n – обороты дизеля об/мин, g_e – удельный расход топлива, г/кВтч, p_e – среднее эффективное давление на поршень – кгс/см²; кривая 1 – характеристика оптимального регулирования частоты ДВС, кривая 2 – характеристика работы ДВС с постоянной частотой коленчатого вала (неоптимальная)

Для синхронных генераторов в данном режиме необходимо рассматривать две характеристики предельной электромагнитной мощности. Первое – зависимость мощности генератора от частоты вращения при постоянном по величине напряжении и активной нагрузке ($\cos \varphi=1$); второе – зависимость мощности генератора от частоты вращения при активно – индуктивной нагрузке при заданном коэффициенте мощности.

Для синхронных генераторов с независимым возбуждением данные характеристики снимаются при постоянном по величине токе возбуждения. Пример таких характеристик представлен на рис. 10.

В таком дизель-генераторе система управления и регулирования должна обеспечивать стабилизацию напряжения генератора на всем диапазоне изменения частоты вращения дизеля, а также регулирование момента и мощности дизеля в зависимости от активной мощности генератора. Так как в электромеханических системах длительность электрических переходных процессов обычно на порядок ниже длительности механических процессов [13–15], то системы регулирования напряжения генератора и мощности дизеля можно рассматривать отдельно. При этом, систему регулирования напряжения СГ целесообразно выполнить по принципу отклонения, а систему регулирования дизеля – комбинированной, с регулированием по активной мощности генератора и частоте вращения дизеля.

В качестве генератора в данных системах используется современные бесщеточные генераторы с подвозбудителями и транзисторными регуляторами напряжения. Принципиальная электрическая схема генератора представлена на рис. 11.

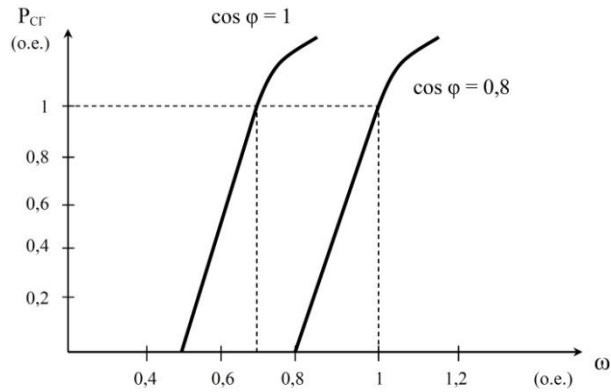


Рисунок 10 – Характеристики предельной электромагнитной мощности СГ

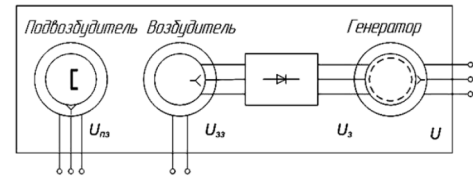


Рисунок 11 – Электрическая схема генератора

Уравнения динамики каждой из этих машин могут быть получены с учетом особенностей их работы. К особенностям, которые необходимо учитывать при составлении и выведении уравнений динамики бесщеточного генератора, относятся:

- нагрузка подвозбудителя (регулятор напряжения и обмотка возбуждения возбудителя) и возбудителя (обмотка возбуждения генератора, которая получает питание через вращающийся выпрямитель;
- магнитный поток возбуждения подвозбудителя постоянный;
- сопротивление цепи обмотки возбуждения генератора постоянное.

С учетом изложенного, уравнения динамики бесщеточного синхронного генератора имеют вид:

$$\begin{aligned} \text{а) уравнение основного генератора:} \quad & u = \frac{k_3}{T_3 \cdot p + 1} u_3 + \gamma v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho; \\ \text{б) уравнение возбудителя:} \quad & u_3 = \frac{k_{33}}{T_{33} \cdot p + 1} (u_{n3} + I_{33} \cdot \rho_{33}) \cdot \gamma_3 v; \\ \text{в) уравнение подвозбудителя:} \quad & u_{n3} = \gamma_{63} \cdot v + \alpha_{n3} \cdot \rho_{33}, \end{aligned}$$

где u – отклонение напряжения на клеммах генератора; u_3 – напряжение на входе возбудителя (напряжение возбуждения основного генератора); u_{n3} – напряжение на клеммах подвозбудителя; v – приращение угловой скорости; χ, ρ – приращения реактивного и активного сопротивлений нагрузки генератора; ρ_{33} – изменение величины сопротивления цепи возбуждения возбудителя, обусловленное действием регулятора напряжения РН; $k_3 = \frac{\partial U}{\partial U_3}$ – коэффициент, характеризующий чувствительность

генератора к изменению напряжения возбуждения; $T_3 = \frac{L_{30}}{R_3}$ – постоянная времени цепи

обмотки возбуждения генератора; α_1, α_2 – коэффициенты, характеризующие зависимость напряжения генератора от изменения нагрузки; $k_{33} = \frac{1}{R_{330}} \cdot \frac{\partial U_3}{\partial I_{33}}$ –

коэффициент, характеризующий чувствительность возбудителя к изменению его тока возбуждения; $T_{33} = \frac{L_{330}}{R_{33}}$ – постоянная времени обмотки возбуждения возбудителя;

$\gamma = \frac{\partial U}{\partial \omega}$; $\gamma_3 = \frac{\partial U_3}{\partial \omega}$; $\gamma_{n3} = \frac{\partial U_{n3}}{\partial \omega}$ – коэффициенты, учитывающие нестабильность частоты вращения генератора.

Приведенная система уравнений является упрощенной моделью бесщеточного синхронного генератора как объекта регулирования напряжения.

Уравнение транзисторного регулятора напряжения можно представить в виде $u_B = -k_D u$, где k_D – коэффициент усиления регулятора.

Приведенным уравнениям соответствует структурная схема, представленная на рис. 12.

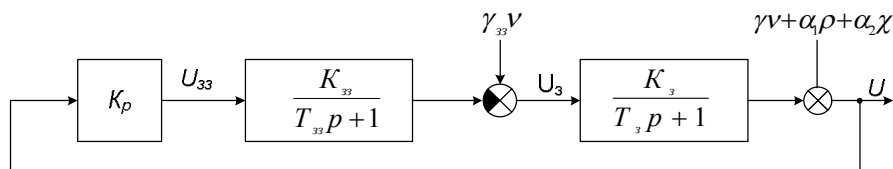


Рисунок 12 – Структурная схема системы регулирования напряжения генератора переменного тока

Передаточная функция данной системы регулирования по управлению имеет вид:

$$W_u(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{k_p k_{33} k_3}{T_{33} T_3 p^2 + (T_{33} + T_3) p + 1 + k_p k_{33} k_3}.$$

Анализ системы регулирования напряжения генератора переменного тока показывает, что система регулирования напряжения устойчива при различных режимах работы генератора.

Выводы. Автономные системы электрической энергии целесообразно рассматривать как объекты с переменной структурой, динамика работы которых существенно зависит как от параметров нагрузки, так и от свойств самих ключей. Возможность учета неидеальности коммутационных элементов позволяет анализировать быстропротекающие процессы в матричном коммутаторе с учетом неидеальности коммутирующих элементов.

Для расчета медленных процессов в преобразователе можно использовать упрощенную усредненную модель, в которой напряжение на выходе и ток на входе определяются как суммы произведений соответствующих возбуждающих и коммутационных функций.

Предварительные исследования дизель-генераторов переменной частоты вращения мощностью порядка 1000 кВт показывают возможность получения экономии топлива в судовых пропульсивных комплексах до 40–50 % при различных режимах работы установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А.В., Современные и перспективные судовые валогенераторные установки / А. В. Григорьев, В. А. Петухов. – ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – 176 с.
2. Бабаев А. М. Автоматизированные судовые электроприводы : учебник для вузов / А. М. Бабаев. – М. : Транспорт, 1986. – 448 с.
3. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – М. : Академия, 2006. – 272 с.
4. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания. – М. : Транслит, 2007. – 528 с.
5. Лебеденко Ю. О. Оптимальне управління безпосереднім перетворювачем частоти за критерієм мінімізації негативного впливу на живильну мережу / Ю. О. Лебеденко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2007. – № 1. – С. 132-135.

6. Дарьенков А. Б. Имитационная модель электропривода на базе матричного преобразователя частоты / А. Б. Дарьенков, И. В. Воротынцев, И. А. Варыгин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева). – 2014. – № 5 (107). – С. 59-64.
7. Хватов О. С. Электростанции автономных объектов на базе дизель-генераторных установок переменной частоты вращения / О. С. Хватов, А. Б. Дарьенков, И. С. Самоявчев, В. В. Соколов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева). – 2015. – № 2 (109). – С. 217-225.
8. Бойко Н. П. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ / Н. П. Бойко, В. К. Стеклов – К. : Техніка, 1989. – 181 с.
9. Зиновьев Г. С. Основы преобразовательной техники. Ч.1. Системы управления вентильными преобразователями / Г. С. Зиновьев – Новосибирск : НЭТИ, 1971. – 102 с.
10. Джюджи Л. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение: пер. с англ. / Л. Джюджи, Б. Пели – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
11. Тонкаль В. Е. Оптимальный синтез автономных инверторов с амплитудно-импульсной модуляцией / В. Е. Тонкаль, Э. Н. Гречко, Ю. Е. Кулешов. – К. : Наук. думка, 1987. – 220 с.
12. Тонкаль В. Е. Вентильные преобразователи переменной структуры / [В. Е. Тонкаль, В. С. Руденко, В. Я. Жуйков и др.] – К. : Наук. думка, 1989. – 336 с.
13. Дьяконов В. П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем : специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. – С.-Пб. : Питер, 2001. – 448 с.
14. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б. И. Копылова. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
15. Damir Radan. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems // Thesis for the degree of philosophiae doctor. Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology, 2008. – 231 pp.

REFERENCES

1. Grigorjev A.V., Petukhov V.A. (2009). Sovremenniye i perspektivniye sudovyye valogeneratorniye ustanovki. – GMA im. adm. S.O. Makarova, 176.
2. Babaev A.M. (1986). Avtomatizirovanniye sudovyye elektropivodih: Uchebnik dlya vuzov. Moskva: Transport, 448.
3. Sokolovskiy G.G. (2006) Ehlektropivodih peremennogo toka s chastotniym regulirovaniem. Moskva.: Akademiya, 272.
4. Pakhomov Yu.A. (2007). Sudovyye ehnergeticheskiye ustanovki s dvigatelyami vnutrennego sgoraniya. Moskva: TransLit, 528.
5. Lebedenko Yu.O. (2007) Optimal'nye upravlinnya bezposerednim peretvoryuvachem chastoti za kriteriem minimizatsii negativnogo vplivu na zhiviljnu merezhu // Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotekhnichni kompleksi ta sistemi, 1, 132 – 135.
6. Darjenkov A.B. (2014). Imitacionnaya modelj ehlektropivoda na baze matrichnogo preobrazovatelya chastotih // Trudih Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva), 5(107), 59 – 64.
7. Khvatov O. S., Darjenkov A.B., Samoyavchev I.S., Sokolov V.V. (2015). Ehlektrostancii avtonomnikh objektov na baze dizel'-generatorkh ustanovok peremennoy chastotih vratheniya // Trudih Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva), 2(109), 217 – 225.
8. Boyjko N.P., Steklov V.K. (1989) Sistemih avtomaticheskogo upravleniya na baze mikro-EhVM / Kiev.: Tekhnika.
9. Zinovjev G.S. (1971). Osnovih preobrazovatel'noy tekhniki. Ch.1. Sistemih upravleniya ventil'niymi preobrazovatelyami / Zinovjev G.S. –NEhTI. Novosibirsk, 102.

10. Dzhyudzhi L., Peli B. (1983) Silovihe poluprovodnikovih preobrazovatel' chastotih: Teoriya, kharakteristiki, primeneniye. – Moskva.: Ehnergoatomizdat., – 400 s.
11. Tonkalj V.E., Grechko Eh.N., Kuleshov Yu.E. (1987). Optimaljnihiy sintez avtonomnikh inverterov s amplitudno-impul'snoy modulyaciy. Kiev: Naukova dumka, 220.
12. V.E. Tonkalj, V.S. Rudenko, V.Ya. Zhuykov i dr. (1989) Ventilnihe preobrazovatel' peremennoy strukturih /– Kiev: Nauk. dumka, 336.
13. Djyakonov, V.P. Kruglov V.V. (2001). Djyakonov V.P. MATLAB. Analiz, identifikaciya i modelirovaniye sistem. Specialjnihiy spravochnik. S.-Pb.: Piter, 448.
14. Dorf R., Bishop R. (2002). Sovremennihe sistemih upravleniya. Moskva.: Laboratoriya bazovihkh znaniy, 832.
15. Damir Radan. Integrated Control of Marine Electrical Power Systems (2008). Thesis for the degree of philosophiae doctor. Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology, 231.

Рожков С.О. МАТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ У СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВКАХ ІЗ ЗМІННОЮ ЧАСТОТОЮ ОБЕРТАННЯ

У статті виконано аналіз роботи дизель-генераторних установок змінної частоти обертання потужністю до 1000 кВт. Показано принципову можливість отримання економії палива в суднових пропульсивних комплексах до 40–50 % при різних режимах роботи установки, при використанні матричного перетворювача енергії. Виконано аналіз підвищення ефективності автономної системи електричної енергії як об'єкта зі змінною структурою, де динаміка роботи системи управління істотно залежить від параметрів навантаження та від властивостей елементів комутації. Показано, що для аналізу процесів, які швидко протікають, в матричному комутаторі слід враховувати неідеальність комутаційних елементів.

Ключові слова: частотний перетворювач, комутаційний елемент, пропульсивний комплекс, оптимальність, змінна частота обертання.

Rozhkov S.A. MATRIX FREQUENCY CONVERTERS IN THE VESSEL DIESEL GENERATOR SETS VARIABLE SPEED

This article gives an analysis of the operation of diesel generator sets of variable speed up to 1000 kW. The principal possibility of obtaining fuel economy in marine propulsion systems to 40 - 50% for different operation modes using a matrix converter of energy. The analysis of the system improve the efficiency of battery electric power as an object with variable structure, where the dynamics of the control system depends greatly on the parameters of the load and the properties of the switching elements. It is shown that for the analysis of fast processes in the matrix switch should take into account the nonideal switching elements.

Keywords: inverter, a switching element, propulsion systems, optimal, variable speed.

© Рожков С. О.

Статтю прийнято
до редакції 08.10.15

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТВОЛОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С ПОЛИГОНАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ

Розов Ю.Г.

Херсонский национальный технический университет

В данной работе предложен и реализован способ получения длинномерной трубчатой заготовки (ствольной заготовки) из короткой заготовки методом гидроэкструзии на подвижной гладкой оправке в среде высокого гидростатического давления. Предложены новые технологии получения прецизионной толстостенной трубчатой заготовки с внутренними винтовыми канавками на примере изготовления ствола с полигональным профилем: процесс, основанный на обжатии ствольной заготовки на профильной оправке неприводными роликами; прессование-волочение ствольной заготовки с профильной оправкой через гладкую коническую матрицу с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску.

Впервые разработана основанная на использовании метода конечных элементов (МКЭ) методика определения НДС стволов стрелкового оружия с внутренней поверхностью канала канала разной формы, находящейся под действием внутренней статической и динамической нагрузки.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, оправка, гидроэкструзия, гидростатическое давление, обжатие, волочение, коническая матрица, продольная стойкость, прочность.

Постановка проблемы. Проблемы развития отечественного машиностроения в современных условиях неразрывно связаны с освоением новых наукоёмких технологий, обеспечивающих ресурсосбережение, эксплуатационную надёжность и конкурентоспособность продукции. В полной мере это относится к производству высококачественных трубчатых изделий, и, в особенности, со сложным профилем внутренней поверхности, производство которых отличается высокой трудоёмкостью. Традиционные методы изготовления таких изделий не обеспечивают в полной мере выполнение этих задач и для их решения требуются новые научно-технические комплексные подходы, в том числе с широким использованием IT-технологий. Наряду с этим, современные методы холодного пластического деформирования, такие как холодное выдавливание, гидроэкструзия, гидростатическое прессование, радиальное обжатие, ротационное выдавливание и др. обладают широкими возможностями для получения высококачественных прецизионных деталей со сложным наружным или внутренним профилем.

В номенклатуре трубчатых изделий наиболее сложными для производства являются детали с профильными элементами полости, образующими винтовую поверхность. Типовым примером таких деталей могут служить изделия специального назначения, такие как стволы артиллерийского и стрелкового оружия, технология изготовления которых определяет их себестоимость и служебные характеристики. Учитывая высокую трудоёмкость производства таких изделий, а также необходимость организации отечественного производства стрелкового оружия на новой технологической базе в условиях ограниченных материально-технических ресурсов, разработка новых технологий является важной приоритетной задачей развития страны в современных условиях.

Проблемы освоения новых технологий обусловлены, прежде всего, тем, что в настоящее время недостаточно научно-обоснованных рекомендаций по проектированию технологических режимов, определению границ применимости и оценке технологических возможностей холодной штамповки полых профилированных изделий. В частности, при гидропрессовании длинномерных полуфабрикатов из коротких трубчатых заготовок, необходимость достижения больших деформаций сопровождается опасностью разрушения деформируемого материала. При радиальном обжатии трубчатых заготовок на профильной оправке, возможность заполнения внутреннего профиля зависит от условий, обеспечивающих установившийся процесс радиального течения металла,

а деформирование длинных заготовок по схеме прессования (с проталкиванием) ограничивается потерей устойчивости. Важными проблемами являются также необходимость создания научно-обоснованных рекомендаций по проектированию технологической оснастки для осуществления данных процессов и обеспечение высокого качества производимых изделий.

Учитывая изложенное, следует отметить, что на сегодня существует научная проблема, обусловленная недостаточностью знаний и отсутствием надёжных методов разработки и совершенствования процессов гидропрессования и радиального обжатия на профильной оправке трубчатых заготовок из малопластичных сталей для получения высококачественных изделий с повышенными эксплуатационными свойствами.

Анализ последних исследований. Геометрические параметры профиля поперечного сечения ствола с традиционными видами нарезки (прямоугольной, трапециевидной, секторной и др.) хорошо изучены и описаны в литературе [1, 2, 3]. Менее известны параметры стволов с профилем полигонального типа, хотя потенциальные возможности стволов с указанным профилем поперечного сечения конструкторам стрелкового и артиллерийского оружия были известны давно, а попытки применить их интенсивно повторялись во второй половине IX – начале XX столетий, прежде всего для морской артиллерии на орудиях крупного калибра (120 мм, 203 мм, 305 мм) [4].

В настоящее время в стрелковом оружии нового поколения конструкторы ведущих оружейных фирм в своих новых моделях отдают предпочтение этому виду профиля поперечного сечения (Heckler-und-Koch, Glock, Česká Zbrojovka, Ковровский механический завод, Ижевский механический завод и др.) [4, 5, 6].

Профиль полигонального типа был использован в первой украинской модели пистолета-пулемёта «Эльф», который по своим тактико-техническим параметрам не уступал на то время лучшим зарубежным образцам оружия этого класса [7].

Формирование цели исследования. Повышение технико-экономических показателей процессов холодного деформирования длинномерных прецизионных трубчатых изделий со специальным профилем внутренней поверхности, на основе развития методов автоматизированного расчёта и проектирования, а также разработка практических рекомендаций по совершенствованию технологий и штамповой оснастки.

Изложение основного материала исследования. Разработка новых технологических процессов изготовления прецизионных трубчатых изделий методами холодной пластической деформации и проектирование необходимой для этого технологической оснастки не возможны без тщательного анализа напряжённо-деформированного состояния (НДС) в очаге деформации, определения энерго-силовых параметров и прочностных расчётов рабочих инструментов.

Одной из задач исследования являлось изучение возможности получения длинномерных трубчатых заготовок (ствольных заготовок) с необходимой точностью и шероховатостью внутренней поверхности из коротких заготовок. Достичь этого возможно путём выдавливания трубчатой заготовки на оправке. Однако из-за низкой пластичности стали 30ХН2МФА (как и более дешёвой ствольной стали 50РА), традиционное холодное выдавливание не может обеспечить достаточную степень деформации без разрушений металла заготовки. В таких случаях используют схему деформирования в условиях действия гидростатического давления, в результате чего пластичность металлов при холодной обработке давлением повышается.

В связи с этим, нами разработан метод изготовления прецизионных длинномерных трубчатых изделий (например, ствольных заготовок) из малопластичных сталей гидропрессованием на подвижной гладкой оправке [8–10].

Схема гидропрессования трубчатых заготовок на подвижной оправке показана на рис. 1, на котором начальная стадия процесса отображена слева от оси симметрии, а установившийся процесс деформирования – справа.

Матрица 1 представляет собой бандажированный контейнер, который устанавливается на нижнюю плиту 5. Для позиционирования заготовки 6 на рабочей конической поверхности матрицы используется фаска. Затем, после установки гладкой оправки 4, в контейнер заливается рабочая жидкость, протекание которой исключается наличием конического участка в верхней части оправки, на которую шток 2 с уплотнением 3.

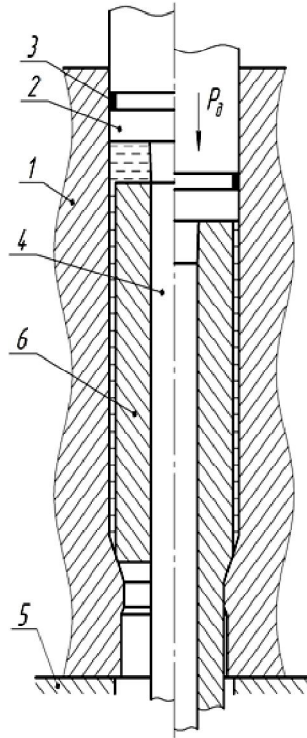


Рисунок 1 – Схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

Под действием усилия P_d шток 2 перемещается вместе с оправкой 4, коническая часть которой вдавливается в отверстие заготовки, исключая протекание рабочей жидкости. Дальнейшее сжатие рабочей жидкости создаёт гидростатическое давление в контейнере 1, в результате чего свободная поверхность заготовки находится в условиях напряжённого состояния всестороннего сжатия. Выдавливание трубчатой заготовки на подвижной гладкой оправке под действием гидростатического давления обеспечивает получение окончательных размеров и чистоту внутренней поверхности полуфабриката (ствольной заготовки).

В данной работе, для создания компьютерных моделей рассматриваемых процессов деформирования, использовался программный комплекс DEFORM-3D, ориентированный на моделирование процессов металлообработки методом конечных элементов. Он является мощным инструментом и позволяет совершенствовать и оптимизировать технологические задачи, включая процессы термической и химико-термической обработки, без многократных натурных экспериментов. DEFORM-3D, предоставляет пользователю возможность выбора аналитической зависимости сопротивления деформации от степени, скорости (интенсивности напряжения, интенсивности деформации) и температуры деформации (закона упрочнения).

Аппроксимирующее уравнение:

$$\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}, T)$$

выбирается, с учётом результатов известных исследований, опыта и интуиции пользователя, экспериментальных данных, представленных лучше всего в табличной форме. Для наиболее распространённых сплавов в практике обработки металлов

давлением существует база данных на 145 сплавов, деформированных при разных условиях деформирования (скорости, температуре).

В наших исследованиях использована степенная зависимость:

$$\sigma_s = \sigma_s + C \varepsilon_i^n \varepsilon_i^m,$$

позволяющая учесть деформационное и скоростное упрочнение при холодной пластической деформации.

Константы σ_s , C , n , m выбирались из библиотеки пакета DEFORM-3D и уточнялись по справочникам и результатам собственных и отечественных исследований.

В результате проведенного анализа процесса гидропрессования, определены значения основных параметров и получены следующие диаграммы:

- необходимое гидростатическое давление (750 МПа), которое обеспечит деформирование в холодном состоянии для сталей 30ХН2МФА без разрушений;
- распределение повреждённости ψ_i в объёме деформированного металла;
- деформированное состояние заготовки при гидроэкструзии на гладкой оправке;
- напряжённое состояние заготовки при гидроэкструзии на гладкой оправке;
- распределение нормальных напряжений на контактных поверхностях заготовки с инструментом;
- распределение скорости деформирования;
- зависимость усилия выдавливания от перемещения пуансона.

Максимальное значение интенсивности деформаций ε_i составило 1,3 на контактной поверхности. В самой же стенке трубчатой заготовки после прессования, распределение ε_i равномерное и максимальное значение 0,88. Из составляющих компонент деформаций наибольших значений достигли деформации ε_r и ε_z , где максимальные по абсолютной величине, соответственно составили ε_r – 1,07 и ε_z – 1,1.

Из составляющих компонент напряжений наибольших значений (по абсолютной величине) достигли тангенциальные напряжения $\sigma_\theta = -2300$ МПа.

Максимальные значения нормальных напряжений на инструменте достигает 1600...2250 МПа на конической поверхности матрицы. На оправке – от 1000 МПа до 1800 МПа. Максимальное значение усилия выдавливания составило 630 кН. По результатам компьютерного моделирования был разработан технологический процесс гидропрессования трубчатых заготовок, спроектирована соответствующая штамповая оснастка и изготовлены ствольные заготовки необходимого качества [11] (рис. 2).



Рисунок 2 – Ствольные заготовки, полученные путём гидроэкструзии на гладкой оправке

Разработанная перспективная технология гидропрессования длинномерных трубчатых заготовок существенно повышает технико-экономические показатели процесса изготовления стволов стрелкового оружия, за счёт исключения из технологической цепи методов получения заготовок на уникальном дорогостоящем оборудовании.

Разработаны новые технологии изготовления винтовых канавок на внутренней поверхности прецизионной толстостенной трубчатой заготовки на примере изготовления ствола СО с полигональным профилем калибра 9 мм (рис. 3).

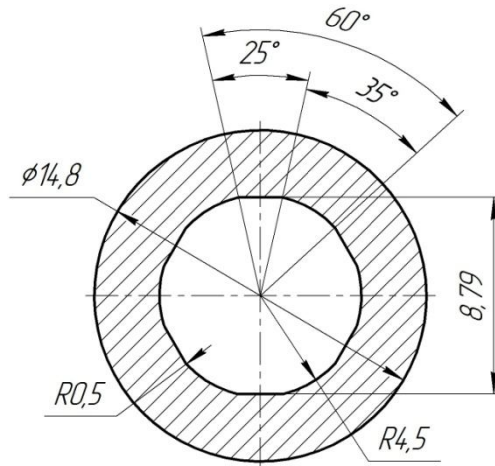


Рисунок 3 – Поперечное сечение ствола с полигональным профилем

Новые технологии основаны на обжатии ствольной заготовки на оправке полигонального профиля с шагом винтовой поверхности 250 мм. Радиальное обжатие осуществляется:

- неприводными роликами [12] (рис. 4а);
- в гладкой конической матрице с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску [13] (рис. 4б).

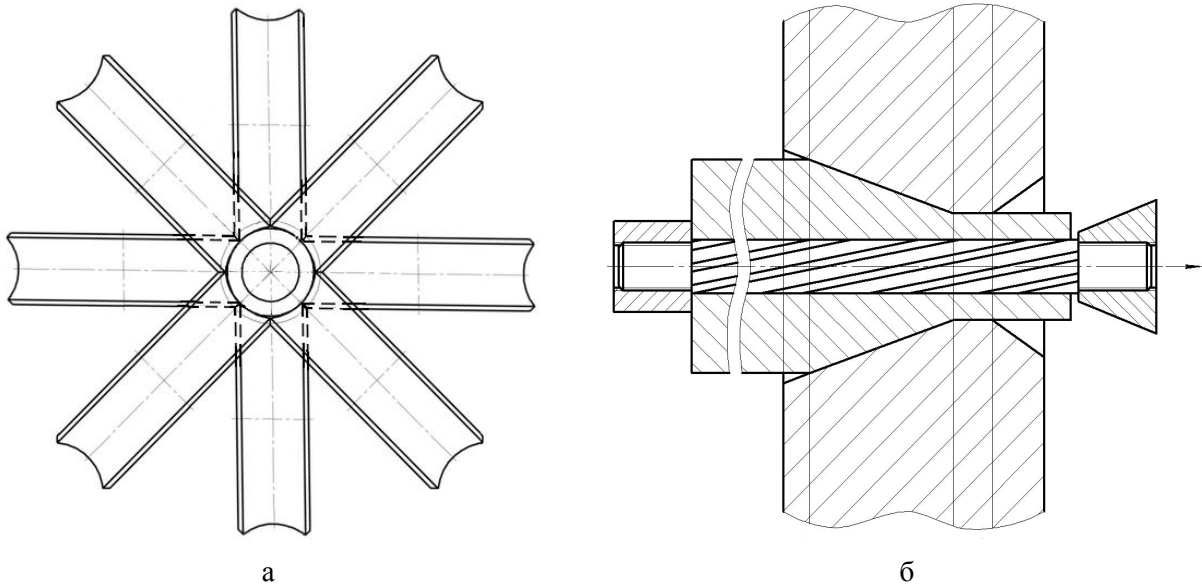


Рисунок 4 – Схема обжатия ствольной заготовки:
а – неприводными роликами; б – в гладкой конической матрице

Проведены расчёты энергосиловых параметров с использованием метода плоских сечений и получены формулы для определения осевого усилия:

- при обжатии трубчатой заготовки на оправке неприводными роликами:

$$P_{об}^{oc} = \sigma_p S_{dem}, \quad (1)$$

где σ_p – расчётное напряжение в стенках трубы:

$$\sigma_p = \sigma_s \frac{\left[\left(\frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]}{1 + \left[\left(\frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]};$$

$S_{\text{дем}} = \frac{\pi}{4}(D_{\text{дем}}^2 - d_0^2)$ – площадь поперечного сечения заготовки на выходе из роликовой матрицы; $D_{\text{заг}}$ – наружный диаметр трубчатой (ствольной) заготовки; $D_{\text{дем}}$ – наружный диаметр готовой детали (ствола); d_0 – диаметр оправки;

– при обжати в конической матрице, с учётом рабочего угла конуса матрицы и сил трения на участке калибровки после выхода заготовки из конической части матрицы:

$$P_{\text{об}}^{\text{oc}} = (\sigma_p + \sigma_{\text{мп.н.}}) S_{\text{дем}}, \quad (2)$$

где σ_p – расчётное напряжение в стенках трубы на выходе из матрицы:

$$\sigma_p = \sigma_s \frac{\left[\left(A_\alpha \frac{D_{\text{заг}}^2 - D_{\text{дем}}^2}{d_0^2 - D_{\text{заг}}^2} \right) - \mu B_\alpha \frac{D_{\text{дем}}(d_0^2 - D_{\text{заг}}^2) - D_{\text{заг}}(d_0^2 - D_{\text{дем}}^2)}{d_0(d_0^2 - D_{\text{заг}}^2)} + \frac{D_{\text{дем}}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{\text{дем}} - d_0)(D_{\text{заг}} + d_0)}{(D_{\text{дем}} + d_0)(D_{\text{заг}} - d_0)} \right]}{(1 - \mu \tan \alpha_M) + \left[\left(A_\alpha \frac{D_{\text{заг}}^2 - D_{\text{дем}}^2}{d_0^2 - D_{\text{заг}}^2} \right) - \mu B_\alpha \frac{D_{\text{дем}}(d_0^2 - D_{\text{заг}}^2) - D_{\text{заг}}(d_0^2 - D_{\text{дем}}^2)}{d_0(d_0^2 - D_{\text{заг}}^2)} + \frac{D_{\text{дем}}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{\text{дем}} - d_0)(D_{\text{заг}} + d_0)}{(D_{\text{дем}} + d_0)(D_{\text{заг}} - d_0)} \right]};$$

$$A_\alpha = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \alpha} \right); B_\alpha = \frac{(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{\tan \alpha}; \mu - \text{коэффициент трения}; \alpha_M - \text{рабочий угол матрицы};$$

$\sigma_{\text{мп.н.}}$ – дополнительные напряжения в стенках заготовки, вызванные силами трения на участке калибровки после выхода из конической части матрицы при длине калибрующего пояска $l_{\text{к.п.}}$:

$$\sigma_{\text{мп.н.}} = 2\mu \left(\frac{(\sigma_s - \sigma_R) l_{\text{к.п.}} D_{\text{дем}}}{(D_{\text{дем}}^2 - d_0^2)} \right),$$

где σ_R – радиальные напряжения; σ_s – напряжение текучести; $S_{\text{дем}} = \frac{\pi}{4}(D_{\text{дем}}^2 - d_0^2)$ – площадь поперечного сечения заготовки на выходе из конической матрицы.

Полученные аналитические зависимости имеют удобный для использования в инженерных расчётах вид и учитывают влияние реальных факторов, присущих рассматриваемому технологическому процессу. При обжати неприводными роликами (1) осевое усилие деформирования зависит от размеров заготовки и степени деформации.

При обжати заготовки в гладкой конической матрице (2), осевое усилие деформирования возрастает при: увеличении длины калибрующего пояска $l_{\text{к.п.}}$, уменьшении рабочего угла конуса матрицы α_M , увеличении коэффициента трения μ .

Для изучения процессов профилирования внутренней поверхности ствольной заготовки при радиальном обжати на профильной оправке, определения параметров НДС, энергосиловых параметров, геометрии и размеров деформирующих инструментов использовался программный продукт DEFORM^{MT}-3D на основе МКЭ.

Полученные результаты показали высокую эффективность использования предложенных способов для изготовления стволов СО с профилем полигонального типа (рис. 5).



Рисунок 5 – Профильная оправка и ствол стрелкового оружия, изготовленный методом радиального обжатия

Для проверки эффективности новых технологий изготовления полигональных стволов был проведён анализ качества полученных изделий с использованием новых технологий холодного деформирования [14, 15].

Была разработана уникальная методика определения НДС прецизионных трубчатых изделий с профилем внутренней поверхности различной формы, основанная на использовании компьютерной программы ANSYS на основе МКЭ.

Сравнительная оценка прочности ствола СО с прямоугольными нарезами и с полигональным профилем, показала, что ствол с прямоугольными нарезами переходит в критическое состояние при гораздо меньшем значении давления пороховых газов, чем ствол с полигональным профилем. При этом, независимо от материала ствола, предельное значение внутреннего давления пороховых газов меньше более чем в 2,5 раза.

Используя компьютерную программу ANSYS/LS-DYNA (МКЭ), был проведен анализ динамического взаимодействия наружной поверхности пули с внутренней поверхностью ведущей части стволов нарезного и полигонального типа.

На основании проведенных расчётов, показана эффективность эксплуатационных характеристик полигонального профиля ствола стрелкового оружия.

Выводы.

1. Разработана новая структура технологических процессов изготовления трубчатых изделий из конструкционных легированных сталей с профилем на внутренней поверхности, основанная на гидропрессовании длинномерного полуфабриката (первая стадия) с последующим радиальным обжатием на профильной оправке (вторая стадия). Новая структура позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства, за счёт исключения из технологического процесса методов получения заготовок на уникальном дорогостоящем оборудовании. Особенность новых технологий по сравнению с традиционными – возможность восстановления внутреннего профиля изделия, изношенного в процессе его эксплуатации.

2. Расширены представления о технологичности трубчатых изделий полигонального профиля с внутренними винтовыми дорожками, на примере изготовления стволов стрелкового оружия методами холодной объёмной штамповки, показана эффективность эксплуатационных характеристик полигонального профиля, основанная на численном анализе прочности и математическом моделировании динамического нагружения полости нарезного и полигонального стволов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия / А. Г. Туктанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с.
2. Бабак Ф. К. Основы стрелкового оружия / Ф. К. Бабак. – СПб. : Изд-во «Полигон», 2003. – 252 с.
3. Крекнин Л. Т. Производство автоматического оружия : Ч.1 / Л. Т. Крекнин. – Ижевск, 2004. – 238 с.
4. Стеблюк В. І. Перспективи використання у артилерії стволів з полігональним профілем / В. І. Стеблюк, Ю. Г. Розов, Д. Б. Шкарлута, О. В. Холявік // [Проблеми експлуатації і розвитку ракетно-артилерійського озброєння військово-морських сил

збройних сил України : зб. доповідей II наукової конференції, (5–7 жовт. 2011 р., Севастополь, Україна)]. – С. 19-22.

5. Пистолеты-пулемёты ГЛОК-17 и другие (Австрия) [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.arms.ru/Guns/pistmin/glock.htm>.

6. АЕК-919К, пистолет-пулемёт «Каштан» [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.arms-expo.ru/049056049055124052054054057.html>.

7. Пасечник С. Пистолет-пулемёт «Эльф-2» / С. Пасечник // Охота и оружие. – 2000. – № 6. – С. 6-7.

8. Розов Ю. Г. Исследование процесса гидроэкструзии трубчатой заготовки на профильной оправке методом компьютерного моделирования / Ю. Г. Розов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – № 12. – С. 21-25.

9. Розов Ю. Г. Конечно-элементное моделирование процесса изготовления прецизионных трубчатых изделий из стали 20Х17Н2 гидропрессованием на гладкой оправке / Ю. Г. Розов // [Научно-технический прогресс в металлургии : сб. трудов VII Международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию Карагандинского государственного индустриального университета, (11–12 окт. 2013 г., Темиртау)]. – Т. 2. – С. 63–68.

10. Розов Ю. Г. Аналіз технології виготовлення трубчатих виробів із сталі 20Х17Н2 гідропресуванням на гладкій оправці / Ю. Г. Розов, В. В. Піманов, Д. Б. Шкарлута // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2012. – № 64. – С. 234-238.

11. Розов Ю. Г. Проектирование оснастки и технологии изготовления ствольных заготовок методом гидроэкструзии на гладкой подвижной оправке / Ю. Г. Розов // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (35). – С. 106-109.

12. Розов Ю. Г. Технология изготовления прецизионных трубчатых изделий методом обжатия на профильной оправке прокаткой-волочением неприводными роликами / Ю. Г. Розов // Современные технологии обработки материалов давлением: моделирование, проектирование, производство: сб. науч. тр. – М. : Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2013. – № 1 (44). – С. 24-29.

13. Розов Ю. Г. Конечно-элементная модель волочения трубчатой заготовки на профильной оправке в конической матрице / Ю. Г. Розов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2013. – № 3. – С. 47-50.

14. Розов Ю. Г. Оценка влияния профиля канала ствола на прочность стрелкового оружия / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // Артиллерийское и стрелковое вооружение : международный научно-технический журнал. – 2012. – № 1. – С. 35-39.

15. Розов Ю. Г. Динамическое взаимодействие пули и внутренней поверхности ствола с полигональным профилем / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // Артиллерийское и стрелковое вооружение : международный научно-технический журнал. – 2012. – № 2. – С. 31-36.

REFERENCES

1. Tuktanov A. G. Tekhnologiya proizvodstva strelkovo-pushechnogo i artilleriyjskogo oruzhiya / A. G. Tuktanov. – M. : Mashinostroenie, 2007. – 375 s.
2. Babak F. K. Osnovih strelkovogo oruzhiya / F. K. Babak. – SPb. : Izd-vo «Poligon», 2003. – 252 s.
3. Kreknin L. T. Proizvodstvo avtomaticheskogo oruzhiya : Ch.1 / L. T. Kreknin. – Izhevsk, 2004. – 238 s.

4. Steblyuk V. I. Perspektivi vikoristannya u artilerii stvoliv z poligonalnim profilem / V. I. Steblyuk, Yu. G. Rozov, D. B. Shkarluta, O. V. Kholyavik // [Problemi ekspluatatsii i rozvitku raketno-artileriyjskogo ozbroennya viysjkovo-morsjkih sil zbrojnykh sil Ukraïni : zb. dopovidej II naukovoï konferencii, (5–7 zhovt. 2011 r., Sevastopolj, Ukraina)]. – S. 19-22.
5. Pistoletih-pulemyotih GLOCK-17 i drugie (Avstriya) [Ehlektronnihyj resurs]. – URL : <http://www.arms.ru/Guns/pistmin/glock.htm>.
6. AEK-919K, pistolet-pulemyot «Kashtan» [Ehlektronnihyj resurs]. – URL : <http://www.arms-expo.ru/049056049055124052054054057.html>.
7. Pasechnik S. Pistolet-pulemyot «Ehljif-2» / S. Pasechnik // Okhota i oruzhie. – 2000. – № 6. – S. 6-7.
8. Rozov Yu. G. Issledovanie processa gidroehkstruzii trubchatoyj zagotovki na profilnoy opravke metodom komp'yuternogo modelirovaniya / Yu. G. Rozov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2013. – № 12. – S. 21-25.
9. Rozov Yu. G. Konechno-ehlementnoe modelirovanie processa izgotovleniya precizionnykh trubchatykh izdeliy iz stali 20Kh17N2 gidropressovaniem na gladkoj opravke / Yu. G. Rozov // [Nauchno-tehnicheskij progress v metallurgii : sb. trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyatyonnoy 50-letiyu Karagandinskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta, (11–12 okt. 2013 g., Temirtau)]. – T. 2. – S. 63–68.
10. Rozov Yu. G. Analiz tekhnologii vigotovleniya trubchatykh virobiv iz stali 20Kh17N2 gidropresuvanniam na gladkoj opravci / Yu. G. Rozov, V. V. Pimanov, D. B. Shkarluta // Visnik NTUU «KPI». Mashinobuduvannya. – 2012. – № 64. – S. 234-238.
11. Rozov Yu. G. Proektirovanie osnastki i tekhnologii izgotovleniya stvolnykh zagotovok metodom gidroehkstruzii na gladkoj podvizhnoy opravke / Yu. G. Rozov // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2013. – № 1 (35). – S. 106-109.
12. Rozov Yu. G. Tekhnologiya izgotovleniya precizionnykh trubchatykh izdeliy metodom obzhatiya na profilnoy opravke prokatkoj-volocheniem neprivodnyimi rolkami / Yu. G. Rozov // Sovremennye tekhnologii obrabotka materialov davleniem: modelirovanie, proektirovanie, proizvodstvo: sb. nauch. tr. – M. : Moskovskiy gosudarstvenniy mashinostroitel'niy universitet (MAMI), 2013. – № 1 (44). – S. 24-29.
13. Rozov Yu. G. Konechno-ehlementnaya modelj volocheniya trubchatoyj zagotovki na profilnoy opravke v konicheskoy matrice / Yu. G. Rozov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova. – Magnitogorsk, 2013. – № 3. – S. 47-50.
14. Rozov Yu. G. Ocenka vliyaniya profilya kanala stvola na prochnostj strelkovogo oruzhiya / Yu. G. Rozov, V. I. Steblyuk, Yu. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // Artilleriyjskoe i strelkovo-vooruzhenie : mezhdunarodniy nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2012. – № 1. – S. 35-39.
15. Rozov Yu. G. Dinamicheskoe vzaimodeystvie puli i vnutrenney poverkhnosti stvola s poligonalnyim profilem / Yu. G. Rozov, V. I. Steblyuk, Yu. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // Artilleriyjskoe i strelkovo-vooruzhenie : mezhdunarodniy nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2012. – № 2. – S. 31-36.

Розов Ю.Г. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТВОЛІВ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ З ПОЛІГОНАЛЬНИМ ПРОФІЛЕМ

У даній роботі запропонований та реалізований спосіб здобуття довгомірної трубчастої заготовки (ствольної заготовки) з короткої заготовки методом гідроекструзії на рухомій гладкій оправці в середовищі високого гідростатичного тиску.

Запропоновані нові технології здобуття прецизійної товстостінної трубчастої заготовки з внутрішніми гвинтовими канавками на прикладі виготовлення ствола з полігональним профілем: процес, заснований на обтисненні ствольної заготовки по профільній оправці неприводними роликами; пресування-волочіння ствольної заготовки з профільною оправкою через гладку конічну матрицю з фіксацією (центруванням) заготовки по калібрувальному паску.

Вперше розроблена заснована на використанні методу скінчених елементів (МСЕ) методика визначення НДС стволів стрілецької зброї з внутрішньою поверхнею каналу різної форми, що знаходяться під впливом внутрішнього статичного і динамічного навантаження.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, метод скінчених елементів, оправка, гідроекструзія, гідростатичний тиск, обтиснення, волочіння, конічна матриця, подовжня стійкість, міцність.

Rozov Yu.G. NEW MANUFACTURING TECHNIQUES TRUNKS OF SMALL ARMS WITH A POLYGONAL PROFILE

In this work, the method of production long-measuring tubular blank (barrel blank) from a short blank by hydrostatic extrusion on the smooth moving mandrel in the high-pressure medium is proposed.

We propose the new technologies for receive precision thick-walled tubular blank with inside screw groove by manufacturing rifled barrel with polygonal section: double-line process, based on crimping barrel blank on the profile mandrel by rolling (wire drawing) idle rollers; pressing-wire drawing of barrel blank with the profile mandrel through the smooth conic mould with the fixation (centering) of blank on parallel land without limitation and with limitation of flow of metal on length.

For the first time the method of detection VAT for barrels of small-arms with the inside rifled surface of various shape, situated under the influence of internal static and dynamic loading based on the use of FEM.

Keywords: computer simulation, finite element method, mandrel, hydrostatic extrusion, hydrostatic pressure, rolling-wire drawing, pressing-wide drawing, conic mould, longitudinal stability, deformation site.

© Розов Ю. Г.

Статтю прийнято
до редакції 07.10.15

УПРОЧНЕНИЕ СИТ ГРОХОТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СТАЛИ 12X18H9T, МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.

Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко НАН Украины, г. Киев

Исследования показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) для повышения надежности сит грохотов и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания. Применение нового метода ИПТА позволяет формировать упрочненные поверхности деталей, которые обладают необходимым комплексом эксплуатационных свойств. Полученные данные об износостойкости упрочненных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствует о необходимости применения этого метода для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов.

Ключевые слова: сита грохотов, поверхность, износостойкость, ионно-плазменное термоциклическое азотирование.

Вступление. Грохочение является самым универсальным способом классификации, который позволяет разделить материал в зависимости от размера. Метод используется для классификации материала, размером 1–250 мм. Воздушная и гидравлическая сепарация позволяет разделять зерна, размер которых составляет менее 2 мм. Классификация необходима, чтобы подготовить материал к дроблению или вернуть его на повторное измельчение. Кроме того, классификация может применяться для получения готового продукта, который имеет состав определенной зернистости.

Процесс грохочения выполняется с помощью сит или грохотов, главным элементом которых являются сита (цилиндрические или конические). Мелкие фракции проходят через отверстия сита, а крупные остаются на нем, отделяясь, таким образом, от мелких частиц.

Сита грохотов для просева материалов изготавливаются из металлических сеток или листов стали 12X18H9T с прямоугольными или круглыми отверстиями. При просеивании твердых пород происходит абразивный износ сит, что приводит к быстрому выходу со строя грохота.

Анализ последних исследований. В настоящее время для упрочнения сит и дисков на валах грохотов применяют технологию создания износостойкого покрытия. Технология включает подготовку поверхности деталей, нанесения газопламенного покрытия шнуровым материалом, содержащим Ni-Cr-B-Si-C+40% WC и его оплавления [6].

В работе [5] показано исследование интенсивности износа дисков грохота, которое показало, что напыление шнуровым материалом, содержащим карбид вольфрама, существенно снижает износ, как и электродуговое напыление сталью 100X13.

Поставленная задача заключалась в разработке метода упрочнения сит для увеличения их ресурса.

Результаты исследования. В Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработан метод поверхностного упрочнения деталей – ионно-плазменное термоциклическое азотирование (ИПТА). Он предназначен для модификации поверхности конструкционных, инструментальных, нержавеющих сталей и чугунов.

Данный метод основан на таких академических разработках, как: теория термической усталости, аномальный массоперенос при механической нагрузке и эффект дискретного энерговода.

Метод имеет следующие преимущества:

- используется нагрев только поверхностного слоя детали без прогрева ее сердцевины. Нагрев происходит за счет энергии тлеющего разряда, поэтому не нужно использовать печи;

- циклические нагревы и охлаждения детали создают термические напряжения в поверхностном слое, что в 2-3 раза ускоряет диффузионные процессы и соответственно сокращается время обработки;
- форма и размеры детали и чистота ее поверхности остаются без изменений, поэтому не нужна финишная механическая обработка;
- сокращение длительности обработки, циклический характер скоростного дискретного энерговода и нагрев только поверхностного слоя сокращают затраты электроэнергии до 10 раз;
- позволяет обрабатывать поверхность, как простых форм деталей, так и сложных (шнеки, коленвалы, шестерни, матрицы и др.);
- является экологически чистым, так как в процессе обработки не применяются опасные для здоровья человека и окружающей среды вещества.

Для формирования диффузионных слоев методом ИПТА использовалась разработанная в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины универсальная установка «ВИПА-1» (рис. 1) [3].



Рисунок 1 – Общий вид установки «ВИПА-1»

Для исследования использовались образцы, изготовленные из стали 12X18H9T, с размерами 10x10x5 мм.

Азотирование выполняли на установке ВИПА [1] термоциклическим циклом $\pm 50^\circ\text{C}$ по нескольким режимам для выявления оптимальных параметров.

Типичная микроструктура слоя показана на рис. 2.



Рисунок 2 – Микроструктура азотированного слоя стали 12X18H9T

Таблица 1 – Режимы азотирования и свойства упрочненного слоя

№ режима	Режим			Толщины зон азотированного слоя, мкм		Н _г ³⁾ , Н/мм ²	Примечания
	Р, Па	Т, °С	Время, час	серая фаза	нитридная зона		
1	80	580	3	36–38 15–16	3–5 2	5360/ 10280/ 10170	
2	240	580	3	30–35 40–42	2–3 2–4	4810/ 4290/ 4510/	Слой несплошный
3	80	500	3	–	2 0	3450/ 4390/ 2520	Слой несплошный
4	120	540	3	– 15–17	2–3 2–3	4390/ 4390/ 4420	Слой на 20% ⁴⁾ Слой на 70 %
5	80	620	3	47 47–50	3–4 3	11850/ 6170/ 9120	
6	120	600	3	45–47 21–25	2–3 2–3	4330/ 4910/ 12870	Слой на 80% Слой на 50%
7	87	580	3	9–11 18–20	2–4 2–4	4360/ 4270/ 3730	Слой на 70% Слой на 80%
8	106	560	3	2–4 –	1 0	3870/ 5310/ 5310	Слой на 50%
9	93	640	6	75–80 45–46	2–4 3–4	3060/ 8310/ 11780	100% 15 мкм слой азотистого аустенита
10	93	600 640	6	68–75 15–20	2–3 3–4	–	–
11	80 73	600 640	1 4	60–63	4–5	8870/ 10750/ 9670	100%-ная сплошность, 3–7 мкм диффузионная зона
12	80 200	600 640	1 4	60	3–4	10520/ 9720/ 10920	
13	80 80 210	600 680 680	1 3 2	36–42	4–5	10880/ 10640/ 10640	
14 ²⁾	80 80	600 680	1 3	25–30	4–6	8620/ 9720/	
15	80	450	50	18–25	3–4	12490/ 15040/ 13230	100%-ная сплошность, 6–8 мкм диффузионная зона
16 ⁵⁾	80	550	16	30	–	11190	35 мкм дифф. зона
17 ⁶⁾	80	510	40	30	–	10640	30 мкм дифф. зона

Примечания: 1) газовая среда – азотно-аргонная смесь; 2) обратная смесь; 3) микротвердость в трех произвольных точках по краям и в середине поверхности образцов; 4) доля поверхности на шлифе с нитридным слоем; 5) концентрация азота снижена в 2 раза по сравнению с режимом 15; 6) концентрация азота снижена в 3 раза по сравнению с режимом 15.

Толщина слоя на образцах, изготовленных предложенным методом по режимам 1–9, неоднородна (табл. 1). Поверхность образцов покрыта серым налетом толщиной до 70 мкм, который, является сажей. Схожая фаза присутствовала и на образцах, подвергнутых газовому азотированию. Под темно-серым слоем находится нитридный слой.

Качество азотированного слоя на образцах из второй партии (рис. 3) выше. В отличие от образцов 1-й партии в азотированном слое присутствует диффузионная зона, выявляемая при травлении. Слой отличается равномерностью.

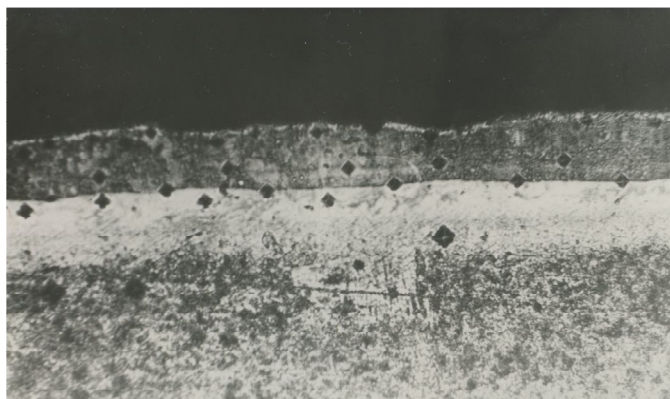


Рисунок 3 – Азотированный слой образца, изготовленного из стали 12X18H9T, после травления

На микрошлифах видно, что цвет этой фазы неоднороден и изменяется по направлению от поверхности к подложке, что говорит о различном ее составе.

Измерение распределения микротвердости по глубине слоя (рис. 4), показало, что микротвердость возрастает по направлению от поверхности слоя серой фазы к подложке. Все это обусловлено о диффузионных процессах на границе с подложкой, о диффузии железа и легирующих элементов. Необходимо отметить, что серая фаза является естественным продуктом реакции насыщающего состава газов и стали.

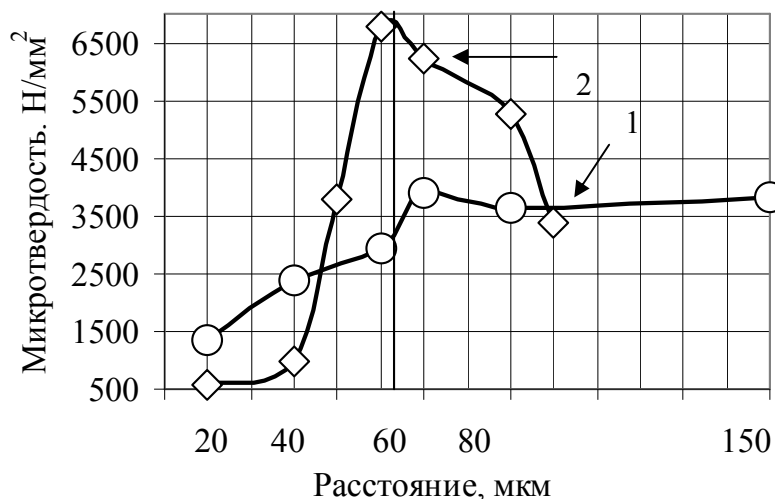


Рисунок 4 – Распределение микротвердости по глубине слоя образцов стали 12X18H9T после обработки (табл. 1) линией показана граница подложки и серой фазы:
1 – образец № 2; 2 – образец №1

Изучение микроструктуры образцов, обработанных по режиму 15 (табл. 1) при 450 °C (рис. 4) показало, что они имеют схожую структуру. Слой отличается высокой сплошностью. Отличия по толщине и твердости связаны с режимом обработки, в частности с более низкой температурой. Такой режим является нерациональным из-за большой длительности процесса.

Таким образом, общая глубина азотированного слоя, составляет 9–12 мкм.

Распределение микротвердости по глубине слоя показано на рис. 5. Нагрузку выбрали 100 г для уменьшения погрешности.

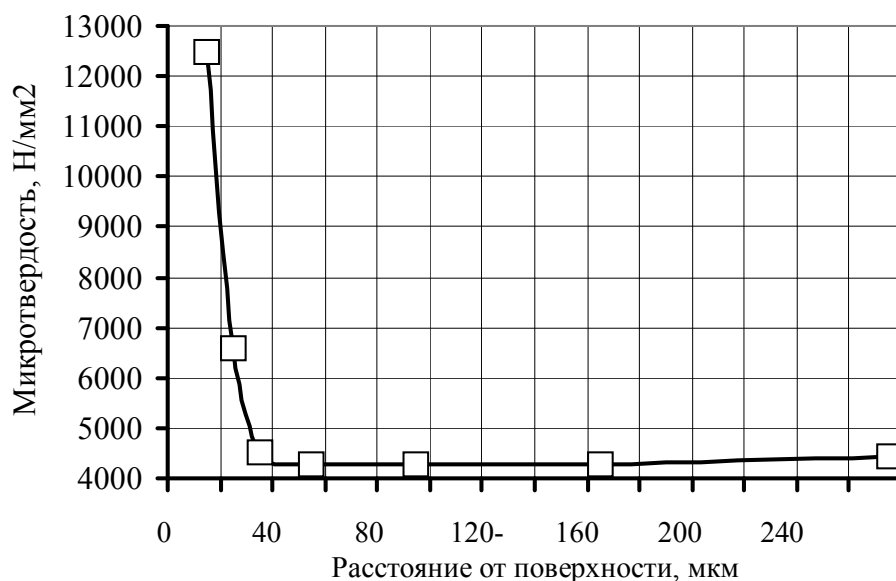


Рисунок 5 – Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя образцов, обработанных по режиму 15

По режимам 16, 17 была проведена обработка со снижением концентрации азота в 2 и 3 раза, соответственно. Микроструктура показана на рис. 6.

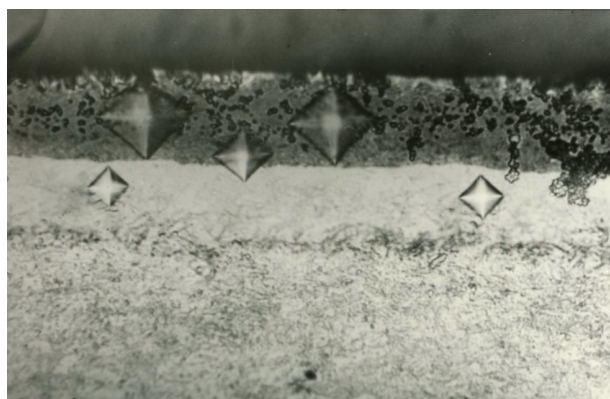


Рисунок 6 – Микроструктура образца, обработанного по режиму 16, x500

Качественно она совпадает со структурой образца 15. Наиболее существенным отличием является заметное (в 4–6 раз) увеличение толщины диффузионной зоны. Это является следствием повышения температуры обработки (по сравнению с 15 режимом). Увеличение толщины серой фазы также является следствием повышения температуры. Граница нитридной зоны, в отличие от предыдущих режимов, не вытравливается. Однако, исходя из распределения микротвердости можно заключить, что толщина нитридного – самого твердого слоя – увеличилась до 10 мкм.

Так же были проведены испытания образцов на абразивный износ. Исследования проводили на экспериментальной установке [1, 4].

Образцы изнашивались с помощью свободного абразива, увлекаемого резиновым роликом на поверхность трения. В качестве абразива использовался кварцевый песок (SiO_2) зернистостью 200...250 мкм. Перед испытанием абразив просушивали (влажность не превышала 0,16 %). Износ замеряли весовым методом на аналитических весах АДВ-200 с точностью до 0,0001 г. До и после испытаний образцы промывали в этиловом

спирте, просушивали и взвешивали. Эксперимент проводили при скорости скольжения 0,158 м/с, нагрузке 20 кг (при плече 272 мм) и пути трения 50 м.

Для сравнения на износостойкость использовались образцы, как не упрочненные, так и после обработки (рис. 7). В качестве агрессивных сред использовались: 1 – кварцевый песок, 2 – вода + песок, 3 – влажная соль + песок.

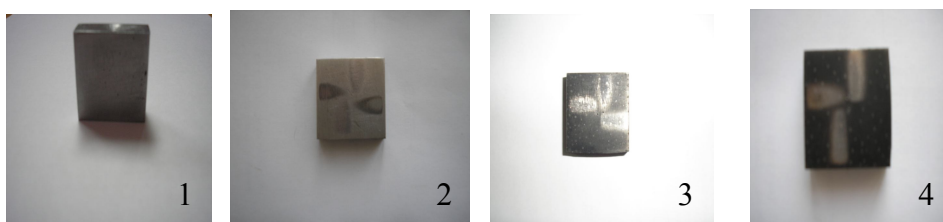


Рисунок 7 – Общий вид образцов до (№ 1) и после испытаний (№ 2, 3 и 4)

Испытания на коррозионно-абразивный износ показали, что азотированные образцы по режиму № 16 имеют износостойкость в 4 раза меньше, чем образцы без обработки и в 1,4 раза – чем обработанные по режиму № 15 (табл. 1) (рис. 8).

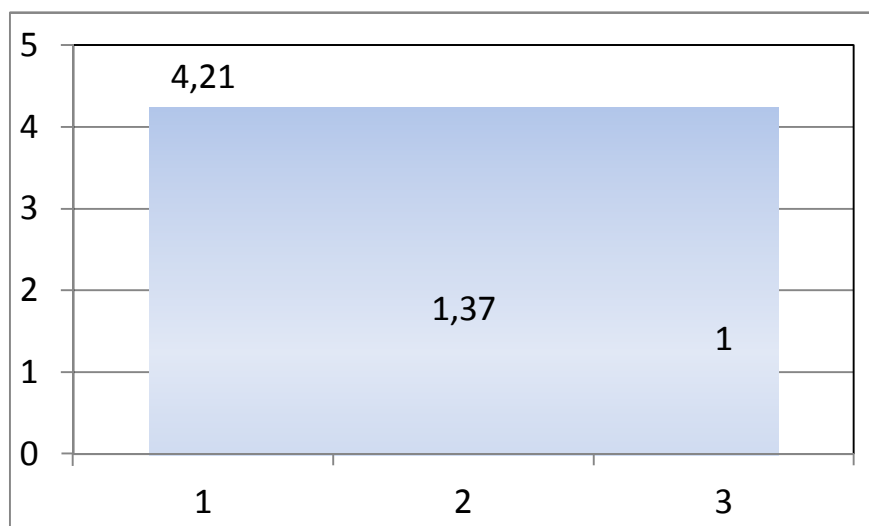


Рисунок 8 – Весовой износ образцов в песке: 1 – без упрочнения; 2 – обработанный по режиму № 15; 3 – обработанный по режиму № 16

Выводы. Проведенные исследования показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения срока эксплуатации сит грохотов, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Полученные данные об износостойкости упрочненных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствует о необходимости использования этой технологии для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю. М. Азотирование сталей / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
2. Рутковский А. В. Исследование диффузионных слоев стали 40X13, полученных методом термоциклического ионно-плазменного азотирования на трение в агрессивной среде / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи // Проблемы трения и износа. – 2011. – № 55. – С.79-85.
3. Рутковский А. В. Циклічна довговічність титанового сплаву BT1-0 з покриттям, отриманим методом іонно-плазмового термоциклічного азотування (ПТА) / А. В. Рутковский, О. Ю. Кумуржи, Я. В. Можеітов // Вібрації в техніці та технологіях : збірник наукових праць. – 2012. – № 2 (32), т. 1. – С. 208-213.

4. Кудрин А. П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишневский // Вісник НАУ. – 2003. – № 2. – С. 111-114.
5. Кузев Д. П. Повышение стойкости дисков 14-валкового грохота напылением / [Д. П. Кузев, Д. С. Гаврилов, А. Г. Радюк, А. Е. Титлянов, С.А. Иванов] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – № 2. – С. 9-13.
6. Кузев Д. П. Конструкторско-технологические методы повышения долговечности валкового грохота / Д. П. Кузев, А. Г. Радюк // Горный информационно-аналитический бюллетень : научно-технический журнал. – 2011. – № 8. – С. 264-268.

REFERENCES

1. Lakhtin Yu. M. Azotirovanie staley / Yu. M. Lakhtin, Ya. D. Kogan. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 256 s.
2. Rutkovskiy A. V. Issledovanie diffuzionnykh sloev stali 40Kh13, poluchennykh metodom termociklicheskogo ionno-plazmennogo azotirovaniya na trenie v agressivnoy srede / A. V. Rutkovskiy, A. Yu. Kumurzhi // Problemih treniya i iznosa. – 2011. – № 55. – S.79-85.
3. Rutkovskiy A. V. Ciklichna dovgovichnist titanovogo splavu VT1-0 z pokrittyam, otrimanim metodom ionno-plazmowego termociklichnogo azotuvannya (IPTA) / A. V. Rutkovskiy, O. Yu. Kumurzhi, Ya. V. Mozheytov // Vibracii v tekhnici ta tekhnologiyakh : zbirnik naukovikh pracj. – 2012. – № 2 (32), T. 1. – S. 208-213.
4. Kudrin A. P. Issledovanie iznosostojkosti uprochnennoj uglerodistoj stali v usloviyakh abrazivnogo iznashivaniya / A. P. Kudrin, V. F. Labunec, O. A. Vishnevskiy // Visnik NAU. – 2003. – № 2. – S. 111-114.
5. Kuzuev D. P. Povishenie stojkosti diskov 14-valkovogo grokhota napihleniem / [D. P. Kuzuev, D. S. Gavrilov, A. G. Radyuk, A. E. Titlyanov, S.A. Ivanov] // Remont, vosstanovlenie, modernizaciya. – 2007. – № 2. – S. 9-13.
6. Kuzuev D. P. Konstruktorsko-tehnologicheskie metodih povisheniya dolgovechnosti valkovogo grokhota / D. P. Kuzuev, A. G. Radyuk // Gornihy informacionno-analiticheskiy byulletenj : nauchno-tekhnicheskij zhurnal. – 2011. – № 8. – S. 264-268.

Рутковський А.В., Кумуржі О.Ю. ЗМІЦНЕННЯ СИТ ГРОХОТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ СТАЛІ 12Х18Н9Т, МЕТОДОМ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ

Дослідження показали перспективність і доцільність застосування іонно-плазмового термоциклічного азотування (ІПТА) для підвищення надійності сит грохотів і механізмів, що працюють в умовах абразивного зношування. Застосування нового методу ІПТА дозволяє формувати зміцнені поверхні деталей, які володіють необхідним комплексом експлуатаційних властивостей. Отримані дані про зносостійкість зміцнених шарів в умовах абразивного зношування свідчить про необхідність застосування цього методу для поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів.

Ключові слова: сита грохотів, поверхня, зносостійкість, іонно-плазмові термоциклічне азотування.

Rutkovskiy A.V. Kumurzhy A.Yu. STRENGTHENING SIEVES OF SEPARATOR FROM STEEL 12H18N9T THE METHOD OF ION-PLASMA THERMAL CYCLING NITRIDING

Studies have shown promising and usefulness of ion-plasma thermal cycling nitriding of to improve the reliability of sieves of separator and mechanisms operating in conditions of abrasive wear. Priority is given to hardened layers, which greatly expanded the possibilities of this method by achieving specific set of performance properties. The data on the durability of hardened layers in conditions of abrasive wear suggests a promising application of this method for surface hardening of machine parts and mechanisms.

Key words: sieves of separator, surface, abrasive wear suggests, ion-plasma termocycling nitriding.

© Рутковський А. В., Кумуржі О. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 14.09.15

ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН

Самарін О. Є.

Херсонська державна морська академія

Розроблено схему поршневого двигуна, що складається з фундаментної рами, станини та циліндра з кришкою, у середині яких розташовано поршень з шатуном, шарнірно з'єднаним із колінчастим валом. Циліндр з кришкою з'єднано із станиною за допомогою шарніра, а поршень з шатуном – жорстко. Це забезпечує коливання поршня у такт з рухом шатуна. При згорянні палива у циліндрі з кришкою виникає сила, що діє на поршень, шатун та колінчастий вал, який обертається навколо своєї осі. Завдяки тому, що циліндр з кришкою з'єднано із станиною за допомогою шарніра, а поршень з шатуном – жорстко, циліндр з кришкою та шатун коливаються навколо шарніра відповідно до обертання колінчастого валу навколо своєї осі. При цьому реакція від шарніра передається на станину та фундаментну раму. У двигуні сила тиску газів в циліндрі повністю передається на шатун. При цьому вона не викликає появи нормальної сили, що притискає поршень до втулки циліндра та сприяє виникненню додаткової сили тертя. Проведено векторний аналіз сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі. Запропоноване технічне рішення дозволить зменшити енергомісткість поршневого двигуна та підвищити його потужність і довговічність, завдяки зменшенню сил тертя між поршнем та циліндровою втулкою.

Ключові слова: кривошипно-шатунний механізм, коливання поршня, нормальна сила, сила тертя, шарнірне з'єднання.

Вступ. Сучасний поршковий двигун внутрішнього згорання представляє собою теплову машину, в якій хімічна енергія палива перетворюється в механічну роботу [1]. Він складається з нерухомих деталей, що становлять остов – фундаментна рама, станина, циліндри, циліндрові кришки та рухомих деталей (поршнева та шатунна групи) – поршні, шатуни, колінчастий вал.

Під дією тиску газів виникає бічна сила, що притискає поршень до втулки циліндра та обумовлює появу підвищеної сили тертя. З урахування умов роботи циліндро-поршнєвої групи (висока температура, недостатнє змащення поверхонь, що труться), відбувається інтенсивне зношування як поршня, так і втулки циліндра, що зменшує строк служби двигуна.

Крім того, на подолання підвищеної сили тертя витрачається енергія палива, що зменшує потужність двигуна.

Враховуючи масове використання поршкових двигунів внутрішнього згорання, а також високі витрати на пальне, проблема зменшення енергомісткості роботи двигуна, а також підвищення потужності та строку його служби набуває практичної значущості.

Аналіз механічних навантажень на деталі двигуна

Сила тиску газів P_r діє в робочих циліндрах та навантажує втулки циліндрів, кришки і поршні [1]. Механічні навантаження, що виникають при роботі двигуна, обумовлюються дією сили тиску газів P_r , сили інерції рухомих частин P_j , що рухаються поступально, та відцентрових сил інерції мас $P_{\text{ц}}$, що обертаються (рис. 1).

Сила інерції поступально рухомих мас, являє собою добуток мас поршнєвої групи і верхньої частини шатуна m_n на прискорення руху поршня a : $P_{jn} = m_n \times a$, діє як і сила тиску газів в напрямку осі циліндра.

Додавання сил, приведених до площі поршня, дає сумарну силу:

$$P = P_r + P_j.$$

Сумарна сила P може бути розкладена на дві складові - на силу $P_{\text{ш}}$, спрямовану уздовж шатуна, і силу нормальну N , спрямовану перпендикулярно до осі циліндра (рис.1):

$$P_{\text{ш}} = \frac{P}{\cos\beta};$$

$$N = P \operatorname{tg} \beta.$$

Нормальна сила притискає поршень до втулки циліндра та викликає перекладку поршня в циліндрі.

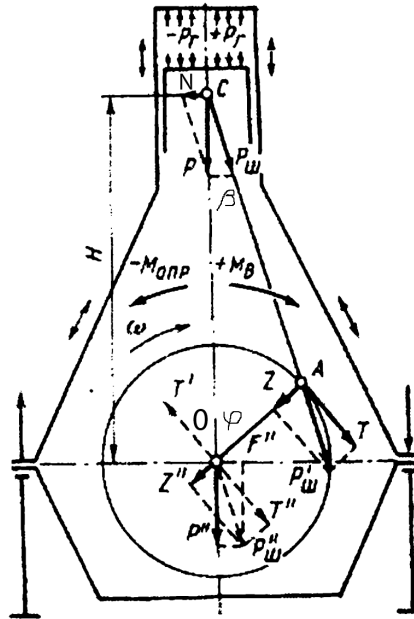


Рисунок 1 – Механічні навантаження на деталі двигуна [1]

У свою чергу, сила $P_{\text{ш}}$ може бути перенесена вздовж шатуна в центр кривошипного (мотильового) підшипника і розкладена на дві складові – перпендикулярну до радіуса кривошипа (мотиля) – тангенціальну силу T , і спрямовану уздовж щоки вала – силу Z [2].

$$T = P'_{\text{ш}} \sin(\varphi + \beta) = P \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta};$$

$$Z = P'_{\text{ш}} \cos(\varphi + \beta) = P \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}.$$

Тангенціальна сила T створює крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = T \cdot R = P \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} R = PR(\sin \varphi + \operatorname{tg} \beta \cos \varphi),$$

де R – радіус мотиля.

Сили T'' та Z'' можна скласти, а їх результуюча $P''_{\text{ш}}$, що дорівнює силі $P_{\text{ш}}$ і діє уздовж продольної осі шатуна, навантажує рамові підшипники колінчастого валу.

Силу $P''_{\text{ш}}$ можна розкласти на дві складові: силу F'' , що діє перпендикулярно до осі циліндра, та силу P'' , що діє по осі циліндра.

Пара сил N і F'' на плечі H створюють рівний $M_{\text{кр}}$, але протилежно спрямований реактивний момент $M_{\text{опр}}$, який прагне перекинути двигун в сторону, протилежну напрямку обертання валу. Як видно з рис. 1:

$$M_{\text{опр}} = -F'' \cdot H = -P'' \cdot H \operatorname{tg} \beta.$$

Крутний момент $M_{\text{кр}}$ передається на трансмісію, а реактивний момент $M_{\text{опр}}$ через нерухомі частини КШМ сприймається опорами двигуна.

Сила $P'' = P = P_r + P_j$. Перша складова P_r врівноважується силою, прикладеною до головки циліндра, а друга складова P_j є вільною невідновленою силою, що передається на опори двигуна.

З'єднання циліндра з кришкою 3 із станиною 2 за допомогою шарніра 7 дозволяє забезпечити коливання циліндра з кришкою 3 відносно станини 2 та усунути нормальну силу N , перпендикулярної до осі циліндра, при роботі двигуна. Жорстке з'єднання поршня 4 з шатуном 5 дозволяє забезпечити коливання циліндра з кришкою 3 у відповідності до обертання колінчастого вала 6.

Поршневий двигун працює наступним чином. При згорянні палива у циліндрі з кришкою 3 виникає сила, що діє на поршень 4, шатун 5 та колінчастий вал 6, який обертається навколо своєї осі А. Завдяки тому, що циліндр з кришкою 3 з'єднано із станиною 2 за допомогою шарніра 7, а поршень 4 з шатуном 5 – жорстко, циліндр зі кришкою 3 і шатун 5 коливаються навколо шарніра 7 відповідно до обертання колінчастого вала 6 навколо своєї осі А. При цьому реакція від шарніра 7 передається на станину 2 та фундаментну раму 1.

У запропонованому двигуні сила, що діє уздовж шатуна $P_{\text{ш}}$ дорівнює сумарній силі P :

$$P_{\text{ш}} = P = P_r + P_j.$$

Тому тангенціальна сила T і спрямована уздовж щоки вала сила Z становлять відповідно (рис. 2):

$$T = P \sin(\varphi + \beta);$$

$$Z = P \cos(\varphi + \beta).$$

При цьому крутний момент на колінчастому валу буде дорівнювати:

$$M_{\text{кр}} = T \cdot R = P \sin(\varphi + \beta) R.$$

Під дією крутного моменту в колінчастому валу виникають напруження скручування.

Силу $P_{\text{ш}}$, перенесену уздовж поздовжньої осі шатуна у центр шарніра 7, позначимо $P_{\text{ш}}'''$ та розкладемо її на дві складові – горизонтальну $P_{\text{шг}}$ та вертикальну $P_{\text{шв}}$ сили, які дорівнюють [3]:

$$P_{\text{шг}} = P_{\text{ш}}''' \sin \beta; \quad P_{\text{шв}} = P_{\text{ш}}''' \cos \beta.$$

Горизонтальна сила $P_{\text{шг}}$ разом з силою F'' на плечі H створюють рівний $M_{\text{кр}}$, але протилежно спрямований реактивний момент $M_{\text{опр}}$ (рис. 2):

$$M_{\text{опр}} = -F'' \cdot H = -P \cdot H \tan \beta.$$

Вертикальна сила $P_{\text{шв}}$ врівноважується силою $P'_{\text{шв}}$, що виникає у підшипнику колінчастого вала.

Як видно з рис. 2, горизонтальна сила $P_{\text{шг}}$ перпендикулярна до вертикальної осі двигуна та діє у шарнірі 7, закріпленому між циліндром з кришкою 3 та станиною 2, на відміну від нормальної сили N (рис.1, в), що діє у шарнірі, який з'єднує поршень і шатун. Таким чином реакція від дії горизонтальна сила $P_{\text{шг}}$ передається на станину 2, а не на циліндр 3 та поршень 4.

Шарнір 7 знаходиться поза зоною високих температур. У ньому забезпечуються нормальні умови змащення, охолодження та очищення від продуктів зношення. Усе це сприяє збільшенню строку його експлуатації.

Винесення шарніра з поршня спрощує систему змащення. Цьому сприяє стаціонарне розташування шарніра на станині двигуна та відсутність високої температури.

Висновки та рекомендації. Запропоноване технічне рішення дозволить зменшити енергомісткість поршневого двигуна та підвищити його потужність і довговічність завдяки зменшенню сил тертя між поршнем й циліндровою втулкою.

Наведена схема дозволяє в трунковому двигуні використати переваги крейцкопфного.

У циліндрі двигуна відсутня нормальна сила, спрямована перпендикулярно до його осі. Тому не виникає перекладка поршня і він не притискається додатково нормальною силою до втулки циліндра у площині коливання шатуна. У результаті цього забезпечується рівномірне зношування поршня та циліндра по всьому периметру так само, як у крейцкопфному двигуні.

Таким чином, строк служби тронкового двигуна наближається до строку служби крейцкопфного двигуна. При цьому, завдяки відсутності крейцкопфного механізму, його габаритні розміри та маса значно менші.

Застосування рухомого циліндра дозволяє збільшити його довжину та при цьому не турбуватись про те, що шатун стикнеться з втулкою циліндра. Це дозволяє застосовувати так звані довго ходові циліндри, що збільшує потужність двигуна.

Крім наведеної на рис. 2 схеми існують і інші конструктивні виконання у рамках вказаного технічного рішення. Можливе встановлення шарніра на бокових стінках циліндра. Наприклад при розташування шарніра у середній частині циліндра амплітуда його коливань у нижній частині зменшиться у два рази та рівномірно розподілиться між нижньою та верхньою частинами. Особливо це може бути застосовано у довгоходових двигунах.

У зв'язку з коливанням циліндра, найбільш доцільно застосовувати наведену конструкцію у дизельних двигунах з контурною схемою газообміну. Це пояснюється відсутністю випускного клапана та необхідність забезпечувати його привод.

З'єднання продувочних вікон з продув очним ресивером та випускних вікон з випускним колектором здійснюється за допомогою гнучких рукавів високого тиску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. – М. : Моркнига, 2008. – Том. 1. – 282 с.
2. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. – Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 401 с.

REFERENCES

1. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya / I. V. Voznickiy. – M. : Morkniga, 2008. – Tom. 1. – 282 s.
2. Goc A. N. Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunnogo mekhanizma porshnevikhkh dvigateleyj: ucheb. posobie / Vladim. gos. un-t. – Vladimir : Redakcionno-izdateljskiy kompleks VIGU, 2005. – 124 s.
3. Targ S. M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki. – M. : Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literaturih, 1961. – 401 s.

Самарин А.Е. ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ

Разработана схема поршневого двигателя, состоящего из фундаментной рамы, станины и цилиндра с крышкой, в середине которых расположены поршень с шатуном, шарнирно соединенным с коленчатым валом. Цилиндр с крышкой соединен со станиной с помощью шарнира, а поршень с шатуном – жестко. Это обеспечивает колебания поршня в такт с движением шатуна. При сгорании топлива в цилиндре с крышкой возникает сила, действующая на поршень, шатун и коленчатый вал, который вращается вокруг своей оси. Благодаря тому, что цилиндр с крышкой соединен со станиной с помощью шарнира, а поршень с шатуном – жестко, цилиндр с крышкой и шатун колеблются вокруг шарнира в соответствии с вращением коленчатого вала вокруг своей оси. При этом реакция от шарнира передается на станину и фундаментную раму. В двигателе сила давления газов в цилиндре полностью передается на шатун. При этом она не вызывает появления нормальной силы, прижимающей поршень к втулке цилиндра и способствующей возникновению дополнительной силы трения. Проведен векторный анализ сил,

действующих в кривошипно-шатунном механизме. Предложенное техническое решение позволит уменьшить энергоемкость поршневого двигателя и повысить его мощность и долговечность благодаря уменьшению сил трения между поршнем и цилиндровой втулкой.

Ключевые слова: кривошипно-шатунный механизм, колебания поршня, нормальная сила, сила трения, шарнирное соединение.

Samarin A.E. RECIPROCATING ENGINE

The scheme reciprocating engine, consisting of a foundation frame, frame and cylinder with a lid, which is located in the middle of the piston rod pivotally connected to the crankshaft. Cylinder lid Bed Type plugged by a hinge, and the piston rod – hard. It provides vibrations to the beat of the piston rod movement. During the combustion of fuel in the cylinder with a lid there is the force acting on the piston, connecting rod and crankshaft, which rotates around its axis. Because the cylinder with a lid Bed Type plugged by a hinge, and the piston rod – hard, cylinder with a lid and shake the rod around the hinge according to the crankshaft around its axis. This reaction of the hinge is transmitted to the frame and foundation frame. The engine power of gas pressure in the cylinder is fully transferred to the connecting rod. However, it does not cause the appearance of normal force that pushes the piston to the cylinder sleeve and contributes to additional friction. A vector analysis of the forces acting in the crank mechanism. The proposed technical solution will reduce the energy intensity piston engine and increase its power and durability by reducing friction forces between the piston and the cylinder sleeve.

Keywords: crank mechanism, fluctuations stroke, normal force, friction, swivel.

© Самарін О. Є.

Статтю прийнято
до редакції 19.08.15

РІЗАЛЬНИЙ АПАРАТ

Самарін О.Є.

Херсонська державна морська академія

Розроблено конструкцію різального апарату, що складається з приводної коробки, на вихідному валу якої закріплено маточину з діаметрально розташованими осями, на які через отвори шарнірно встановлено ножі з різальними кромками. Ножі виконано у вигляді дисків з різальною кромкою по всьому периметру, які мають розташовані по колу отвори.

При обертанні вихідного валу приводної коробки маточина з діаметрально розташованими осями також обертається. Ножі з різальними кромками повертаються в отворах навколо осей та займають радіальне положення. При зустрічі різальної кромки із стеблами вони перерізаються і подрібнюються. Завдяки дисковій формі ножа та наявності різальної кромки по всьому периметру стебла перерізаються, а не рубуються.

Після затуплення різальної кромки ніж знімається та переставляється на сусідній отвір. Процедура перестановки ножа виконується по черзі через всі отвори, розташовані по колу, до повного затуплення різальної кромки.

Завдяки зміні геометричної форми ножа з прямокутної на дискову та його кріплення до маточини приводної коробки за допомогою групи отворів, розташованих по колу, збільшено довжину різальної кромки та рівномірність її зношення, а також забезпечено зрізання стебел з ковзанням замість рубання. Запропоноване технічне рішення дозволить зменшити енергомісткість процесу зрізання й подрібнення стебел і збільшити строк служби різального апарату.

Ключові слова: *приводна коробка, диск, різальна кромка, група отворів.*

Вступ. Експлуатаційна надійність збиральних сільськогосподарських машин багато у чому залежить від ресурсу їх різальних апаратів, ножі яких зазнають інтенсивного абразивного зношування. При цьому змінюється геометрія та форма різальної частини ножа, що приводить до порушення агротехнічних вимог до якості зрізання стебел, збільшенню втрат від недобору маси, підвищенню енерговитрат при зрізанні стебел [1].

Збільшення періоду ефективної експлуатації різальних елементів має слугувати підвищенню показників надійності збиральної машини.

Аналіз конструкції різального апарату кукурудзозбиральних машин КМС-6 та КМС-8. Різальний апарат кукурудзозбиральних машин КМС-6 та КМС-8 призначено для зрізання, подрібнення та розкидання по полю стебел кукурудзи [2].

Апарат працює в умовах значних навантажень у безпосередній близькості від поверхні ґрунту, що зумовлює підвищене зношування та пошкодження різальних кромки.

Згідно з технічними умовами висота зрізання стебел становить 10...20 см, а повнота їх подрібнення (кількість часток довжиною до 10 см) не менше 25% [3].

Він складається з приводної коробки, на вихідному валу якої закріплено маточину з діаметрально розташованими осями, на які через отвори шарнірно встановлено ножі з різальними кромками (рис.1). При обертанні вихідного валу ножі під дією відцентрової сили повертаються навколо осей та займають радіальне положення. Ножі з силою вдаряють по стеблах і зрізують їх різальними кромками.

Недоліком вказаного різального апарату є те, що при роботі інтенсивно зношується периферійна, найбільш активна зона ножа, що приводить до втрати різальної здатності і необхідності заміни ножа.

Різальна кромка ножа обмежена частиною довжини, що виходить за межі перекриття маточиною. Значне навантаження на відносно невелику різальну кромку приводить до швидкого затуплення ножа, погіршення якості зрізання та подрібнення стебел, а також до підвищення енерговитрат різального апарату.

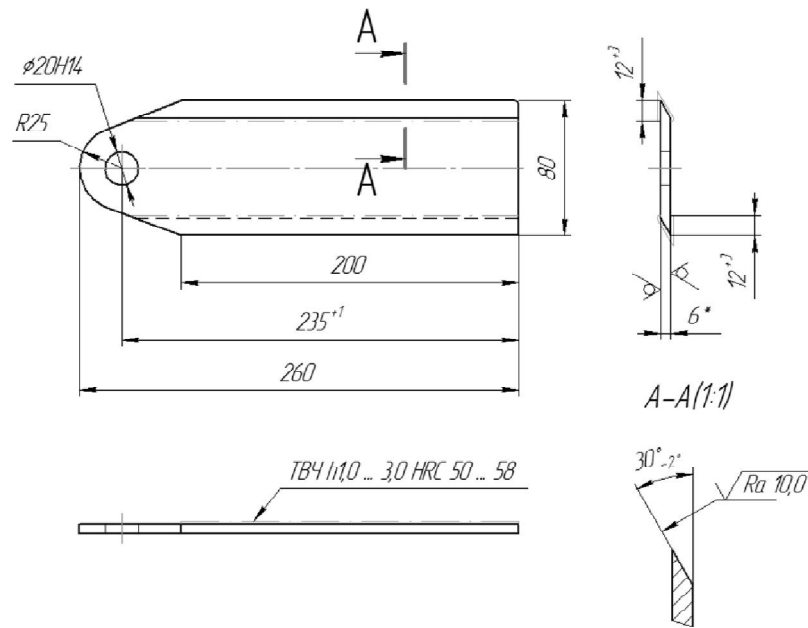


Рисунок 1 – Ніж різального кукурудзозбиральних машин КМС-6 та КМС-8 [2]

Ніж, який має прямокутну форму, працює за принципом рубуючої дії, що підвищує енергоємність процесу зрізання стебел. Крім того, його різальна кромка швидко затуплюється, а периферійна частина зношується [4, 5].

Такий апарат відноситься до площиннообертальних апаратів нормального різання [6]. Його ножі можуть тільки рубати без ковзання, причому нормальний тиск P_n ножа при цьому буде найбільш високим.

У цілому ж ряді випадків різання з високим значенням нормального тиску P_n небажано, а в деяких випадках неприпустимо. Майже всі такі випадки відносяться до процесів різання пружнов'язких матеріалів, найчастіше рослинного або тваринного походження, високий тиск на тканину яких викликає її деформацію, неприпустиму за умовами технологічного процесу. Як приклад, можна привести різання і, особливо, подрібнення сільськогосподарських культур, де високий тиск гранями леза в місці зрізу викликає стискання стебел, рваний зріз з небажаним виділенням внутрішньоклітинних соків.

Різання з ковзанням у прямолінійного ножа можливе за наявності кута τ (рис. 2), що досягається зміщенням ножа у площині диску на деяку величину l щодо радіальної лінії ОВ. Це можливо лише при жорсткому кріпленні ножа до диска. Шарнірне кріплення не дозволяє цього зробити, так як при роботі ніж розвернеться під дією відцентрової сили.

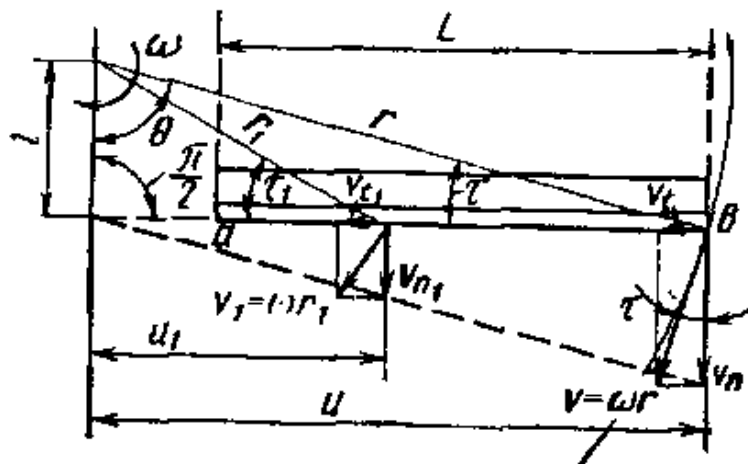


Рисунок 2 – Площиннообертальний різальний апарат із прямолінійним лезом [6]

При такому розташуванні ножа лінійна швидкість буде дорівнювати:

$$v = r\omega$$

де r – радіус обертання ножа; ω – кутова швидкість ножа.

Лінійна швидкість v у будь-якому місці ножа може бути розкладена на нормальну v_n та тангенціальну v_t :

$$v_n = r\omega \cos t = \omega l; \quad v_t = r\omega \sin t = \omega L.$$

Складова v_n змінюється за законом прямої, а v_t зберігає постійну величину для всіх точок леза, так як:

$$l = r \sin t = \text{const.}$$

Залежність коефіцієнта ковзання ножа у функції u представляє собою рівносторонню гіперболу:

$$\epsilon = \frac{v_t}{v_n} = \frac{1}{u}.$$

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як видно з проведеного аналізу, ніж має тільки дві різальні кромки, що становлять всього 63 % від загальної довжини всіх кромки ножа, що зменшує строк його використання в різальному апараті.

Крім того, ніж вказаної форми зношується нерівномірно. Найбільш інтенсивно зношується периферійна частина, що приводить до підвищення енергомісткості процесу зрізання стебел.

Мета та задачі проведення досліджень. Розробити такий різальний апарат, у якому за рахунок зміни геометричної форми та кріплення збільшено довжину різальної кромки ножа до 100%, підвищено рівномірність її зношення, а також забезпечено зрізання стебел замість рубання.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати розкладання сил на ножах різної конструкції та знайти необхідну форму ножа.

Рішення поставленої задачі. Запропонований різальний апарат складається з приводної коробки 1, на вихідному валу 2 якої закріплено маточину 3 з діаметрально розташованими осями 4, на які через отвори 5 шарнірно встановлено ножі 6 з різальними кромками 7. Ножі 6 виконано у вигляді дисків з різальною кромкою 7 по всьому периметру, які мають розташовані по колу 8 отвори 5 (рис. 3).

Різально-подрібнювальний апарат працює наступним чином.

При обертанні вихідного валу 2 приводної коробки 1 маточина 3 з діаметрально розташованими осями 4 також обертається. Ножі 6 з різальними кромками 7 повертаються в отворах 5 навколо осей 4 та займають радіальне положення. При зустрічі різальної кромки 7 із стеблами вони перерізаються та подрібнюються. Завдяки дисковій формі ножа 6 і наявності різальної кромки 7 по всьому периметру стебла перерізаються, а не рубуються.

Після затуплення різальної кромки 7 ніж 6 знімається та переставляється на сусідній отвір 5. Процедура перестановки ножа 6 виконується по черзі через всі отвори 5, розташовані по колу 8, до повного затуплення різальної кромки 7.

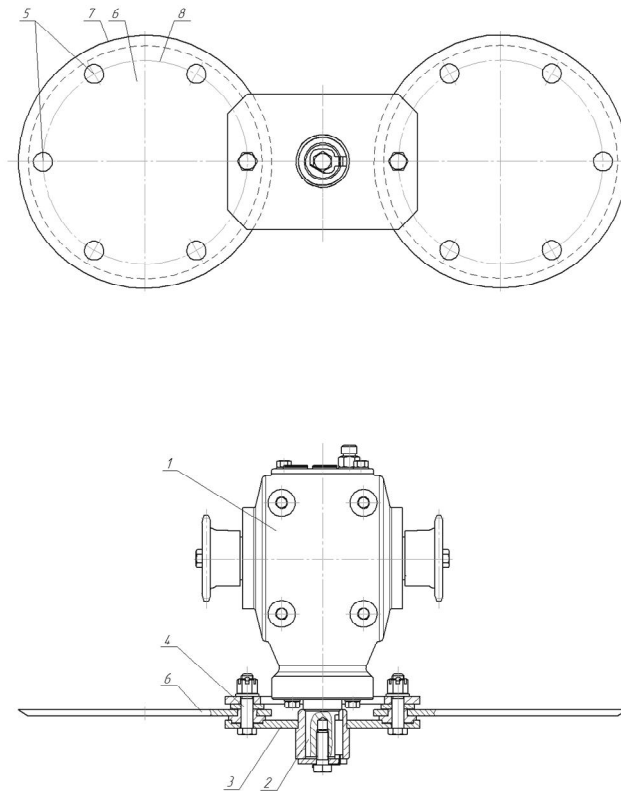


Рисунок 3 – Різальний апарат: 1 – коробка; 2 – вихідний вал; 3 – маточина; 4 – вісь; 5 – отвір; 6 – ніж; 7 – різальна кромка; 8 – коло

Виконання ножів у вигляді дисків з різальною кромкою по периметру дозволить замінити рубання стебел різанням з ковзанням, що зменшить енергомісткість процесу зрізання та подрібнення.

Дискова форма ножа з різальною кромкою по периметру збільшує активну зону ножа, що збільшує зону різання та строк використання ножа.

Дискова форма ножа збільшує масу ножа, що підвищує ефективність зрізання стебел. Заміна прямокутного профілю ножів на дисковий усуває наявність прямокутних кутів на периферії ножа, що зменшує їх зношення та збільшує строк служби.

Наявність в ножах розташованих по колу отворів дозволить переставляти їх з одного отвору на інший і, таким чином, повертати ніж навколо своєї осі, що забезпечує заміну зношеної різальної кромки на нову і відновлення різальної здатності ножів, а також рівномірне зношення ножів у продовж всього строку служби.

Таким чином, зменшується енергомісткість процесу зрізання та подрібнення стебел та збільшується строк служби різального апарату.

Загальна довжина серійного ножа становить 260 мм. При цьому довжина різальної кромки становить всього 200мм (рис.1). Конструкція ножа дозволяє його переставляти на іншу сторону. Тому максимальна загальна довжина різальної кромки складе 400 мм.

Запропонований ніж має дискову форму, периферійна частина якого заточена та виконує роль різальної кромки. Загальна довжина різальної кромки дорівнює периметру кола діаметром 260мм, тобто становить 816,4мм. Як видно з наведених цифрових значень, у випадку, коли діаметр запропонованого ножа дорівнює довжині серійного ножа, його різальна кромка більш ніж у два рази більше від різальної кромки серійного ножа.

Нормальному тиску P_n ножа відповідає сила тертя fP_n (рис. 4) [6].

Рівнодіюча цих сил дорівнює $\frac{P_n}{\cos\varphi}$. Якщо r - радіус-вектор, l - плече сили $\frac{P_n}{\cos\varphi}$, то її момент дорівнює:

$$M = \frac{P_n}{\cos\varphi} \times l = \frac{P_n}{\cos\varphi} r \cos(\tau - \varphi)$$

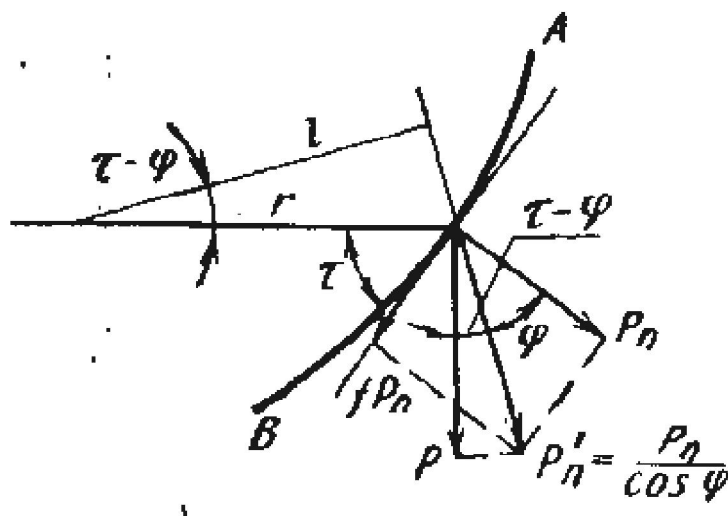


Рисунок 4 – Векторна схема сил, що діють при зрізанні стебел

Висновки та рекомендації. Запропоноване технічне рішення дозволить зменшити енергомісткість процесу зрізання та подрібнення стебел і збільшити строк служби різального апарату. Різальний апарат може бути застосована у кукурудзозбиральних машинах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Крупин А. Е. Повышение износостойкости режущих элементов сельскохозяйственных уборочных машин. Вестник НГИЭИ. Выпуск 10, 2012г.
2. Кукурузоуборочные машины КМС. Руководство по эксплуатации. КМС РЭ. – Херсон.: ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», 2013.–80с.
3. Кукурудзозбиральні машини КМС. Технічні умови. ТУ У 29.3 – 05780362-039-2003 ВАТ «Херсонські комбайни», Херсон 2003,-39 с.
4. Протокол испытания ножей на износ. Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2012 – 1с.
5. Протокол испытания ножей КПП 00.00.01 на износ. Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2013 – 1с.
6. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов. М., «Машиностроение», 1975. – 311 с.

REFERENCES

1. Krupin A. E. Povyshenie iznosostoykosti rezhuthikh ehlementov seljskokhozyayjstvennikh uborochnikkh mashin. Vestnik NGIEhI. Vihpusk 10, 2012g.
2. Kukuruzouborochniye mashinikh KMS. Rukovodstvo po ehkspluatatsii. KMS REh. – Kherson.: ООО NPP «Khersonskiy mashinostroitel'niy zavod», 2013.–80s.
3. Kukurudzobiral'ni mashini KMS. Tekhnichni umovi. TU U 29.3 – 05780362-039-2003 VAT «Khersonsjki kombayjni», Kherson 2003,-39 s.
4. Protokol ispihtaniya nozhey na iznos. Laboratoriya ispihtaniy GSKB ООО NPP «Khersonskiy mashinostroitel'niy zavod». 2012 – 1s.
5. Protokol ispihtaniya nozhey KPR 00.00.01 na iznos. Laboratoriya ispihtaniy GSKB ООО NPP «Khersonskiy mashinostroitel'niy zavod». 2013 – 1s.
6. Reznik N.E. Teoriya rezaniya lezviem i osnovih raschyota rezhuthikh apparatov. M., «Машиностроение», 1975. – 311 с.

Самарин А.Е. РЕЖУЩИЙ АППАРАТ

Разработана конструкция режущего аппарата, состоящего из приводной коробки, на выходном валу которой закреплена ступица с диаметрально расположенными осями, на которые через отверстия шарнирно установлены ножи с режущими кромками. Ножи выполнены в виде дисков с режущей кромкой по всему периметру и имеют расположенные по окружности отверстия.

При вращении выходного вала приводной коробки ступица с диаметрально расположенными осями вращается. Ножи с режущими кромками возвращаются в отверстия вокруг осей и занимают радиальное положение. При встрече режущей кромки со стеблями они перерезаются и измельчаются. Благодаря дисковой форме ножа и наличию режущей кромки по всему периметру стебли перерезаются, а не рубятся.

После затупления режущей кромки нож снимается и переставляется на соседнее отверстие. Процедура перестановки ножа выполняется поочередно через все отверстия, расположенные по кругу, до полного затупления режущей кромки.

Благодаря изменению геометрической формы ножа с прямоугольной на дисковую и его креплению к ступице приводной коробки с помощью группы отверстий, расположенных по кругу, увеличена длина режущей кромки равномерность ее износа, а также обеспечено срезки стеблей со скольжением вместо рубки.

Предложенное техническое решение позволит уменьшить энергоемкость процесса срезания и измельчения стеблей и увеличить срок службы режущего аппарата.

Ключевые слова: *приводная коробка, диск, режущая кромка, группа отверстий.*

Samarin O.E. CUTTING

The design of the cutting device, consisting of a drive box, on the output shaft of the hub which is fixed diametrically spaced axles that are articulated through holes set of knives cutting edges. Knives designed as a disc with cutting edge around the perimeter, which are arranged in a circle hole.

When rotating the output shaft of a drive boxes hub located diametrically axes also rotates. Knives with cutting edge back into the holes around radial axes and occupy the position. At a meeting of the cutting edge with stems pererizayutsya and they are crushed. Thanks disk shape knife and availability of cutting edge around the perimeter of the stem pererizayutsya, not chopped.

After blunting the cutting edge of the knife is removed and rearranged on the next hole. The procedure is performed permutations knife by one through all the holes located on a circle, until the blunt cutting edge.

By changing the geometry of the blade rectangular on the disk and its attachment to the hub via a drive boxes of openings arranged in a circle, increased the length of the cutting edge and the evenness of wear, and provided with sliding cutting the stems instead of cutting.

The proposed technical solution will reduce the energy intensity of the process of cutting and shredding stalks and increase the service life of the cutting apparatus.

Keywords: *drive gearbox, drive, cutting edge, a group of holes.*

© Самарин О. Е.

Статтю прийнято
до редакції 28.08.15

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ РІДИНИ НА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Семенов М.М., Шаповалов Ю.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв

Проведено дослідження способів зниження інтенсивності корозійно-ерозійних руйнувань поверхонь втулок циліндрів. Встановлено, що покращення якості охолоджуючої рідини можливе за рахунок збільшення водневого показника до оптимальних значень шляхом використання метода електрохімічної активації. Для проведення досліджень ефективності застосування електроактивованої рідини створено лабораторну установку. Розроблено математичні моделі залежності величини корозійно-ерозійних руйнувань зразків від показника рН при різних значеннях температури і витрати охолоджуючої рідини.

Ключові слова: електроактивація, електроактивована охолоджуюча рідина, кавітація, корозія, водневий показник.

Постановка проблеми. На підприємствах України використовуються енергетичне обладнання різного конструктивного виконання, у тому числі теплових двигунів. Як показує тривалий досвід головною причиною зменшення терміна його роботи є високе пошкодження внутрішніх поверхонь. Одним із чинників, що негативно впливає на ефективність роботи енергетичного обладнання є фізико-хімічні властивості робочого середовища, які здатні призвести до розвитку корозійних і кавітаційних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи різноманітні літературні джерела встановлено, що для підвищення ерозійно-корозійної стійкості поверхонь охолодження двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) використовують такі методи: конструктивні поліпшення деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ); технологічна обробка матеріалу циліндрової втулки; проведення експлуатаційних заходів щодо зниження кавітаційно-корозійного руйнування поверхонь охолодження. Найефективнішими серед них визначено експлуатаційні заходи, до яких, насамперед, належить якісна підготовка охолоджувальної рідини. Покращення якості охолоджуючої рідини можливе за рахунок збільшення водневого показника до оптимальних значень шляхом використання методів рН-корекції. Одним із таких методів є електрохімічна активація. Даний метод використано в ряді робіт [3, 6] харчової та біологічної промисловості. Пропонується провести дослідження використання електроактивованої охолоджуючої рідини в системі охолодження двигунів внутрішнього згорання, що дозволить значно подовжити термін їх експлуатації.

Мета статті – проаналізувати можливість збільшення ресурсних показників суднових ДВЗ за допомогою підвищення якості охолоджуючої рідини і вдосконалення технології експлуатації систем охолодження.

Викладення основного матеріалу. У ДВЗ від 8 до 25 % тепла, що виділяється при згорянні палива передається в стінки ЦПГ, які, щоб уникнути перегріву, необхідно охолоджувати. Відведення тепла здійснюється в системах охолодження. Найбільш поширеним є охолодження водою [1].

При охолодженні дизеля водою, в порожнинах і трубопроводах системи охолодження протікають фізико-хімічні процеси, що впливають на роботу системи, а в кінцевому підсумку, і на надійність двигуна, його ресурс і економічність. Характерними для систем охолодження є процеси кавітаційно-корозійних руйнувань і утворення відкладень і накипу. Особливо сильний вплив на роботу двигуна чинить інтенсивність цих процесів у зарубашечному просторі.

Існує декілька способів підвищення стійкості циліндрових втулок, а також блоків ДВЗ [5], в умовах експлуатації найбільш прийнятною є обробка охолоджуючої рідини дизелів шляхом застосування присадок. Істотним недоліком присадок є їх висока

чутливість до концентрації в охолоджуючій воді. Зниження концентрації присадки призводить до оголення окремих анодних ділянок поверхні металу і інтенсивного руйнування у формі точкової (пітингової) корозії. При цьому швидкість процесу руйнувань може в кілька разів перевищити швидкість корозії у воді, що взагалі не містить інгібітор.

Тому далі пропонується розглянути метод електрохімічної активації як метод регулювання властивостей рідини та водних розчинів.

Процес електроактивації реалізується в спеціальних пристроях – електроактиваторах, у яких міжелектродний простір розділений діафрагмою. На катоді відбувається відновлення рідини з виділенням водню і накопиченням гідроксидіонів, а на аноді – окислення рідини з виділенням кисню. Розчин, що одержується в анодній камері активатора, називають анолітом або кислою фракцією електроактивованої рідини, а розчин з катодної камери відповідно католітом або лужною фракцією.

Основними показниками, що характеризують ступінь відхилення одержуваних розчинів від рівноважного стану, є показники рН та окисно-відновний потенціал (ОВП). Величина цих параметрів залежить від фізичних факторів процесу активації: сили струму, площі електродів і напруги на них, витрати рідини, тиску в зоні активації, а також від мінералізації розчину. Найважливішою перевагою ЕХА перед реагентними методами управління властивостями розчинів є те, що електрохімічний вплив не тягне за собою збільшення вмісту іонів в розчинах, не забруднює їх сторонніми речовинами, так як відбувається виключно завдяки обміну між електродами і розчином.

Для проведення досліджень ефективності застосування електроактивованої рідини (ЕАР) створено лабораторну установку, що обладнана магнітострикційним вібратором (МСВ). Так як метод дослідження на МСВ дозволяє досліджувати процеси, що відбуваються при кавітаційних руйнуваннях, з найбільшим наближенням до умов руйнувань на дизелях при зміні різних параметрів з мінімальною витратою часу [2].



Рисунок 1 – Фото експериментального стенду

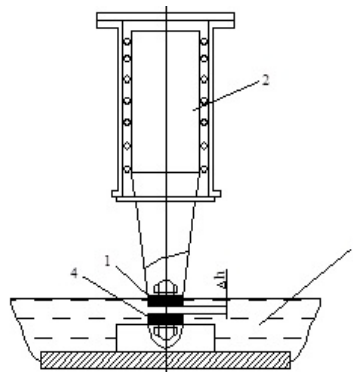


Рисунок 2 – Схема магнітострикційного вібратора : 1 – вібруючий зразок; 2 – МСВ; 3 – вода; 4 – нерухомий зразок

Сутність цього способу полягає в тому, що випробуваний зразок кріпиться на занурений у робочу рідину кінець концентратора, що здійснює поздовжні коливання з частотами від 5000 до 25000 Гц і більше з різними амплітудами (рис. 2). Коливання концентратора відбуваються під впливом змінного магнітного поля, створюваного обмоткою збудження [3, 4].

Схема лабораторної установки зображена на рис. 3 і включає наступні елементи: генератор ультразвукових коливань (1), магнітострикційний вібратор (2), випробувальну камеру (3), витратомір рідини (4), розширювальний бак (5), циркулярний насос (6), байпасний клапан (7) і нагрівальний елемент (8).

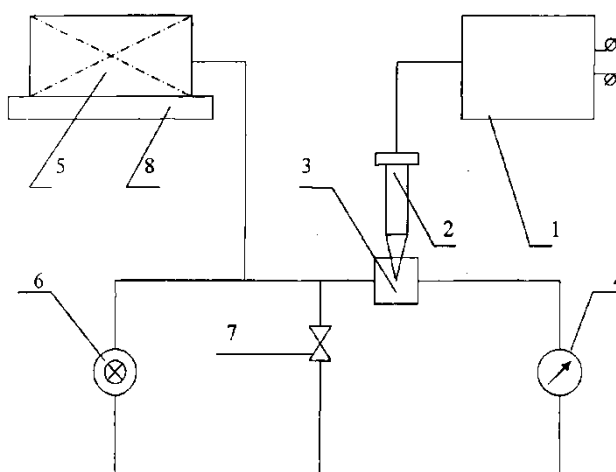


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки

Лабораторні випробування проводилися на зразках, виготовлених із сірого чавуну СЧ-24, попередньо відшліфованих і знежирених, з наступними параметрами: висота – 84,6 мм, ширина – 70 мм, товщина – 4 мм.

Моделювання умов корозійно-ерозійних процесів у системах охолодження здійснювалося у випробувальній камері, в яку вміщалися два випробовуваних зразка: «пасивний» і «активний». Активний зразок різьбового з'єднання жорстко закріплювався на концентраторі магнітострикційного вібратора, який створює поздовжні коливання з частотою 22 кГц. Зазор між пасивним і активним зразками становив 10 мм, що відповідає величині зарубашечного простору двигуна.

Таким чином, активний зразок імітував втулку циліндра, а пасивний – стінку блоку. Витрата води в контурі регулювалася зміною частоти обертання насоса та контролювалася витратоміром рідини.

Випробування зразків проводилися при варіюванні параметрів охолоджувальних середовищ від дистильованої води до активованого середовища з різними рН. Оцінкою ефективності використання електроактивованої рідини в експерименті слугувала втрата маси зразка за час одного дослід. Тривалість одного дослідів складала 200 хвилин, кожен дослід повторювався чотири рази.

В табл. 1 представлені середні значення по кожному експерименту.

Таблиця 1 – Результати експериментів

№ експерименту	Рідина, що використовувалась	Значення рН до експерименту	Маса активного зразка до експерименту, гр	Маса пасивного зразка до експерименту, гр	Значення рН після експерименту	Маса активного зразка після експерименту, гр	Маса пасивного зразка після експерименту, гр	Втрата маси активного за час експерименту, гр	Втрата маси пасивного за час експерименту, гр
1	Водопровідна вода	7,35	170,01	170,02	7,2	169,87	169,96	0,14	0,06
2	Дистиллят	7	169,66	163,17	6,85	169,58	163,12	0,08	0,05
3	ЕАР 1 (ЕАР отримана з водопров. води)	8,55	169,58	163,12	8	169,52	163,08	0,06	0,04
4	ЕОР 2 (ЕАР отримана з дистилляту)	9,37	169,44	162,82	8,7	169,41	162,8	0,03	0,02

Випробування зразків проводилися при варіюванні параметрів охолоджуючого середовища від водопровідної води до електроактивованої рідини з різними показниками рН.

Обробка результатів, зведених у табл. 2, здійснювалась з метою отримання регресійних моделей, адекватність яких перевірялася за допомогою критерію Фішера-Снедекора.

Таблиця 2 – Оцінка значення коефіцієнтів регресії і адекватності регресійної моделі величини зносу зразків в випробувальних охолоджуючих рідинах

№	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Величина параметра				Табличне значення
			ЕОР 1		ЕОР 2		
			Активний зразок	Пасивний зразок	Активний зразок	Пасивний зразок	
1	b ₀	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi}}{N}$	60	40	30	20	
2	b _i	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi} x_{iu}}{N}$	b ₁ = -12,52 b ₂ = -4,18	b ₁ = -1,65 b ₂ = 3,35	b ₁ = -4,175 b ₂ = -4,175	b ₁ = -3,325 b ₂ = -0,025	
3	b _{ij}	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi} x_{iu} x_{ju}}{N}$	b ₁₂ =0,83	b ₁₂ = 10	b ₁₂ =0,825	b ₁₂ = -1,675	
4	S _y ²	$\frac{\sum_{j=1}^N S_i^2}{N}$	0,61	1,2	2,04	1,1	
5	G	$S_{j\max}^2 / \sum_{j=1}^N S_i^2$	0,29	0,25	0,36	0,27	0,633
6	S _{ад} ²	$\frac{k \sum_{u=1}^N (m_{ju} - m_{роз})^2}{N(k-1)}$	1,01	3,25	13,2	4,03	
7	F	S_{ad}^2 / S_y^2	1,66	2,7	6,5	3,66	19,25

При побудові лінійних регресійних моделей розрахунок їх коефіцієнтів обмежувався тільки ефектом парної взаємодії, ефекти більш високих порядків не враховувалися. Таким чином, отримані моделі мають наступний вигляд:

$$m = b_0 + b_1 \cdot pH + b_2 \cdot Q + b_{12} \cdot pH \cdot Q;$$

– для активного зразка в ЕОР 1 (електроактивованій рідині, що отримана з водопровідної води, рН = 8,55):

$$m = 60 - 12,5 \cdot pH - 4,18Q + 0,83 \cdot pH \cdot Q$$

– для пасивного зразка в ЕОР 1 (електроактивованій рідині, що отримана з водопровідної води, рН = 8,55):

$$m = 40 - 1,65 \cdot pH + 3,35Q + 10 \cdot pH \cdot Q$$

– для активного зразка в ЕОР 2 (електроактивованій рідині, що отримана з дистильованої води, рН=9,37):

$$m = 30 - 4,175 \cdot pH - 4,175Q + 0,825 \cdot pH \cdot Q$$

– для пасивного зразка в ЕОР 2 (електроактивованій рідині, що отримана з дистильованої води, рН = 9,37):

$$m = 20 - 3,325 \cdot pH - 0,025Q - 1,675 \cdot pH \cdot Q$$

У зазначених виразах визначальним значенням є нульовий член (b_0), таким чином, з наведених регресійних рівнянь видно, що найбільша величина зносу як активного, так і пасивного зразка виникає в електроактивованій рідині отриманій з водопровідної води з рН 8,55. Величина зносу зразків у електроактивованій рідині отриманій з дистильованої води з рН 9,37 має менше значення. Знак коефіцієнтів регресії вказує на позитивний чи негативний вплив лінійного ефекту на результат досліду. Отже в різних електроактивованих рідинах вплив прийнятих в експерименті факторів проявляються по-різному, що є наслідком відмінності їх фізико-хімічних властивостей.

На рис. 4 зображений графік залежності температури від часу випробування. Відомим фактом є те, що при підвищенні температури змінюється рН, тому було досліджено зміну температури за часом експерименту. Даний графік підтверджує, що при проведенні експерименту необхідно враховувати збільшення температури охолоджуючої рідини.

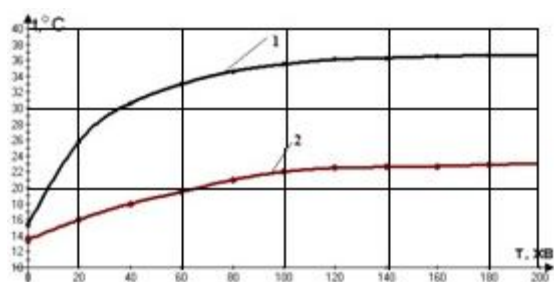


Рисунок 4 – Залежність температури від часу випробування: 1 – зміна температури робочої рідини при роботі генератора та насосу; 2 – зміна температури при роботі насосу

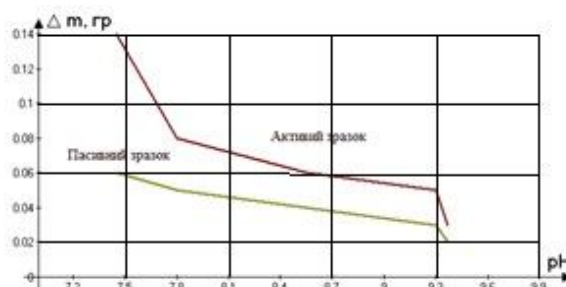


Рисунок 5 – Залежність швидкості корозії від рН

Рис. 5 підтверджує твердження про залежність швидкості корозії від рН. Зі збільшення рН на 2 одиниці втрата маси активного зразка зменшилась на 110 мг, пасивного зразка на 40 мг.

На рис. 6 показано зміну значення рН в залежності від тривалості проведення експерименту, що підтверджує теорію про релаксацію електроактивованих розчинів. Графік показує, що за 200 хвилин рН водопровідної та дистильованої рідин зменшилось на 0,15, а рН електроактивованих рідин на 0,67. Це означає, що приблизно через 200 хвилин необхідно повторно проводити електроактивацію охолоджуючої рідини, щоб підтримувати в системі охолодження умови, які зменшують корозійно-ерозійний вплив на деталі циліндро-поршневої групи.

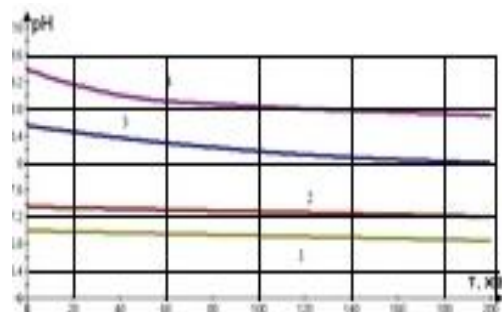


Рисунок 6 – Зміна рН в залежності від тривалості експерименту: 1 – водопровідна вода; 2 – дистилат; 3 – ЕОР отримана з водопровідної води; 4 – ЕОР отримана з дистилату

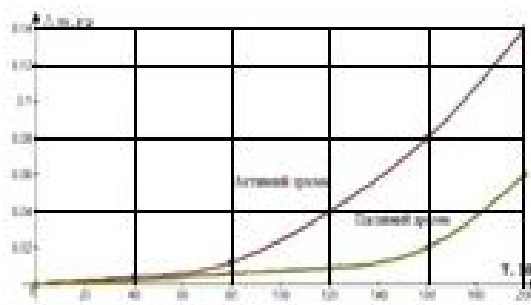


Рис. 7. Швидкість корозії зразків при випробуванні водопровідної води з рН 7,35

Наступні чотири графіки (рис. 7–10), описують швидкість корозії кожного з випробуваних зразків при використанні різних охолоджуючих рідин. Бачимо, що швидкість корозії при використанні водопровідної та дистильованої рідин з рН 7,35 та 7 відповідно значно більше ніж при використанні електроактивованих рідин. Особливо при випробуванні з електроактивованою охолоджуючою рідиною, що отримана з дистильованої води, з рН = 9,37, приблизно через 160 хвилин досліду випробуваний зразок перестає втрачати масу, тобто швидкість корозії зменшується.

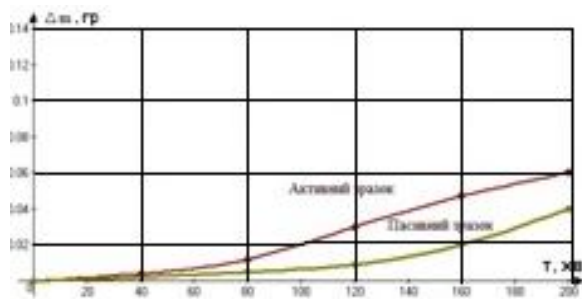


Рисунок 8 – Швидкість корозії зразків при випробуванні дистилату з рН 7

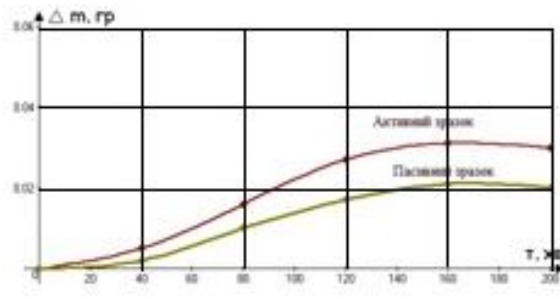


Рисунок 9 – Швидкість корозії зразків при випробуванні ЕОР з рН 8,55

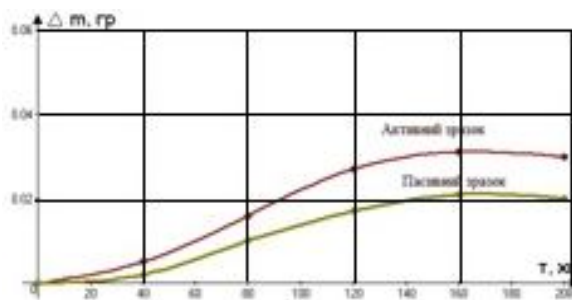


Рисунок 10 – Швидкість корозії зразків при випробуванні ЕОР з рН 9,37

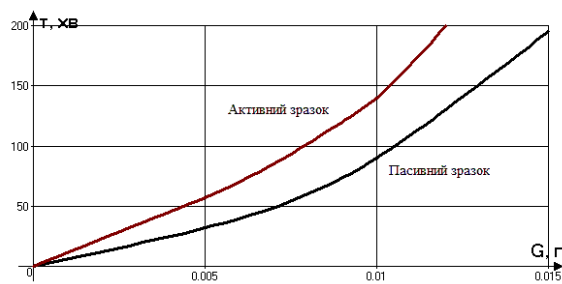


Рисунок 11 – Руйнування чавунних зразків з різною шорсткістю поверхні

У процесі випробувань, проведених на чавунних зразках із використанням магнітострикційного вібратора підтвердилося, що втрата маси зразків за один і той же проміжок часу зменшується зі зменшенням шорсткості поверхні рис. 11.

Висновки. Виявлено, що при значенні рН 9,37 і більше швидкість корозії зменшується, сталь практично не кородує, так як настає її пасивація. Отже, отримана електроактивована рідина володіє антикорозійними властивостями та захищає метал від кавітаційної ерозії, тобто здійснює комплексний захист теплообмінних поверхонь систем охолодження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницький І. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / І. В. Возницький, А. С. Пунда. – М. : Моркнига, 2008. – 470 с.
2. Иванченко Н. Н. Кавитационные разрушения в дизелях / Н. Н. Иванченко, А. А. Скуридин. – Л. : Машиностроение, 1970. – 152с.
3. Петрушенко І. Ю. Физико-химические свойства и биологическое действие водных растворов, полученных в мембранном электролизере : дис...канд. техн. наук / І. Ю. Петрушенко – М., 2002. – 173 с.
4. Прилуцкий В. И. Электрохимическая активированная вода : аномальные свойства и механизм биологического действия / В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир. – М., 1997. – 228с.

5. Сухотина А. М. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1989. – 456 с.

6. Шаманаева Е. А. Исследование процесса получения активированных жидких систем : дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Шаманаева Елена Анатольевна. – Ставрополь, 2005. – 209 с.

REFERENCES

1. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya. Tom 2. / I. V. Voznickiy, A. S. Punda. – M. : Morkniga, 2008. – 470 s.

2. Ivanchenko N. N. Kavitacionnihe razrusheniya v dizelyakh / N. N. Ivanchenko, A. A. Skuridin. – L. : Mashinostroenie, 1970. – 152s.

3. Petrushenko I. Yu. Fiziko-khimicheskie svoystva i biologicheskoe deystvie vodnykh rastvorov, poluchennykh v membrannom ehlektrolizere : dis...kand. tekhn. nauk / I. Yu. Petrushenko – M., 2002. – 173 s.

4. Priluckiy V. I. Ehlektrokhimicheskaya aktivirovannaya voda : anomalnihe svoystva i mekhanizm biologicheskogo deystviya / V. I. Priluckiy, V. M. Bakhir. – M., 1997. – 228s.

5. Sukhotina A. M. Korroziya i borjba s neyj. Vvedenie v korrozionnuyu nauku i tekhniku / A. M. Sukhotina. – L. : Khimiya, 1989. – 456 s.

6. Shamanaeva E. A. Issledovanie processa polucheniya aktivirovannykh zhidkikh sistem : dis. kand. tekhn. nauk: 05.18.12 / Shamanaeva Elena Anatoljevna. – Stavropolj, 2005. – 209 s.

Семенов Н.Н., Шаповалов Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ ЖИДКОСТИ НА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В данной статье проведено теоретическое и практическое исследования разных способов снижения интенсивности коррозионно-эрозионных разрушений поверхностей втулок цилиндров дизелей. Выявлено, что наиболее эффективным и относительно малозатратным способом повышения эрозионно-коррозионной стойкости поверхностей охлаждения ДВЗ являются эксплуатационные, к которым, прежде всего, принадлежит качественная подготовка охлаждающей жидкости. Доказано, что улучшение качества охлаждающей жидкости возможно за счет увеличения водородного показателя к оптимальным значениям путем использования методов рН - коррекции, а именно – с помощью увеличения значения рН методом электрохимической активации. Проведен анализ методов воздействия рН охлаждающей жидкости на коррозионно – эрозионные процессы в элементах энергетических установок, и избрано для дальнейших исследований метод с применением магнитострикционного вибратора, который нашел наиболее широкое применение и позволяет исследовать процесс с наибольшим приближением к условиям разрушений на дизелях при смене разных параметров с минимальной затратой времени. Для проведения исследований эффективности применения электроактивированной жидкости была создана лабораторная установка с магнитострикционным вибратором. Разработаны математические модели зависимости величины коррозионно-эрозионных разрушений образцов от показателя рН при разных значениях температуры и расхода охлаждающей жидкости. Выявлено, что при величине рН 9,37 и больше скорость коррозии уменьшается, сталь практически не корродирует, так как наступает ее пассивация. Результаты исследования, возможно, использовать при проектирование систем охлаждения двигателей энергетических установок стационарных и мобильных объектов.

Ключевые слова: электроактивации, электроактивированная охлаждающая жидкость, кавитация, коррозия, водородный показатель.

Semenov M.M., Shapovalov Yu.O. STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LIQUID ELECTROACTIVATION SYSTEM FOR COOLING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

In this paper, a theoretical and practical study of different ways to reduce the intensity of corrosion-erosion surfaces of cylinder liners destruction of diesel engines. It was found that the most effective and relatively low-cost ways to improve the erosion-corrosion resistance of the cooling surface ISE are operational, which primarily owns high-quality preparation of the coolant. It is proved that the improvement of the quality of the coolant is possible by increasing the pH value to the optimum values by using the methods of pH – correction, namely by increasing the pH by electrochemical activation. The analysis of methods to influence the pH of coolant corrosion – erosion processes in the elements of power plants, and chosen for further research method using magnetostriction vibrator which found the most widely used and allows you to explore the process with the greatest approximation to the conditions of destruction on diesel engines by changing various parameters minimal time. To research the effectiveness of liquid elektroaktivition was created laboratory setup with magnetostriction vibrator. The mathematical models of the dependence of the corrosion-erosion destruction of the samples at different pH values of the temperature and flow rate of the coolant. It was found that at pH 9.37 and more corrosion rate decreases, the steel does not corrode nearly as it comes passivation. The findings may be used in the design of cooling systems of power plants stationary and mobile objects.

Keywords: electrochemical, electrochemical coolant, cavitation, corrosion, pH value.

© Семенов М. М., Шаповалов Ю. О.

Статтю прийнято
до редакції 14.10.15

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ В СИСТЕМАХ ПРЕЦИЗИОННОГО ВОЖДЕНИЯ

Васюхин М.И.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев;

Касим А.М., Долынный В.В., Иваник Ю.Ю.

Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев

В статье представлены методы распознавания и формирования двумерных изображений символов воздушных, наземных и космических объектов. Процесс распознавания и проектирования сложного символа динамического объекта происходит с учетом его типа, структуры построения и функционального назначения.

Ключевые слова: *движущийся объект, навигационная геоинформационная система реального времени, прецизионное земледелие, двумерное изображение, картографический фон.*

Вступ. В эру компьютерных технологий, приоритетным направлением повышения эффективности агропромышленного комплекса является точечное или прецизионное земледелие (point or precision agriculture) [1–5]. Эта технология обеспечивает значительный рост урожайности и устойчивое повышение качества почв и относится к ресурсосберегающим, экологически чистым технологиям сельскохозяйственного производства, широко применяемым развитыми странами. В состав систем точного земледелия входят системы и средства космического (GPS-, метео- и ДЗЗ-спутники), воздушного (самолеты, беспилотные летательные аппараты) и наземного (тракторы, комбайны) базирования, интеллектуальным ядром которых является навигационная геоинформационная система реального времени (ГИС РВ). Эта система осуществляет обработку и анализ данных дистанционного мониторинга, включая аэро- и космо- снимки, данных агрохимических исследований, генерирует электронные карты разного масштаба, в том числе тематической направленности, обеспечивает точную пространственную привязку и отображение на картографическом фоне символов движущихся в околоземном пространстве объектов в реальном времени.

Постановка задачи. Конечным результатом переработки информации в навигационной ГИС реального времени (РВ) является экранное отображение сформированных динамических сценариев, представляющих навигационную ситуацию на сельскохозяйственных участках. На основе наблюдаемой картины динамического сценария (ДСЦ) оператор должен получать данные о текущей обстановке в удобной, сжатой и скоординированной форме, которая, кроме того, точно и полно обеспечивает ее представление. Анализ литературных источников [6–7] показал, что наибольшее развитие получили модели и методы построения динамических сценариев для отображения воздушной обстановки в аэронавигационных системах. Тогда как наземные и космические объекты, как правило, отражаются с помощью примитивных фигур: крестиков, стрелок, точек и т.д., что не обеспечивает адекватное представление и восприятие оператором окружающей обстановки в районах движения таких объектов. Поэтому возникает актуальная задача разработки методов проектирования сложных символов подвижных объектов для всех трех типов базирования: космического, воздушного и особенно наземного.

Основное содержание. Сценарий есть структурированное представление, описывающее последовательность событий в ситуативном контексте. При этом объекты сценария связаны единым отношением строгого или нестрогого порядка с разной семантикой («причина-следствие», «цель-подцель», «часть-целое») [6]. Сценарий состоит из последовательности сцен, каждая из которых представляет зрительный образ текущей ситуации в околоземном пространстве и привязана к временным интервалам.

Сценарии задаются в виде фреймоподобных структур:

<Сценарий: название

роли: список ролей (участники сценария)

цель: ключевое событие сценария, послышки и последствия ключевого события

сцена 1: наименование сцены

(Ход сцены)

сцена 2: наименование сцены

(Ход сцены) (место, время проведения сценария, побочные эффекты)

сцена N: наименование сцены

(Ход сцены)>.

Важным этапом процесса построения динамического сценария является подготовка библиотеки символов подвижных объектов, которая обеспечивала бы адекватное их представление на всех уровнях околоземного пространства, рис. 1.

Создание такой библиотеки требует учета требований [8] к отображению соответствующих типов техники предметной области, движущейся в околоземном пространстве и отображающейся на экране оператора, по типам и функциональному назначению табл. 1. Отображение околоземного пространства предлагается представлять на трех уровнях: космическом (космические аппараты), воздушном (самолеты, вертолеты, беспилотные летательные аппараты), наземном (сельскохозяйственная техника различного назначения).

На космическом уровне отображаются космические объекты, осуществляющие дистанционный мониторинг Земли, метеоспутники и спутники из созвездий ГЛОНАСС и GPS; на воздушном осуществляется визуализация и управление движением самолетов и других летательных аппаратов, а на наземном ставится задача отслеживания, управления и регулирования технологическими операциями.

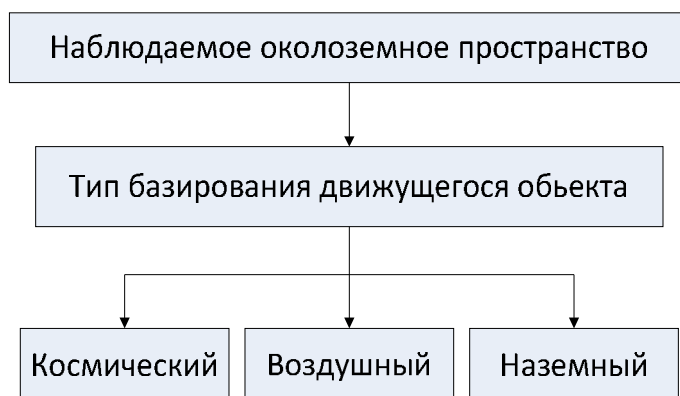


Рисунок 1 – Схема сфер разделения околоземного пространства на уровни визуализации

Изображение движущихся объектов в виде сложных символов дает возможность человеку-оператору иметь более полное представление, к какому типу они относятся и какую функцию выполняют. Анализируя динамический сценарий человек-оператор по изображению символа объекта устанавливает его принадлежность к определенному уровню визуализации, например, является ли объект спутником, комбайном или дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом.

Для решения задачи распознавания и отображения движущихся воздушных объектов в рамках функционирования навигационной ГИС ТЗ предлагается подход, изложенный в работе [9]. Суть данного подхода заключается в формировании двумерного квазиоптического изображения воздушного объекта по радиолокационными данными, которое подается в виде функции:

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^N S_i(x, y) P_i(x, y) \quad (1)$$

где: $i = \overline{1, N}$ – число элементов объекта; $S_i(x, y)$ – изображение i -го элемента объекта; $P_i(x, y)$ – функция размещения i -го элемента объекта ($S_i(x, y)$).

Для проектирования такого символа самолета необходимо определить количество и типы его элементов, а также их взаимное расположение. Для этого выделяются [6, 7] следующие элементы самолета как составляющие изображения его символа $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$, которые влияют на качество восприятия и распознавания:

- $S_1 = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}\}$ – носовая часть пяти типов: конусообразная, конусообразная с закругленным концом, типа усеченного конуса, цилиндрическая с закругленным концом и носовая часть с винтом;

- $S_2 = \{S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{25}\}$ – крыло пяти типов: треугольное, стреловидное, трапециевидное, «летающее крыло» и крыло у самолетов, которые сконструированы по схеме «утка»;

- $S_3 = \{S_{31}, S_{32}, S_{33}, S_{34}\}$ – хвостовая часть четырех типов: с трапециевидным оперением, со стреловидным оперением, двохкилевая и без руля высоты;

- $S_4 = \{S_{41}, S_{42}\}$ – тип двигателя соответственно двух типов: реактивный и винтовой.

Функция размещения i -го элемента объекта $P_i(x, y)$ определяет его расположение относительно других элементов объекта. Как показал анализ публикаций [6, 7], функция $P_i(x, y)$ аналогична для всех типов указанных элементов самолетов $S_i(x, y)$ (для $i = \overline{1, N}$), за исключением S_4 , то есть корда $i = 4$. Значит для S_4 необходимо определить $P_i(x, y)$. Самолеты каждого из выделенных типов двигателей S_{41} и S_{42} могут иметь различное их расположение. Так, для самолетов с реактивным двигателем S_{41} существует четыре варианта его расположения: $P_{41} = \{P_{411}, P_{412}, P_{413}, P_{414}\}$ – соответственно в фюзеляже, на крыле, в хвостовой части фюзеляжа, и в средней части фюзеляжа. А для самолетов с винтовым двигателем S_{42} допускается два варианта расположения двигателей: $P_{42} = \{P_{421}, P_{422}\}$ – соответственно впереди и на крыле.

Отображение космических объектов в динамическом сценарии навигационной ГИС носит номинальный характер, ведь визуализация перемещения спутников не имеет принципиального значения для технологии прецизионного земледелия, а может даже содержательно перегружать динамическую сцену и отвлекать оператора. Более важными для навигационной ГИС ТЗ являются результаты деятельности космических объектов в виде снимков высокого разрешения.

Модель двумерного квазиоптического изображения космического объекта предлагается, по аналогии с воздушными объектами, представить в виде множества:

$$F(x, y) = \langle F_{мет}(x, y), F_{GPS}(x, y), F_{ДЗЗ}(x, y) \rangle \quad (2)$$

Предлагается строить символы для отображения космического аппарата в зависимости от его функционального назначения:

$F_{мет}$ – для метеоспутника, F_{GPS} – для спутников, обслуживающих сеть GPS, $F_{дзз}$ – для спутника, осуществляющего дистанционное зондирование Земли.

Анализ литературных источников показал [8], что движущиеся объекты, которые выполняют агротехнические и вспомогательные операции классифицируют на 17 групп по их типам и функциональному назначению. Проанализировав данную классификацию предлагается, с точки зрения упрощения процесса распознавания и формирования символов в навигационной ГИС РВ, было принято решение, в рамках эксперимента, сократить и условно разделить сельскохозяйственные машины на 3 группы: грузовики, комбайны и тракторы. Очевидно, что строение грузового автомобиля не имеет существенного значения для мониторинга и управления сельскохозяйственными операциями, поэтому в библиотеке символов предполагается одно стандартное изображение грузовика. Для отображения символов тракторов и комбайнов предлагается классифицировать их по функциональному назначению и типу двигателя, и на основе этой классификации отображать их в виде множества для создания соответствующих векторных символов.

$$D(x, y) = \left\langle D_{внт}(x, y); \sum_{i=1}^N D_{трк}(x, y), c_n; \sum_{i=1}^N D_{кмб}(x, y), c_n \right\rangle \quad (3)$$

Основным элементом строения трактора, существенно влияющего на проектирование его символа является тип двигателя:

$D_{1трк}$ – гусеничный; $D_{2трк}$ – полугусеничный; $D_{3трк}$ – колесный.

Колесные агрегаты, в свою очередь, объединим в множество в зависимости от количества и проходимости колес: $D_{3трк} = \{D_{31трк}, D_{32трк}, D_{33трк}\}$, где: $D_{31трк}$ – 3К2; $D_{32трк}$ – универсальные 4К2; $D_{33трк}$ – повышенной проходимости 4К4.

В данном обозначении первая цифра показывает общее число колес, а вторая – сколько из них ведущих.

Для быстрого распознавания оператором символа с точки зрения его функционального назначения, предлагается введение соответствующего коэффициента цвета – с (табл. 1). Выбор цвета символа обусловлен его контрастностью на фоне тематической карты.

Таблица 1 – Принципы выбора цвета символа сельскохозяйственного агрегата в соответствии с его функциональным назначением

Трактори		
	Обозначение	Цвет
Общего назначения	c1	Черный
Специальные	c2	Красный
Универсально-пропашные	c3	Коричневый
Комбайны		
Универсальные	c1	Черный
Специальные	c2	Красный

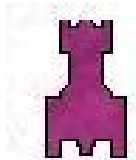
Таким образом предлагается модель совокупности символов динамических объектов для трех типов базирования в околоземном пространстве:

$$S_{np} = \left\langle \sum_{i=1}^N S(x, y); \sum_{i=1}^N F(x, y); \sum_{i=1}^N D(x, y) \right\rangle, \quad (3)$$

где: S, F, D – символы соответственно воздушного, космического и наземного базирования, $a(x, y)$ – координаты их местоположения в пространстве в двухмерной системе координат.



а) самолет



б) трактор универсально
пропашной



в) комбайн специального
назначения

Рисунок 2 – Примеры сложных символов объектов воздушного и наземного пространства

Выводы:

1. Представлена технология распознавания и формирования сложного двумерного изображения символов космических, воздушных и наземных объектов, что дает возможность повысить качество представления и восприятия текущей обстановки на экране и адекватность принятых решений оператором.

2. Предложены методы формирования динамических сценариев для отображения текущей обстановки в районах движения космических, воздушных, наземных и надводных объектов, необходимых при построении навигационной ГИС реального времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аніскевич Л. В. Навігація і управління рухом безпілотних польових машин / Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк, Ф. М. Захарін – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М.М., 2012. – 96 с.
2. Гарам В. П. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві / В. П. Гарам, А. О. Пашко // Наука та інновації. – 2005. – Т.1. – № 2. – С. 110-116.
3. Ткаченко О. М. Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень у рослинництві як складова системи електронного дорадництва // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2012. – №10. – С.189-198.
4. Васюхін М. І. Технологія отримання картографічних даних для геоінформаційної системи прецизійного землеробства / М. І. Васюхін, О. М. Ткаченко, А. М. Касім, В. В. Долинний, Ю. Ю. Іваник // Проблеми інформаційних технологій. – 2014. – №1 (015). – С.64-69.
5. Korzeniowski L.F. (2012), Podstawy nauk o bezpieczeństwie, Warszawa, Difin. Černoch F., Kister Ł., Ocelík P., Osička J., Smyrgała D., Zapletalová V. (2012), Shale Gas in Poland and the Czech Republic: Regulation, Infrastructure and Perspectives of Cooperation, Brno, Masaryk University in Brno, International Institute of Political Science. Доступ по адресу: http://www.iips.cz/data/files/Publikace/Shale_Gas.pdf, [20.04.2015].
6. Касім А.М. Методи та засоби формування динамічних сценаріїв в навігаційно-керувальних комплексах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Касім Аніса Мохаммадівна. – К., 2013. – 217 с.

7. Данилюк І. А. Метод та засоби відновлення квазіоптичних зображень літаків в експертній системі комплексної обробки вимірювальної інформації: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» / І. А. Данилюк. – Одеса, 2001. – 20 с.

8. Трактори, мобільні навантажувальні машини та причеми : посібник / М. В. Присяжнюк, С. І. Мельник, І. В. Якубович, О. та ін.; Укр. НДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. вир-ва ім. Л.Погорілого. – Дослідн, 2010. – 176 с.

9. Козак Ю. А. Синтез квазиоптических изображений самолетов по данным радиолокационных средств / Ю. А. Козак, А. Б. Куприянов, И. А. Данилюк // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – № 3 (12). – С. 123-126.

REFERENCES

1. Aniskevich L. V. Navigaciya i upravlinnya rukhom bezpilotnikh poljovikh mashin / L. V. Aniskevich, D. G. Voytyuk, F. M. Zakharin – Nizhin : Vidavecj PP Lisenko M.M., 2012. – 96 s.

2. Garam V. P. Suchasne upravlinnya agrotekhnologichnim procesom u roslinnictvi / V. P. Garam, A. O. Pashko // Nauka ta innovacii. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 110-116.

3. Tkachenko O. M. Informacijno-analitichna sistema pidtrimki priyinyattya rishenj u roslinnictvi yak skladova sistemi elektronnoho doradnictva // Komp'yuterno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnictvo. – 2012. – № 10. – С. 189-198.

4. Vasyukhin M. I. Tekhnologiya otrimannya kartografichnikh danikh dlya geoinformacijnoї sistemi precizijnoho zemlerobstva / M. I. Vasyukhin, O. M. Tkachenko, A. M. Kasim, V. V. Dolinnij, Yu. Yu. Ivanik // Problemi informacijnikh tekhnologij. – 2014. – №1 (015). – С. 64-69.

5. Korzeniowski L.F. (2012), Podstawy nauk o bezpieczenstwie, Warszawa, Difin. Cernoch F., Kister L., Ocelik P., Osicka J., Smyrgala D., Zapletalova V. (2012), Shale Gas in Poland and the Czech Republic: Regulation, Infrastructure and Perspectives of Cooperation, Brno, Masaryk University in Brno, International Institute of Political Science. Dostup po adresu: http://www.iips.cz/data/files/Publikace/Shale_Gas.pdf, [20.04.2015].

6. Kasim A.M. Metodi ta zasobi formuvannya dinamichnikh scenariiv v navigacijno-keruval'nikh kompleksakh: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06 / Kasim Anisa Mokhammadivna. – K., 2013. – 217 s.

7. Danilyuk I. A. Metod ta zasobi vidnovlennya kvazioptichnikh zobrazhenj litakiv v ekspertnijj sistemi kompleksnoї obrobki vimiryuval'noї informacii: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spec. 05.13.06 «Інформаційні технології» / І. А. Данілюк. – Одеса, 2001. – 20 с.

8. Трактори, мобільні навантажувальні машини та причеми : посібник / М. В. Присяжнюк, С. І. Мельник, І. В. Якубович, О. та ін.; Укр. НДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. вир-ва ім. Л.Погорілого. – Дослідн, 2010. – 176 с.

9. Kozak Yu. A. Sintez kvaziopticheskikh izobrazhenijj samoletov po dannihm radiolokacionnikh sredstv / Yu. A. Kozak, A. B. Kupriyanov, I. A. Danilyuk // Trudih Odesskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2000. – № 3 (12). – С. 123-126.

Васюхін М.І., Касім А.М., Долинний В.В., Іваник Ю.Ю. МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СЦЕНАРІЇВ В СИСТЕМАХ ПРЕЦИЗІЙНОГО ВОДІННЯ

У статті представлені методи розпізнавання і формування двовимірних зображень символів повітряних, наземних і космічних об'єктів. Процес розпізнавання та проектування складного символу динамічного об'єкту відбувається з урахуванням його типу, структури побудови та функціонального призначення.

Ключові слова: рухомий об'єкт, навігаційна геоінформаційна система реального часу, прецизійне землеробство, двовимірне зображення, картографічний фон.і

Vasyuhin M.I., Kassim A.M., Dolynny V.V., Ivanyk I.I. METHODS OF FORMING DYNAMIC SCENARIO IN THE PRECISION DRIVING SYSTEMS

The paper presents the methods forming of two-dimensional images of characters air, ground and space objects. The process of identification and design of complex dynamic character of the object is given its type, structure, construction and functionality.

Keywords: a moving object, a real-time navigation Geographic Information System, precision agriculture, a two-dimensional image, mapping background.

© Васюхін М. І., Касім А. М., Долинний В. В., Іваник Ю. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.15

УДК 629.05

СПОСІБ ПРИСКОРЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ НА ЦИФРОВІЙ МОДЕЛІ КАРТИ

Доронін В.В.

*Київська державна академія водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного,*

Алєйніков М.В.

ТОВ «Южное речное пароходство», г. Херсон

Стаття присвячена актуальній проблемі, що стосується точного теоретичного аналізу та критеріїв щодо динаміки відображення на електронній карті наближення до лімітуючих обставин за критеріями безпеки руху водного транспорту.

Проведений аналіз проблеми відсутності комплексної автоматизації розв'язування найбільш важливих навігаційних завдань показав, що даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками обробки картографічної інформації. Запропоновано спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти, який включає математичне розв'язування задачі автоматичного отримання даних до лімітуючих обмежень навігації, складання алгоритму і розробку схеми вимірювання швидкості зміни навігаційної функції способом синхронного детектування.

Отримані показники ефективності запропонованого методу автоматизації показують збільшення ймовірності безпечного плавання до 97 %.

Ключові слова: безпека судноплавства, інформаційні технології, електронна карта, градієнт функції, матриця параметрів, Inland ECDIS.

Вступ. Сучасний етап розвитку інтелектуальних технічних засобів характеризується розвитком морської електронної картографії, створенням суднових автоматизованих систем і приладів, які дозволяють відображати на електронному екрані місце судна і навігаційно-гідрографічну інформацію. Мета створення цих систем – докорінно покращити організацію роботи судноводіїв, підвищити її ефективність та знизити аварійність на водному транспорті.

Внутрішні водні шляхи (ВВШ) України це складні в навігаційному відношенні райони, для яких характерні такі об'єкти, як мости, дамби, кілометрові покажчики, річкові інформаційні знаки, шлюзові камери і ворота, лінії електропередач і трубопроводи, облицьовані ділянки берегового схилу і дна, плавучі казино, ресторани та інші об'єкти для відпочинку, що знаходяться на плаву. Це формує підвищені вимоги щодо точності і надійності річкового судноводіння [6]. Дії судноводія під час виконання рейсу судна з використанням традиційних методів роботи з паперовими навігаційними картами, посібниками та керівництвами для плавання роблять цей процес досить трудомістким.

Практична спроба експлуатації засобів електронно-картографічної інтелектуалізації на ВВШ України виявила цілий ряд невирішених питань, пов'язаних з відсутністю комплексної автоматизації розв'язування найбільш важливих навігаційних завдань, що в кінцевому результаті впливає на безпеку руху та ефективну експлуатацію водного транспорту. Даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками обробки навігаційних даних цифрової моделі карти засобами електронно-картографічної інтелектуалізації. Не розкриті в повному обсязі і науково не обґрунтовані шляхи вирішення таких питань, як неможливість своєчасного, відповідно до швидкості судна, відображення наближення до лімітуючих обставин за критеріями безпеки руху. Це підтверджується багатьма публікаціями, кількість яких останнім часом знову зростає, так як, не дивлячись на складність та існуючі проблеми, стала очевидною користь, яку можна отримати шляхом автоматизації попереджувального відображення безпечної області навігації до позиції судна.

Мета роботи полягає у розробці інформаційних технологій (IT) для розв'язування задач автоматизації процесу судноводіння щодо введення в Inland ECDIS адаптивного режиму попереджувального відображення безпечної області навігації до позиції судна. Дана

мета може бути досягнута за умов здійснення математичної обробки масиву даних, які містяться в ENC.

Постановка задачі. Використання системної технології розв'язку оперативних задач використання засобів електронно-картографічної інтелектуалізації для синтезу законів експлуатації водного транспорту.

Проблемні ситуації під час руху ВТЗ на ВВШ України потребують усунення протиріччя та конфліктів, що притаманні традиційним технологіям використання даних Inland ECDIS та впровадження новітніх методів ІТ.

Основний матеріал. Для обґрунтування введення в Inland ECDIS адаптивного режиму попереджувального відображення безпечної області навігації до позиції судна позначимо навігаційний параметр у вигляді:

$$U = f(\varphi, \lambda)$$

Введемо позначення:

D – дистанція до лімітуючих обмежень руху,

Π – напрямок на лімітуючі обмеження руху,

β, α – вертикальний і горизонтальний кут до лімітуючих обмежень (мости, ЛЕП).

Множина U утворює скалярне поле цих параметрів на ENC, і так як координати лімітуючих обмежень руху відомі, то множина значень U визначає навігаційну функцію, тобто залежність U від координат місця судна. У локальній системі координат векторної карти можна записати $U = f(x, y)$.

При $U = U_0 = \text{const} \Rightarrow U_0 = f(\varphi, \lambda) = \text{const}$ – рівняння навігаційної ізолінії (HI).

Введемо характеристику навігаційної функції – *вектор-градієнт* g , який характеризує максимальну швидкість зміни навігаційної функції, тобто швидкість зміни U , в конкретній точці.

U змінюється швидше у напрямку n , яке є перпендикулярним до дотичної HI в точці знаходження судна. Іншими словами, градієнт спрямований по нормалі n до HI. Напрямок градієнта g умовно приймається в бік збільшення U .

$$g = \left(\frac{dU}{dx}, \frac{dU}{dy} \right) = \sqrt{\left(\frac{dU}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dU}{dy} \right)^2} = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}, \quad \tau = \arctg\left(\frac{g_y}{g_x} \right), \quad (1)$$

де g_x, g_y – проекції g на координатні осі, τ – напрямок g .

На рис. 1 представлена ілюстрація градієнта навігаційної функції U .

Для знаходження модуля вектора градієнта обчислимо похідну від U по нормалі n

$$g = \frac{dU}{dn},$$

де g – модуль градієнта.

Використання навігаційної функції відстані до лімітуючих обмежень навігації $D(x, y)$. На рис. 2 представлена навігаційна функція $D(x, y)$ у вигляді поля ізостадій.

D – відстань до лімітованих обмежень навігації. З рис. 3 $\Rightarrow D = \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2}$.

Виходячи з (1) обчислений модуль і напрямок градієнта відстані g_D у місці знаходження судна матиме вигляд

$$\frac{dD}{dx} = \cos \Pi, \quad \frac{dD}{dy} = \sin \Pi, \quad g_D = 1, \quad \tau = \Pi \pm 180^\circ.$$

Модуль градієнта відстані безрозмірний і спрямований у напрямку на лімітуючі обмеження руху в бік збільшення дистанції D . Знак «+» при визначенні τ_D приймається, якщо $\Pi < 180^\circ$; а знак «-» – якщо $\Pi > 180^\circ$.

Переміщення у напрямку на лімітуючі обмеження руху судна, тобто по нормалі n до ізостадії на величину Δl , дорівнюватиме зміні відстані ΔD (рис. 4).

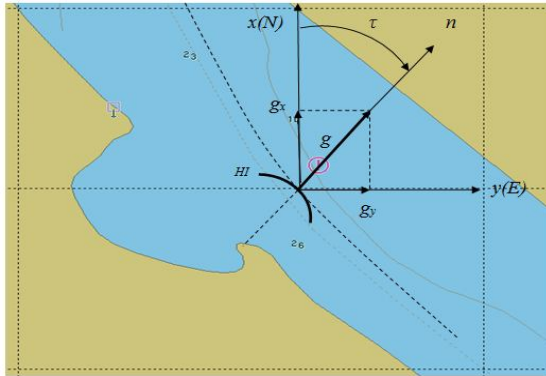


Рисунок 1 – Градієнт навігаційної функції U

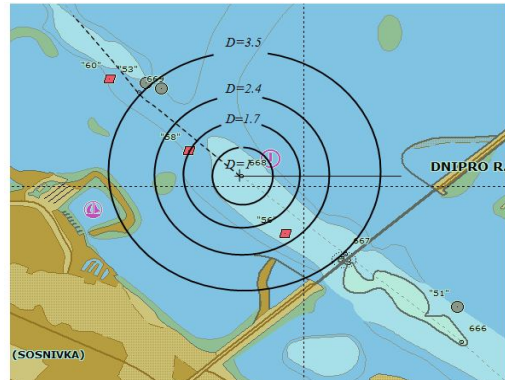


Рисунок 2 – Ізолінії навігаційної функції $D(x, y)$

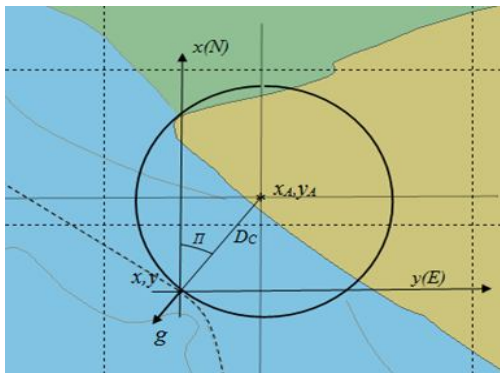


Рисунок 3 – Ізолінія і градієнт відстані

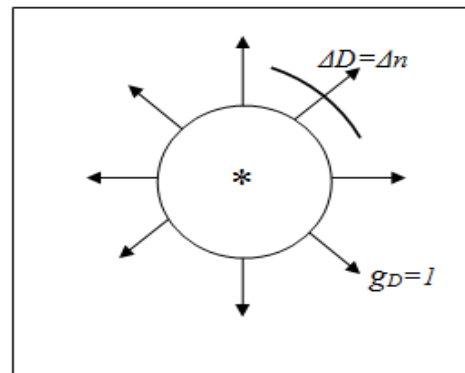


Рисунок 4 – Векторне поле g_D функції $D(x, y)$

Використання навігаційної функції напрямку до лімітуючих обмежень навігації. На рис. 5, 6 представлені графічна функція і поля градієнтів напрямків до лімітуючих обмежень навігації у вигляді множини HI .

$$\operatorname{tg} \Pi = \frac{y_A - y}{x_A - x} \Rightarrow \Pi = \operatorname{arctg} \frac{y_A - y}{x_A - x}$$

$$\frac{d\Pi}{dx} = \left[(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2 \right]^{-1} (y_A - y)$$

$$\frac{d\Pi}{dy} = \left[(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2 \right]^{-1} (x_A - x)$$

$$g_{\Pi} = \frac{1}{D}, \quad \tau_{\Pi} = \Pi - 90^\circ. \quad (2)$$

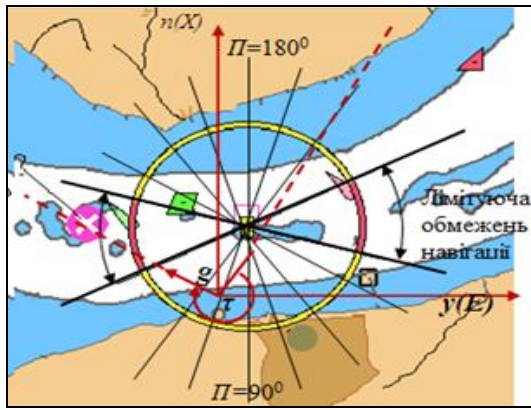


Рисунок 5 – HI і градієнт навігаційної функції напрямку P до лімітуючих обмежень навігації

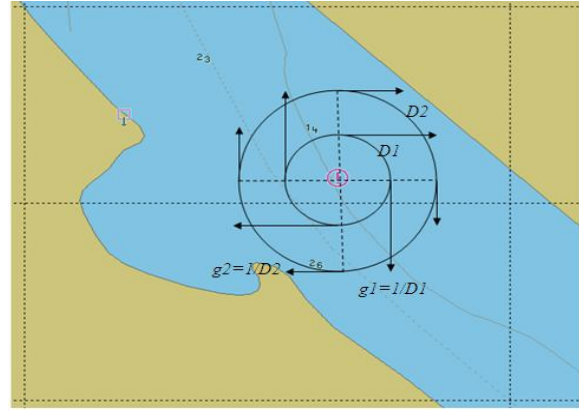


Рисунок 6 – Поля градієнтів напрямків до лімітуючого обмеження навігації

Модуль градієнта є величиною, оберненою до відстані лімітуючих обмежень навігації. Напрямок градієнта вибирається перпендикулярно до лінії напрямку, тобто по нормалі n у бік збільшення напрямку. При $K = \tau \Rightarrow P$ – збільшується.

$$\text{Одиниці модуля градієнта (2)} \Rightarrow \text{рад/миля}, \quad g = \frac{dP}{dn} = \frac{57,3^\circ}{D} \Rightarrow ^\circ/\text{миля}.$$

Використання навігаційної функції вертикального кута до лімітуючих обмежень навігації. Висота лімітуючих обмежень навігації на ENC відома, тому визначеному вертикальному куту β відповідає визначена відстань на ENC.

$$\text{НП є кут } \beta, \text{ HI – коло, тоді } \beta = \text{arcctg} \left(\frac{D}{h} \right) \Rightarrow D = h \text{ctg } \beta.$$

$$\frac{d\beta}{dx} = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{H^2}} = \frac{x_A - x}{\sqrt{(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2}} = \frac{H(x_A - x)}{(H^2 + D^2) \cdot D} \quad (3)$$

$$\frac{d\beta}{dy} = \frac{H(y_A - y)}{(H^2 + D^2) \cdot D}.$$

$$g = \sqrt{\frac{H^2 \left((x_A - x)^2 + (y_A - y)^2 \right)}{(H^2 + D^2)^2 D^2}} = \frac{H}{H^2 + D^2} \quad (4)$$

$$\tau = \text{arcctg} \left(\frac{y_A - y}{x_A - x} \right) = P_A.$$

Аналіз формул (3), (4), дозволяє зробити висновок: модуль вектора градієнта вертикального кута збільшується при наближенні до лімітуючого обмеження навігації, а його напрямок співпадає з напрямком на нього.

На рис. 7 представлена навігаційна функція β у вигляді сітки ізоліній, проведених через рівні інтервали $\Delta\beta$. З наближенням до лімітуючого обмеження навігації збільшується модуль градієнта функції (при $g \neq 1$). $\beta_3 > \beta_2 > \beta_1$, $\beta_1 = \text{const}$, $\beta_2 = \text{const}$, $\beta_3 = \text{const}$.

Аналогічно обґрунтовуються використання навігаційної функції горизонтального кута до лімітуючих обмежень навігації. d – база між точками ENC. HI є ізогона з центром у точці O .

$$R = \frac{d}{2 \sin \alpha} = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} \Rightarrow \alpha = \arcsin \left[\frac{d}{2 \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}} \right]$$

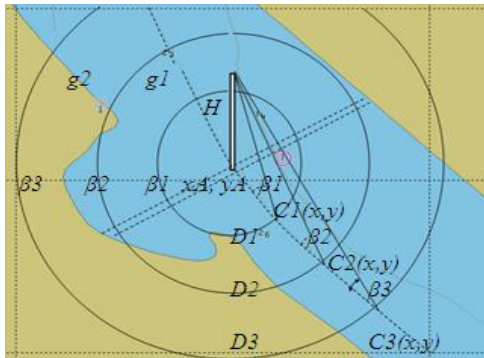
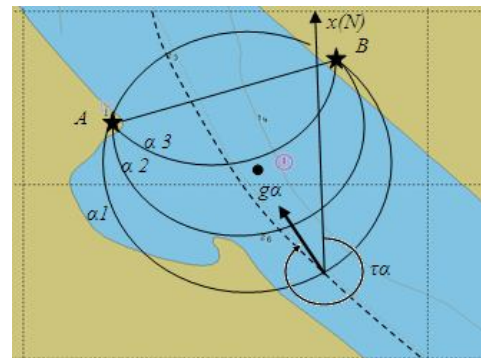
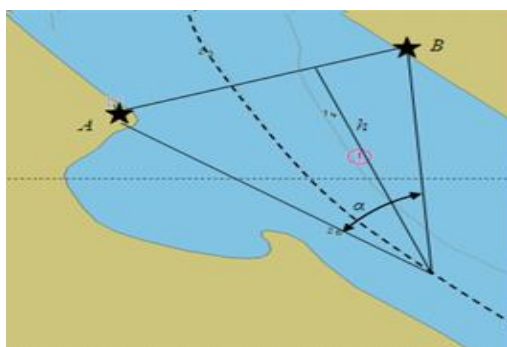
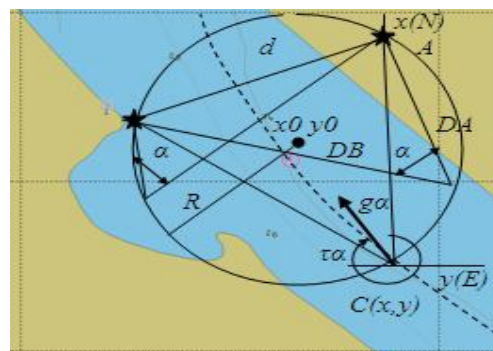
$$\alpha = \Pi_A - \Pi_B \Rightarrow \bar{g}_\alpha = \bar{g}_{\Pi_A} - \bar{g}_{\Pi_B}$$

$$\bar{g}_\alpha = \left(\frac{d\alpha}{dx} \right) = \left(\frac{d\Pi_A}{dx} \right) - \left(\frac{d\Pi_B}{dx} \right) = \left(\frac{d\Pi_A}{dy} - \frac{d\Pi_B}{dy} \right)$$

$$\frac{d\alpha}{dx} = \frac{y_A - y}{D_A^2} - \frac{y_B - y}{D_B^2} = \frac{D_B \cos \Pi_A - D_A \cos \Pi_B}{D_A D_B}$$

$$\frac{d\alpha}{dy} = \frac{x_B - x}{D_B^2} - \frac{x_A - x}{D_A^2} = \frac{D_A \sin \Pi_B - D_B \sin \Pi_A}{D_A D_B}$$

$$g = \frac{d}{D_A D_B}, \quad \tau = \arctg \left(\frac{D_A \sin \Pi_B - D_B \sin \Pi_A}{D_B \cos \Pi_A - D_A \cos \Pi_B} \right)$$


 Рисунок 7 – Сітка ізоліній навігаційної функції β

 Рисунок 8 – Ізолінія навігаційної функції α ($\alpha = \text{const}$)

 Рисунок 9 – До визначення g_α

 Рисунок 10 – Сітка HI функції α . ($\alpha_1 = \text{const}$, $\alpha_2 = \text{const}$, $\alpha_3 = \text{const}$)

На рис. 8–10 представлені *HI* функції горизонтального кута. При наближенні до точок ENC модуль градієнта збільшується. Для визначення градієнта g_α та аналізу геометричних і точнісних характеристик можна застосувати спосіб, зображений на рис. 7,

$$g = \frac{\sin \alpha}{h} \text{ градієнт спрямований до центру ізогони у напрямку } \tau.$$

Для усунення недоліків аналітичних методів розрахунку застосуємо властивість лінеаризації навігаційних функцій у точці ENC розкладенням цієї функції у ряд Тейлора. Геометрично це заміна *HI* лінією положення (*ЛП*). *ЛП* не співпадає у точці 0 $\Rightarrow$ *ЛП* зміститься паралельно до самої себе в бік вимірюного навігаційного параметра.

Елементарно малу різницю ($U_o - U_c$) представимо у вигляді диференціала навігаційної функції $U = f(x, y)$:

$$dU = \frac{dU}{dx} dx + \frac{dU}{dy} dy \quad (5)$$

Диференціали dU, dx, dy замінимо кінцевими прирощеннями:

$$\Delta U = \frac{dU}{dx} \Delta x + \frac{dU}{dy} \Delta y \Rightarrow a_{11} \Delta x + a_{12} \Delta y = \Delta U \quad (6)$$

де $\Delta U = U_o - U_c$, $\Delta x = x_o - x_c$, $\Delta y = y_o - y_c$.

Для використання (6) у нормованому вигляді розділимо його праву і ліву частини на модуль градієнта навігаційної функції

$$\frac{dU}{dx(g)} \Delta x + \frac{dU}{dy(g)} \Delta y = \frac{\Delta U}{g} = \Delta n \quad (7)$$

де Δn – перенос *ЛП* по напрямку вектора-градієнта.

$$\cos \tau \Delta x + \sin \tau \Delta y = \Delta n \quad (8)$$

Аналітичний розрахунок координат по двох ЛП. Складемо систему двох рівнянь *ЛП* у матричному вигляді, де A – матриця коефіцієнтів *ЛП*, ΔX , ΔU – вектори невідомих і вільних членів.

$$\begin{aligned} a_{11} \Delta x + a_{12} \Delta y &= \Delta U_1 \\ a_{12} \Delta x + a_{22} \Delta y &= \Delta U_2 \end{aligned}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad \Delta X = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}, \quad \Delta U = \begin{pmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \end{pmatrix} \Rightarrow A \Delta X = \Delta U \quad (9)$$

Вирішення системи рівнянь (9):

$$\Delta X = A^{-1} \Delta U \Rightarrow X_o + \Delta X, \text{ де } X_o = \begin{pmatrix} x_o \\ y_o \end{pmatrix}, \quad X_c = \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Далі використовується ітераційна процедура (2-3 ітерації).

Аналітичний розрахунок координат при надмірному числі рівноточного отримання навігаційних параметрів у векторній електронній карті. При $n = 3$, $k = 2 \Rightarrow$ надмірність $r = n - k = 1$. З формули (9) отримуються матриці:

$$A \Delta X = \Delta U \Rightarrow A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{pmatrix}, \quad \Delta X = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}, \quad \Delta U = \begin{pmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_3 \end{pmatrix}.$$

При $k < n$ така система – несовма. Ґрунтуючись на оцінці математичного сподівання і мінімальній дисперсії отримаємо матричне рівняння:

$$A\Delta X = \Delta U + V, \text{ де } V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Математична умова пошуку оптимального погодженого рішення визначається мінімальною довжиною вектора погрешностей V

$$Q = |V|^2 = v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 = \min. \quad (12)$$

Вираз (12) визначає умову вирішення (11) методом найменших квадратів.

$$V = A\Delta X - \Delta U \Rightarrow Q = V^T V = (A\Delta X - \Delta U)^T (A\Delta X - \Delta U). \quad (13)$$

Візьмемо похідну від виразу (13) і прирівнявши її до нуля, знайдемо формулу для вирішення системи (12)

$$Q = \Delta X^T A^T A \Delta X - \Delta U^T A \Delta X - \Delta X^T A^T \Delta U + \Delta U^T \Delta U$$

$$\frac{dQ}{d(\Delta X)} = 2A^T A \Delta X - \Delta U^T A - A^T \Delta U = 2A^T A \Delta X - 2A^T \Delta U = 0$$

$$A^T A \Delta X = A^T \Delta U, \quad \hat{\Delta X} = (A^T A)^{-1} A^T \Delta U \quad (14)$$

(14) – система нормальних рівнянь та її рішення.

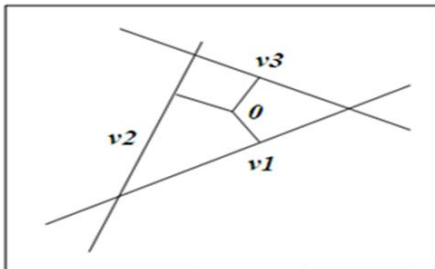


Рисунок 11 – До виведення формули (13)

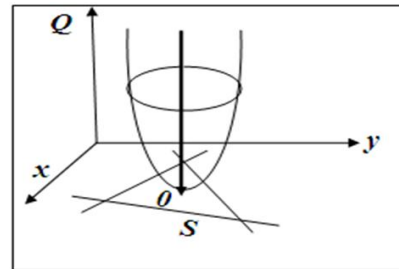


Рисунок 12 – Геометрична інтерпретація:
 o – точка, визначена за методом найменших квадратів; S – фігура похибок

Знак « $\hat{}$ » означає, що рішення отримане із застосуванням критерія оптимальності Q (рис.11, 12). Далі застосуємо формулу (10) і виконаємо ітераційну процедуру. Точка, положення якої визначається вектором x_0 , і буде являтися найбільш імовірною точкою.

При нерівноточному отриманні навігаційних параметрів у векторній електронній карті, що мають неоднакові m , найбільш імовірна точка, отримана за методом найменших квадратів, повинна бути ближче до тієї ЛП, яка точніша, а тому зрівнювання вимірів відбувається з врахуванням їх ваги. При отриманні ЛП формується вагова матриця.

Помножимо зліва праву і ліву частини (11) на матрицю W

$$W = \begin{pmatrix} \frac{1}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 \\ 0 & 0 & w_3 \end{pmatrix} \Rightarrow W A \Delta X = W \Delta U + W V,$$

тоді з (13) отримуємо

$$Q = (WV)^T (WV) = (W A \Delta X - W \Delta U)^T (W A \Delta X - W \Delta U) = \min$$

Для отримання системи нормальних рівнянь позначимо матрицю $W^T W$ як вагову матрицю D^{-1}

$$W^T W = D^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{m_1^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m_3^2} \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$A^T D^{-1} A \Delta X = A^T D^{-1} \Delta U, \quad \Delta \hat{X} = (A^T D^{-1} A)^{-1} A^T D^{-1} \Delta U \quad (16)$$

(16) – система нормальних рівнянь та її рішення. Елементи матриці (15) рівні і (16) $\rightarrow$ (14), (10) $\rightarrow$ найбільш імовірна точка по (16).

Запропонований алгоритм введення в Inland ECDIS адаптивного режиму попереджувального відображення безпечної області навігації показаний на рис. 13. Позначений навігаційний параметр у вигляді $U = f(\varphi, \lambda)$ показує автоматизоване введення функцій в режимі виконавчої прокладки

$$U_D = f_1(\varphi, \lambda), \quad U_\Pi = f_2(\varphi, \lambda), \quad U_H = f_3(\varphi, \lambda), \quad U_\Gamma = f_4(\varphi, \lambda), \quad (17)$$

де D – дистанція до лімітуючих обмежень руху; Π – напрямок на лімітуючі обмеження руху; H, Γ – вертикальні і горизонтальні лімітуючі обмеження (мости, ЛЕП).

Таким чином, множина U на ENC утворює векторну множину параметрів (17).

Далі по обчисленій похідній від U по нормалі n вводиться характеристика навігаційної функції – *вектор-градієнт* g , який характеризує максимальну швидкість зміни навігаційної функції, тобто швидкість зміни U в конкретній точці.

Модуль вектора градієнта g , представлений у вигляді двокомпонентного вектора,

Де g_x, g_y – проекції вектора g на координатні осі, τ – напрямок вектора g .

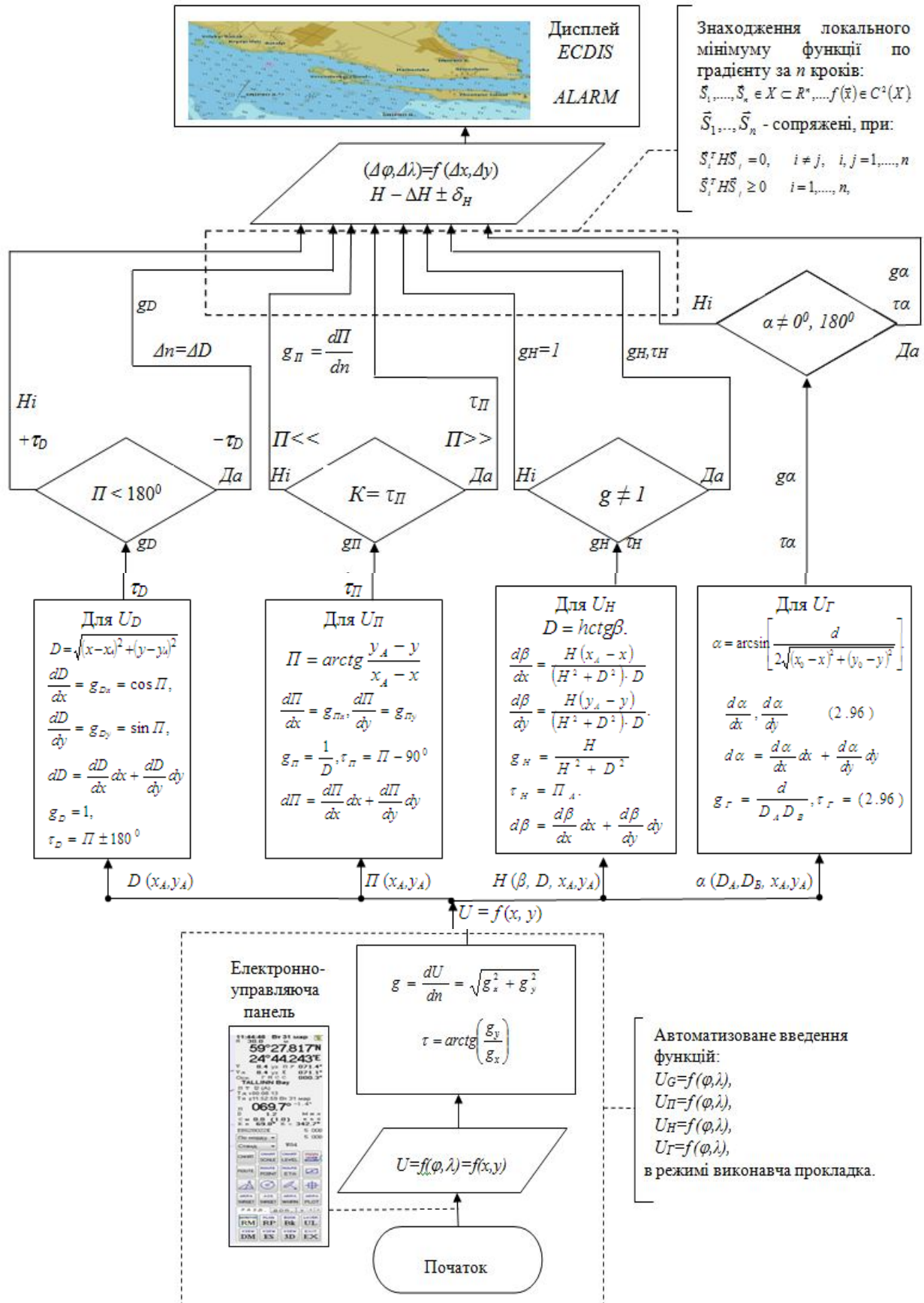


Рисунок 13 – Алгоритм введення в ECDIS/Inland ECDIS адаптивного режиму попереджуючого відображення безпечної області навігації до позиції судна

У локальній системі координат ENC $U = f(\varphi, \lambda) \Rightarrow U = f(x, y)$.

Далі здійснюється автоматичне введення навігаційних функцій до лімітуючих обмежень навігації: $D(x_A, y_A)$, $\Pi(x_A, y_A)$, $H(\beta, D, x_A, y_A)$, $\alpha(D_A, D_B, x_A, y_A)$, та визначаються g по кожній навігаційній функції

$$D(x_A, y_A) \Rightarrow (g_D, \tau_D), \Pi(x_A, y_A) \Rightarrow (g_\Pi, \tau_\Pi),$$

$$H(\beta, D, x_A, y_A) \Rightarrow (g_H, \tau_H), \alpha(D_A, D_B, x_A, y_A) \Rightarrow (g_\alpha, \tau_\alpha).$$

Для знаходження локального мінімуму функції по градієнту запропонований метод спряжених градієнтів, причому в R^n min знаходиться за n кроків (рис. 14).

$$\vec{S}_1, \dots, \vec{S}_n \in X \subset R^n, \dots, f(\vec{x}) \in C^2(X).$$

Вектори $\vec{S}_1, \dots, \vec{S}_n$ – спряжені, якщо

$$\vec{S}_i^T H \vec{S}_j = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$\vec{S}_i^T H \vec{S}_j \geq 0 \quad i = 1, \dots, n,$$

де H – матриця Гессе $f(\vec{x})$.

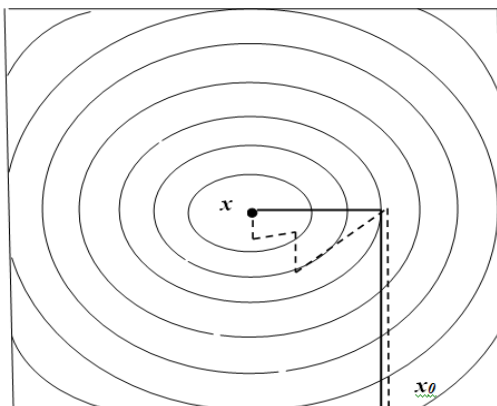


Рисунок 14 – Метод спуску (пунктирна ламана) і метод спряжених градієнтів (безперервна ламана) до точки екстремуму

$$\vec{S}_0 = -\nabla f(\vec{x}_0) \Rightarrow \vec{x}_0 + \lambda_1 \vec{S}_0 \quad (18)$$

Визначимо напрям за умови спряження з $\vec{S}_0$

$$\vec{S}_1 = -\nabla f(\vec{x}_1) + \omega_1 \vec{S}_0, \quad \vec{S}_0^T H \vec{S}_1 = 0 \quad (19)$$

Розкладемо $\nabla f(\vec{x})$ в оточенні $\vec{x}_0$ і підставимо $\vec{x} = \vec{x}_1$:

$$\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0) = H(\vec{x}_1 - \vec{x}_0) = \lambda_1 H \vec{S}_0 \quad (19)$$

Транспонуємо і домножуємо на H^{-1} :

$$(\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0))^T H^{-1} = \lambda_1 \vec{S}_0^T H^T H^{-1}$$

Другі часткові похідні – неперервні.

$$H^T = H \Rightarrow \vec{S}_0^T = \frac{(\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0))^T H^{-1}}{\lambda_1}$$

підставимо в (19) $\Rightarrow$

$$\frac{(\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0))^T H^{-1} H \vec{S}_1}{\lambda_1} = 0,$$

тоді з (18), (19) отримуємо:

$$\frac{(\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0))^T H^{-1} H \vec{S}_1}{\lambda_1} = 0,$$

$$(\nabla f(\vec{x}_1) - \nabla f(\vec{x}_0))^T (-\nabla f(\vec{x}_1) - \omega_1 \nabla f(\vec{x}_0)) = 0 \quad (20)$$

Якщо $\lambda = \arg \min_{\lambda} f(\vec{x}_0 + \lambda \vec{S}_0)$, то градієнти в $(\cdot) \vec{x}_1 = \vec{x}_0 + \lambda \vec{S}_0 \perp \vec{x}_0$. Застосовуючи правила скалярного добутку векторів $(\nabla f(\vec{x}_0), \nabla f(\vec{x}_1)) = 0$.

$$(2.0) \Rightarrow \omega_1 = \frac{\|\nabla f(\vec{x}_1)\|^2}{\|\nabla f(\vec{x}_0)\|^2} - \text{формула для обчислення } \omega.$$

Для k -ої ітерації маємо $\vec{S}_0, \dots, \vec{S}_{k-1}$, тоді наступний напрям:

$$\vec{S}_k = -\nabla f(\vec{x}_k) - \|\nabla f(\vec{x}_k)\|^2 \cdot \left(\frac{\nabla f(\vec{x}_{k-1})}{\|\nabla f(\vec{x}_{k-1})\|^2} + \dots + \frac{\nabla f(\vec{x}_0)}{\|\nabla f(\vec{x}_0)\|^2} \right),$$

або

$$\vec{S}_k = -\nabla f(\vec{x}_k) + \omega_k \vec{S}_{k-1}, \quad \omega_i = \frac{\|\nabla f(\vec{x}_i)\|^2}{\|\nabla f(\vec{x}_{i-1})\|^2},$$

де ω_k розраховується на k -й ітерації.

Для визначення g запропонований спосіб синхронного детектування (рис. 15).

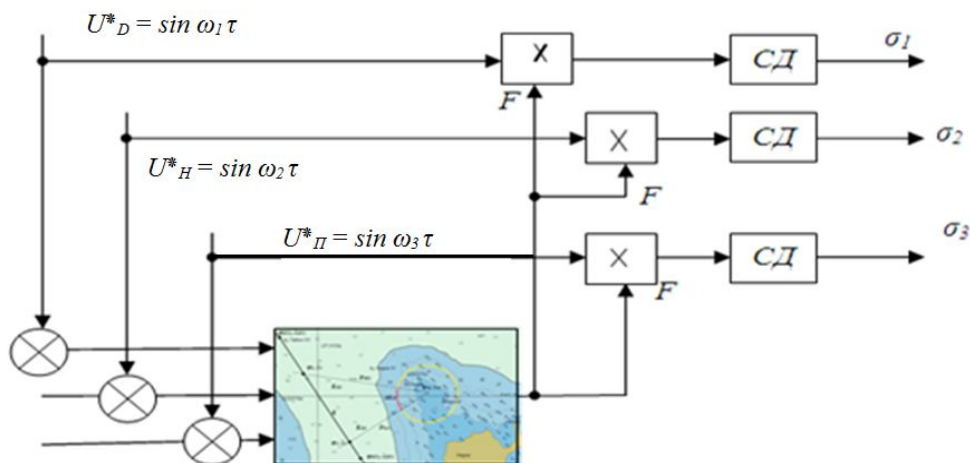


Рисунок 15 – Схема вимірювання g способом синхронного детектування:
СД – синхронний детектор

До регулюючих впливів F , що повільно змінюються, примусово додаються спеціально створювані пошукові періодичні високочастотні впливи:

$$U_D^* \cdot \sin \omega_1 \tau; \quad U_H^* \cdot \sin \omega_2 \tau; \quad U_\Pi^* \sin \omega_3 \tau; \quad U_\alpha^* \sin \omega_4 \tau.$$

Пошукові частоти ω_n обираються за числом аргументів, причому ні одна з цих частот не дорівнює сумі або різниці будь-якої пари інших частот. Цій вимозі відповідає вибір частот за законом непарних чисел $\omega_q = (2m+1)\omega_0$, де $m = 1, 2, \dots, n$.

Для усереднення змінних величин обирається інтервал часу, достатньо великий порівняно з самою низькою, як пошуковою, так і різницевою частотами. Квазістаціонарний режим дозволяє вважати регулюючі впливи F постійними в межах циклу пошуку.

Функція ΔU з достатньою точністю, як це вказано у (5) – (8), розкладається у ряд Тейлора з використанням членів розкладання, що містять частинні похідні, включаючи другий порядок. Значення частинних похідних F для U_D, U_P, U_H, U_T показані на рис. 15.

Модульовані функції U_D, U_P, U_H, U_T надходять одночасно у паралельно підключені синхронні детектори $СД$ по числу аргументів g . До кожного детектора синхронно з функцією якості подаються опорні коливання однієї з пошукових частот ω . На виході кожного детектора отримується усереднений добуток модульованої функції та опорного коливання:

$$\sigma_g = \overline{F_i \sin \omega_i \tau_i}$$

В отриманому векторі σ_g усереднені синуси та їх добутки при непарному числі множників рівні нулю (через симетрію відносно осі абсцис).

Отже, при дотриманні умови $q = l$ на виході усіх синхронних детекторів одночасно утворюються сигнали, пропорційні частинній похідній функції U для кожного відповідно регулюючого впливу.

Висновки:

1. Математична обробка масиву навігаційних даних, які містяться в цифровій моделі карти, дозволяє використовувати Inland ECDIS в адаптивному режимі попереджувального відображення безпечної області навігації до позиції судна
2. Із введенням характеристики навігаційної функції – вектора-градієнта g , який характеризує максимальну швидкість зміни навігаційної функції, тобто швидкість зміни U в конкретній точці цифрової моделі карти, значно збільшується ступінь автоматизації процесу безпечного руху ВТЗ.
3. Отримані показники ефективності запропонованого методу автоматизації показують значне збільшення точності утримання судна на осі фарватеру при збільшенні ймовірності безпечного плавання $P_{\text{бп}} = 1 - \exp (D/M)^2$ до 97 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьев В. В. Расчет координат места судна по избыточным навигационным измерениям : учебное пособие по математическим основам судовождения / В. В. Афанасьев, В. А. Логиновский – СПб. : ГМА имени адмирала Макарова, 2002.
2. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Феникс, 2004. – 302 с.
3. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении. / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : ОНМА, 2013. – 135 с.
4. Васьков А. С. Оценка точности судовождения и гарантированной ширины полосы проводки судна. / А. С. Васьков. – Новороссийск, 1994. – 65 с. – Отчет НГМА № ГР01930004058.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для ВТУЗ / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
6. Доронин В. В. Судовые навигационно-информационные компьютерные системы с электронными картами. Часть II. : курс лекций. / В. В. Доронин. – К. : КГАВТ, 2011. – 84 с.

7. Богомья В. І. Навігаційне забезпечення управління рухом суден : посібник для вищих морських навчальних закладів / [В. І. Богомья, В. С. Давидов, В. В. Доронін, Д. П. Пашков, І. В. Тихонов]. – К., 2012. – 338 с.
8. Доронін В. В. Радіонавігаційні прилади та системи : посібник для вищих морських навчальних закладів / В. В. Доронін. – К. : КДАВТ, 2007. – 472 с.
9. Баранов Г. Л. Алгебраїзація маршрутів руху транспортних засобів / [Г. Л. Баранов, В. В. Доронін, В. Р. Косенко, Д. М. Прохоренко] // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К. : Національний транспортний університет, 2014. – Випуск 1. – С. 60-70.
10. Кожухов В. П. Математические основы судовождения : учебник / В. П. Кожухов, А. М. Жухлин. – М. : Транспорт, 1993. – 123 с.
11. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1970. – С. 575-576.

REFERENCES

1. Afanasjev V. V. Raschet koordinat mesta sudna po izbihtochnim navigacionnim izmereniyam : uchebnoe posobie po matematicheskim osnovam sudovozhdeniya / V. V. Afanasjev, V. A. Loginovskiy – SPb. : GMA imeni admiralа Makarova, 2002.
2. Vaguthenko L. L. Sudovihe navigacionno-informacionnihe sistemih / L. L. Vaguthenko. – Odessa : Feniks, 2004. – 302 s.
3. Vaguthenko L. L. Sovremennihe informacionnihe tekhnologii v sudovozhdenii. / L. L. Vaguthenko. – Odessa : ONMA, 2013. – 135 s.
4. Vasjkov A. S. Ocenka tochnosti sudovozhdeniya i garantirovannoy shirinih polosih provodki sudna. / A. S. Vasjkov. – Novorossiysk, 1994. – 65 s. – Otchet NGMA № GR01930004058.
5. Ventcelj E. S. Teoriya veroyatnostey : uchebnik dlya VTUZ / E. S. Ventcelj. – M. : Nauka, 1969. – 576 s.
6. Doronin V. V. Sudovihe navigacionno-informacionnihe komp'yuternihe sistemih s ehlektronnimi kartami. Chastj II. : kurs lekciy. / V. V. Doronin. – K. : KGAVT, 2011. – 84 s.
7. Bogomjya V. І. Navigacijne zabezpechennya upravlinnya rukhom suden : posibnik dlya vithikh morsjkih navchaljnikh zakladiv / [V. І. Bogomjya, V. S. Davidov, V. V. Doronin, D. P. Pashkov, I. V. Tikhonov]. – K., 2012. – 338 s.
8. Doronin V. V. Radionavigacijni priladi ta sistemi : posibnik dlya vithikh morsjkih navchaljnikh zakladiv / V. V. Doronin. – K. : KDAVT, 2007. – 472 s.
9. Baranov G. L. Algebraizaciya marshrutiv rukhu transportnikh zasobiv / [G. L. Baranov, V. V. Doronin, V. R. Kosenko, D. M. Prokhorenko] // Informacijni procesi, tekhnologii ta sistemi na transporti. – K. : Nacionalnij transportnij universitet, 2014. – Vipusk 1. – S. 60-70.
10. Kozhukhov V. P. Matematicheskie osnovih sudovozhdeniya : uchebnik / V. P. Kozhukhov, A. M. Zhukhlin. – M. : Transport, 1993. – 123 s.
11. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchnikh rabotnikov i inzhenerov / G. Korn, T. Korn. – M. : Nauka, 1970. – S. 575-576.

Доронин В.В., Алейников М.В. СПОСОБ УСКОРЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ НА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ КАРТЫ

Статья посвящена актуальной проблеме, которая касается точного теоретического анализа и критериев динамики отображения на электронной карте приближения к лимитирующим обстоятельствам по критериям безопасности движения водного транспорта.

Проведенный анализ проблемы отсутствия комплексной автоматизации решения наиболее важных навигационных заданий показал, что данное направление является малоисследованным по сравнению с другими направлениями обработки картографической информации. Предложен способ ускорения циркуляции навигационных данных на цифровой модели карты, который включает математическое решение задачи автоматического получения данных к лимитирующим

ограничениям навигации, составление алгоритма и разработку схемы измерения скорости изменения навигационной функции способом синхронного детектирования.

Полученные показатели эффективности предложенного метода автоматизации указывают на увеличение вероятности безопасного плавания до 97 %.

Ключевые слова: безопасность судоходства, информационные технологии, электронная карта, градиент функции, матрица параметров, Inland ECDIS.

Doronin V.V., Aleynikov M.V. THE METHOD OF ACCELERATING THE CIRCULATION OF THE NAVIGATION DATA ON A DIGITAL MODEL OF THE CHART

The article is devoted to the actual problem, with regard to the precise theoretical analysis of the dynamics of the criteria that is displayed on an electronic chart approach to limiting the circumstances of the safety criteria for water transport.

The analysis of the lack of comprehensive automation of unleashing the most important navigational tasks showed that this trend is a little studied compared to other areas of the processing of cartographic information. A method for accelerating the circulation of the navigation data on a digital model of the chart, which includes a mathematical solution to the problem of automatic data acquisition to restrictions limiting navigation, preparation and algorithm development schemes measuring the speed of change in the navigation function of the synchronous detection method.

These performance indicators show the proposed method of automation to increase the probability of safe navigation of up to 97 %.

Keywords: navigation safety, information technology, electronic chart, gradient of function, matrix parameters, Inland ECDIS.

© Доронін В.В., Алєйніков М.В.

Статтю прийнято
до редакції 17.10.15

САМООРГАНІЗУЮЧІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ

Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.

Херсонська державна морська академія

У цій статті розглянута сучасна модель системи управління судновими технічними засобами, описані вимоги до таких систем. У роботі проведено аналіз математичної моделі, яка дозволяє визначати похибки вимірювання векторів трифазної напруги високовольтного електроенергетичного обладнання та направлена на підвищення ефективності та конкурентоспроможності суден нового покоління. Зазначено, що, згідно поставлених вимог, сучасні системи управління СТЗ мають бути адаптивними з високим рівнем штучного інтелекту – системи управління, що самоорганізуються. Як висновок, зазначено, що доцільно використовувати комбінований підхід до побудови систем управління СТЗ з урахуванням того, що ядром системи є адаптивний модуль.

Ключові слова: *simulink, генератор, система управління, що само організовується, ідентифікація, модель, програмований логічний контролер, перехідний процес, закон регулювання.*

Вступ. Розробка автоматизованих суднових технічних засобів (СТЗ) з оптимальними характеристиками означає підвищення їх конкурентоспроможності, збільшення продуктивності обладнання, зниження паливних і енергетичних витрат, економію металу, сировини й інших матеріальних ресурсів. Упровадження ефективних автоматизованих СТЗ дозволить істотно підвищити безпеку мореплавання, понизити експлуатаційні витрати, скоротити чисельність суднових екіпажів і підвищити провізну здатність судів.

Розробка математичних моделей (ММ) [1] для більшості СТЗ, включаючи вказані, як об'єктів управління звичайно здійснюється з великими спрощеннями, зокрема, використовуються моделі стаціонарні, лінійні, низької розмірності. Фактично ж ці об'єкти є нестаціонарними, істотно нелінійними і повинні описуватися рівняннями високої розмірності. Для розробки систем управління цими об'єктами використовуються методи класичної, а не сучасної теорії управління. Цією задачею займалися Одинаев В. А. [1], Субботін С. О. [2, 3], Олійник А. О., Касимов Н. Н. [4], Галушкін А. І. [5], Новосельцев В. Б. [6], Liu С.-Н., Баранов А. П. [8], Раїмов М. М. [8], Портнягин Н. Н. [9].

Постановка задачі. Для сучасних СТЗ характерні безперервні технологічні процеси великої потужності зі складними комплексами енергетичних і матеріальних потоків із жорсткими вимогами до сукупності характеристик, які витікають із загального цільового призначення судна, задовольнити які, спираючись тільки на конструктивні, технологічні й організаційно-технічні методи, майже неможливі. Тому, необхідно розробити оптимальний підхід до побудови моделей систем управління СТЗ.

Об'єктом дослідження системи управління судновими технічними засобами.

Предметом дослідження є оптимізація моделей систем управління СТЗ.

Результати дослідження. Експлуатаційні діапазони зміни характеристик сучасних і особливо перспективних СТЗ настільки широкі, що управління ними за допомогою традиційних систем стає все більш скрутним. Проектування та випробування таких систем управління затягуються, і номенклатура їх збільшується. Таким чином, об'єкти управління неухильно ускладнюються, а час, що відводиться на розробку систем управління цими об'єктами, скорочується. Посилюються вимоги до забезпечення працездатності систем управління в нештатних ситуаціях, їх універсальності, модульної побудови, надійності, безпеці, зниженню вартості апаратури.

Підвищення небезпеки техногенних і природних катастроф пред'являє до сучасних засобів автоматизації додаткові вимоги. Судновий персонал, обслуговуючий складні управляючі комплекси, не відразу знаходить рішення в нештатних, аварійних, катастрофічних ситуаціях, допускає фатальні помилки. У цих ситуаціях необхідна

комп'ютерна підтримка і тимчасова заміна людського інтелекту штучним.

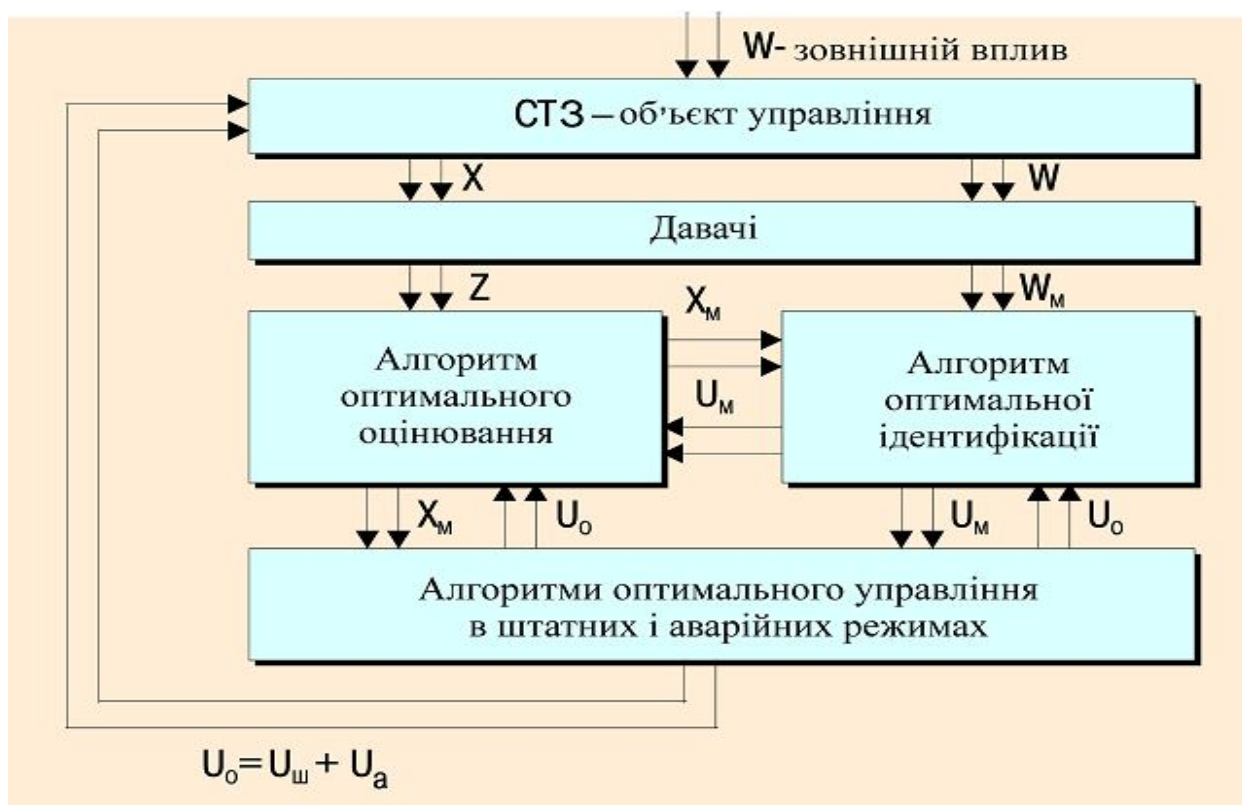


Рисунок 1 – Схема перспективної оптимальної адаптивної системи управління судновими технічними засобами

Відповідно до положень сучасної теорії управління структурна схема системи управління нового покоління повинна мати наступний вигляд (рис. 1) [2]. Прийняті позначення: X – внутрішні змінні стану об'єкту управління, Z – контрольовані змінні стану об'єкту управління, U – управління, індекси $o, ш, а, м$ – відповідно «оптимальне управління», «оптимальне управління в штатному режимі», «оптимальне управління в аварійному режимі», «змінні моделі». Такі системи управління СТЗ створені з використанням алгоритмів оптимального оцінювання, ідентифікації та управління об'єктом у штатних і аварійних режимах, є більш високоякісними в порівнянні з традиційними, дозволяють більш обґрунтовано використовувати програмовані контролери для реалізації достатньо складних алгоритмів.

Можливі самі різні реалізації систем управління СТЗ із приведеною структурною схемою залежно від алгоритмів оптимальних процедур оцінювання, ідентифікації та управління, що використовуються.

Проте доцільне їх формування погоджувати як з сучасними загальними вимогами до систем управління, так і із специфічними вимогами, викладеними вище.

До основних з цих вимог відносяться наступні:

- мінімум необхідної апріорної інформації не тільки про параметри, але і про структуру моделі керованого об'єкту та зовнішніх дій;
- мінімальне втручання у природний перебіг процесу;
- наявність прогнозування керованого процесу;
- оптимальне управління відповідно до змінного комплексного критерію і обмежень, діючих на всіх етапах і у всіх режимах роботи об'єкту управління;
- наявність можливості підтримки судових операторів в ухваленні рішень і їх тимчасової заміни контуром автоматичного управління для запобігання аварій і катастроф;
- можливість реалізації на базі програмованих промислових контролерів.

Цим вимогам, як показала практика останніх років, принципово можуть задовольняти не всі, а тільки адаптивні оптимальні системи управління з високим рівнем штучного інтелекту – системи управління, що самоорганізуються.

За допомогою Пакету Matlab/Simulink одержана математична модель у вигляді рис. 2.

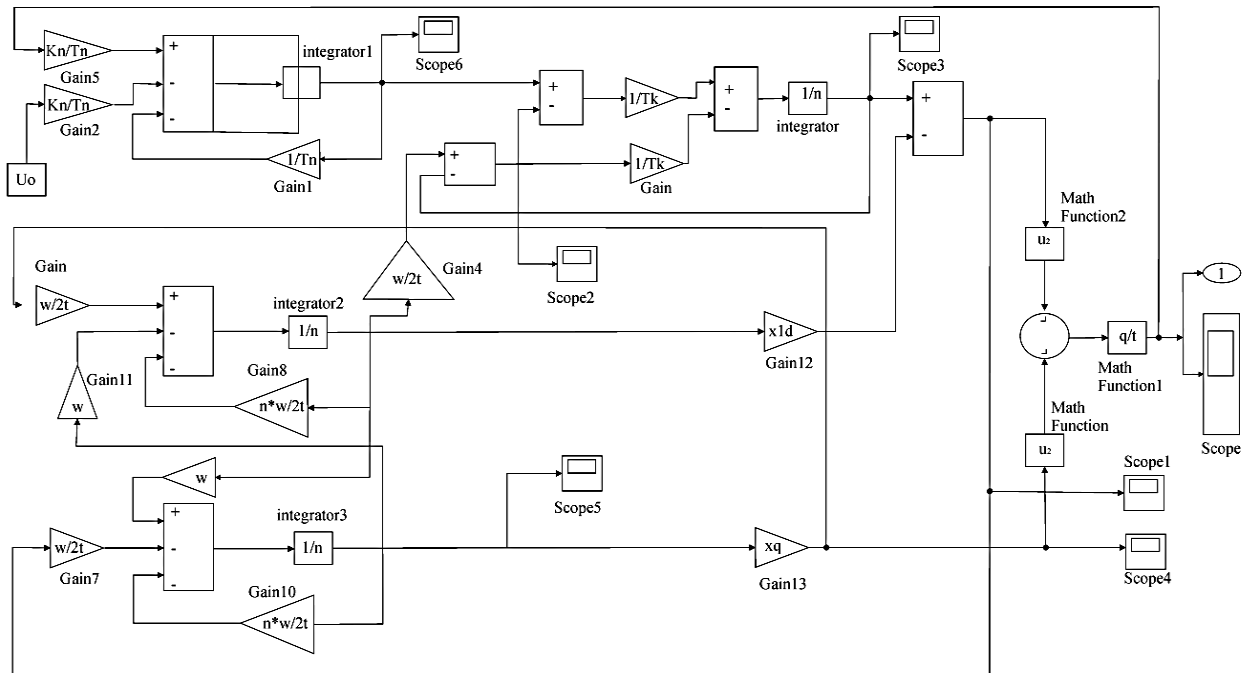


Рисунок 2 – Математична модель навантаження у програмі Simulink

Щоб одержати графіки перехідних процесів для порівняння з процедурою випробувань, необхідно вибрати деякі значення всіх коефіцієнтів постійної часу, опори і коефіцієнта посилення. Після цього можна судити про функціонування і працездатність самої системи. Обираємо для дослідження генератор типа МСС – 275–500 з такими значеннями коефіцієнтів:

$$x_d = 1,31 \quad \mu_d = 0,81 \quad x_q = 0,83 \quad n = 500 \text{ об/хвил} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60} = 52,33.$$

Так само $U_0 = 100 \text{ В}$, $r_n = 0,35$, $x_n = 0,60$, $T_f = 1,80$, $T_n = 1,20$, $K_n = 2,20$, одержуємо результат математичного моделювання у вигляді кривої перехідного процесу системи (рис. 3).

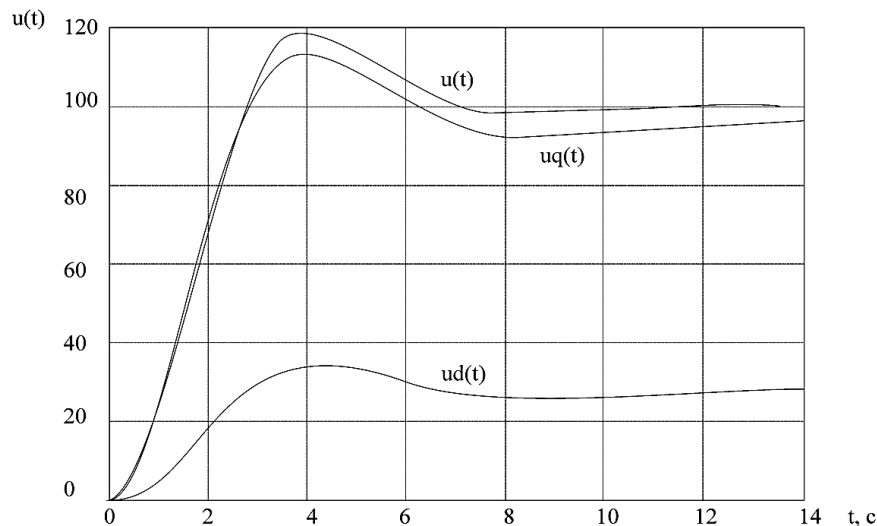


Рисунок 3 – Крива перехідного процесу напруги генератора при моделюванні

Із графіка видно, що загальний час відновлення до уставки напруги (100 В) дуже довгий (12 с) і максимальне відхилення біля 20 %. Це неприпустимо, так як на практиці через високий коефіцієнт перерегулювання може привести до пошкодження або виходу з ладу електрообладнання.

Щоб уникнути аварійної ситуації електрообладнання, необхідно «оптимізувати» роботу генератора з постачанням регулятора напруги. Для цього доцільно використовувати метод оптимізації.

Оптимізувати роботу генератора, тобто за допомогою математичної моделі одержати такий, так званої «оптимальним перехідним процесом» з коротким часом відновлення та меншою долею перерегулювання, шляхом налагодження коефіцієнтів. Очевидно, що генератор створений за своїми технічними даними (параметрами), а сама апаратура (регулятор напруги) окремо виготовлен від «об'єкту» управління (генератора). Таким чином, впливати на параметри (або конструкції) генератора ми не можемо, навантаження генератора задано та залишається тільки задача набудувати значення коефіцієнтів регулятора напруги, в цьому випадку K_n і T_n .

За допомогою методів оптимізації видно, що для постійної часу T_n самий оптимальний діапазон від 0,3 с до 0,6 с, а для коефіцієнта посилення регулятора K_n – від 2,2 до 2,6. Для прикладу покажемо один випадок неоптимальний і один найоптимальніший графік (рис. 3).

Із рис. 3 видно, що тільки через 3 с напруга генератора без коливань перетворюється в уставку регулятора по напрузі U_0 . Задача оптимізації напруги генератора вдало вирішена.

Проведені дослідження показали відповідність цієї системи сучасним вимогам, що пред'являються, це оптимальна система, яка самоорганізовується [2, 4], задовольняє вимогам мінімальної необхідної апіорної інформації про структуру, параметри регульованого об'єкту, збудження та навколишнє середовище. Сам принцип дії системи сприяє швидкій адаптації до зміни режиму і структури регульованого об'єкту.

Проектування системи, її налаштування при експлуатації не вимагають наявності математичної моделі об'єкту.

Інша з основних сучасних вимог, що пред'являються до більшості систем автоматичного й автоматизованого управління (САУ) технологічними процесами і рухомими об'єктами, полягає в мінімальному втручанні у природний вільний рух об'єкту, принаймні, в штатних режимах останнього. Це забезпечується використанням алгоритму формування оптимального управління відповідно до інтегрального квадратичного критерію. Мінімізація інтегрального квадратичного критерію нерозривний пов'язана з прогнозуванням, екстраполяцією. Як показують численні приклади, управління в живій природі, прогнозування, екстраполяція є необхідна умова робастності. Система має нагоду швидкої самоорганізації контурів управління в умовах аварійних нештатних ситуацій. Ця можливість і підтримка операторів при ухваленні рішень і їх тимчасова заміна контуром автоматичного управління системи можуть грати дуже важливу роль у запобіганні аварій і катастроф. Алгоритми, що використовуються, сприяють відносній простоті програмного забезпечення системи та надають можливість його мікропроцесорної реалізації на промислових контролерах.

Для складних технологічних об'єктів заміна традиційних систем автоматичного управління постійної настройки з ПД-законами системами нового класу приведе, як мінімум, до двох важливих наслідків [6, 7]:

1) вплив чинників, що порушують задані технологічні процеси, парироватиметься цією системою регуляторів до меж, відведених управляючим діям;

2) поточні й екстраполюються порушення регульованих технологічних процесів можуть практично миттєво передаватися на інформаційне поле оператора або автомати захисту. Блоки оцінювання (спостерігачі) даних систем можуть випускатися і застосовуватися окремо як прогнозаторів небезпечних режимів, що видають сигнали на

відповідні дисплеї або пристрої для подальшого використання. Ця обставина дозволяє створювати крім систем регулювання системи контролю, діагностики, автоматичної сигналізації і аварійного захисту СТЗ принципово нового типу та відмінні від існуючих підвищеною ефективністю.

На завершення викладу переваг систем управління, що самоорганізуються, слід зазначити, що вони можуть поставлятися у вигляді пристроїв, орієнтованих як на конкретні нові об'єкти управління, так і як блоки самоналаштування на об'єкти управління з традиційними регуляторами.

Такі самоналаштовані системи доцільно використовувати на судах в першу чергу в найвідповідальніших системах управління, що забезпечують управління рухом судна, пропульсивними установками, допоміжними механізмами, електростанціями.

Звернемося, наприклад, до особливостей систем автоматичного управління безпекою суднової електроенергетичної системи. Від їх якості та надійності у значній мірі залежить безпека мореплавання, а також техніко-економічні показники ефективності експлуатації судів. Судно, як об'єкт системи автоматичного управління, є складною ланкою, що складається з корпусу судна, керма і навколишнього його середовища. Точний математичний опис [1] такої ланки зустрічає великі труднощі, а одержувані при цьому нелінійні рівняння надзвичайно складні. При цьому електричні коефіцієнти рівнянь значно змінюються зі зміною навантаження судна, тобто судно є нелінійним нестационарним об'єктом. Тому на практиці для синтезу систем автоматичного управління безпекою суднової електроенергетичної системи використовують спрощені лінійні стаціонарні математичні моделі об'єкту, коефіцієнти яких при різних варіантах навантаження і швидкостях ходу розрізняються на порядок і вище. Традиційним законом управління є ПД-закон [1].

Одним з основних напрямів рішення цієї проблеми було створення автономних адаптивних систем автоматичного управління безпекою суднової електроенергетичної системи, яка забезпечує в більшості випадків автоматичну настройку параметрів (параметричну адаптацію) системи при зміні стану об'єкту управління та зовнішніх умов плавання (швидкості ходу, осідання судна, стани погоди, глибини під кілем). Досвід експлуатації таких адаптивних систем підтвердив підвищення їх техніко-економічної ефективності в порівнянні з традиційними системами. Проте вживання адаптивних систем дозволило лише частково розв'язати проблему, оскільки потенційні можливості параметричної адаптації обмежені. У даному випадку, у зв'язку з вказаними особливостями судна як об'єкту управління системи автоматичного управління безпекою суднової електроенергетичної системи, для повного вирішення проблеми потрібне використання структурної і параметричної адаптації, яка не пов'язана з математичною моделлю об'єкта та реалізується алгоритмами системи управління, що самоорганізовується. Проведені дослідження підтвердили такі можливості системи управління, що самоорганізовується [3]. Приведений приклад є типовим.

Висновок. Комплексний розгляд можливостей і переваг систем управління СТЗ, що самоорганізуються, дає підставу для ствердження, що пропонуваний підхід до вдосконалення засобів автоматизації різного призначення (регулювання, контролю, сигналізації, захисту і ін.) судовими технічними засобами є перспективним.

Системи, що здатні самоорганізовуватись, доцільно використовувати в судовій галузі на тих ділянках, де є постійна зміна параметрів та необхідність швидкого регулювання системи управління, за умови достатньої швидкодії останньої.

Для реалізації описаного підходу необхідні точні математичні моделі об'єктів управління, це викликає певні труднощі та підстави до роздумів і подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Одинаев В. А. Математическая модель пространства состояний судовой электроэнергетической системы. Принятие оперативных решений / В. А. Одинаев // Судостроение. – 2003. – № 5. – С. 42-44.
2. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С. О. Субботін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. – 341 с.
3. Субботін С. О. Ітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей : монографія / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник : під заг. ред. С. О. Субботіна. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – 375 с.
4. Виноградова С. С. Применение нейросетевых технологий с целью оптимизации управления судостроительным предприятием (на примере Астраханского региона) // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология / С. С. Виноградова, Н. Н. Касимов. – 2011. – № 2. – С. 20-27.
5. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. – Телеком, 2010. – 496 с.
6. Аксенов С. В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С. В. Аксенов, В. Б. Новосельцев : под общ. ред. В. Б. Новосельцева. – Томск : Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
7. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети : учеб. пособие / Г. Э. Яхьяева. – М. : Интернет-Университет информ. технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 315 с.
8. Баранов А. П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : учебник для вузов / А. П. Баранов, М. М. Раимов. – СПб. : Элмор, 1997. – 232 с.
9. Труднев С. Ю. Разработка цифровых моделей режимных свойств для исследования динамической устойчивости судовой электроэнергетической системы / С. Ю. Труднев, Н. Н. Портнягин // Вестник КамчатГТУ. – 2012. – № 20. – С. 37-40.
10. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB Simulink PowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

REFERENCES

1. Odinaev V. A. Matematicheskaya modelj prostranstva sostoyaniy sudovoyj ehlektroehnergeticheskoyj sistemih. Prinyatie operativnihkh resheniyj / V. A. Odinaev // Sudostroenie. – 2003. – № 5. – S. 42-44.
2. Subbotin S. O. Podannya yj obrobkaznanj u sistemakh shtuchnogointelektu ta pidtrimkipriyinyattyarishenj / S. O. Subbotin. – Zaporizhzhya : ZNTU, 2008. – 341 s.
3. Subbotin S. O. Neiterativni, evolyuciyjni ta muljtiagentnimetodi sintezu nechitkologichnikh ineyjromerezhnikh modeleyj : monografiya / S. O. Subbotin, A. O. Oliyjnuk, O. O. Oliyjnuk : pid zag. red. S. O. Subbotina. – Zaporizhzhya : ZNTU, 2009. – 375 s.
4. Vinogradova S. S. Primenenie neyvrosetevihkh tekhnologiyj s celjyu optimizaciiupravleniya sudostroiteljnihm predpriyatiem (na primere Astrakhanskogo regiona) // Vestn. Astrakhan.gos. tekhn. un-ta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya / S. S. Vinogradova, N. N. Kasimov. – 2011. – № 2. – S. 20-27.
5. Galushkin A. I. Neyjronnihe seti: osnovih teorii / A. I. Galushkin. – Telekom, 2010. – 496 s.
6. Aksenov S. V. Organizaciya i ispoljzovanie neyjronnihkh seteyj (metodih i tekhnologij) / S. V. Aksenov, V. B. Novoseljcev : pod obth.red. V. B. Novoseljceva. – Tomsk : Izd-vo NTL, 2006. – 128 s.
7. Yakhjhyaeava G. Eh. Nechetkie mnozhestva i neyjronnihe seti : ucheb.posobie / G. Eh. Yakhjhyaeava. – M. : Internet-Universitetinform. tekhnologiyj; BINOM. Laboratoriya znaniyj, 2006. – 315 s.

8. Baranov A. P. Modelirovanie sudovogo ehlektrooborudovaniya i sredstv avtomatizacii : uchebnyk dlya vuzov / A. P. Baranov, M. M. Raimov. – SPb. : Ehlmor, 1997. – 232 s.
9. Trudnev S. Yu. Razrabotka cifrovihkh modeley rezhimnihkh svoystv dlya issledovaniya dinamicheskoy ustoychivosti sudovoy ehlektroehnergeticheskoy sistem / S. Yu. Trudnev, N. N. Portnyagin // Vestnik KamchatGTU. – 2012. – № 20. – S. 37-40.
10. Chernikh I. V. Modelirovanie ehlektrotekhnicheskikh ustrojstv v MATLAB Simulink PowerSystems i Simulink / I. V. Chernikh. – M. : DMK Press; SPb. : Piter, 2008. – 288 s.

Дощенко Г.Г., Наговський Д.А. САМООРГАНІЗУЮЧІСЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУДОВИМИ ТЕХНІЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

В этой статье рассмотрена современная модель системы управления судовыми техническими средствами, описаны требования к таким системам. В работе проведен анализ математической модели, которая позволяет определять погрешности измерения векторов трехфазного напряжения высоковольтного электроэнергетического оборудования и направлена на повышение эффективности и конкурентоспособности судов нового поколения. Отмечено, что, согласно поставленным требованиям, современные системы управления СТС должны быть адаптивными с высоким уровнем искусственного интеллекта – самоорганизующиеся системы. Как вывод, указано, что целесообразно использовать комбинированный подход к построению систем управления СТС с учетом того, что ядром системы является адаптивный модуль.

Ключевые слова: Simulink, генератор, самоорганизующиеся системы, идентификация, модель, программируемый логический контроллер, переходный процесс, закон регулирования.

Dothenko G.G., Nagovskiy D.A. SELF-ORGANIZING SYSTEM OF SHIP TECHNICAL MEANS

In this article the modern management model ship technical means described requirements for such systems. The paper analyzes the mathematical model, which allows to determine the measurement error vector voltage three-phase high-voltage electric power equipment, and is aimed at improving the efficiency and competitiveness of the new generation of vehicles. It is noted that under the proposed requirements, modern warehousing management system should be adaptive with a high level of artificial intelligence - management system, well organized. In conclusion, noted that a combined approach should be used to build temporary storage management systems, taking into account the fact that the core of the system is adaptive module.

Keywords: Simulink, generator, control system, which also organized, identification, model, programmable logic controller, the transition process, the law regulation.

© Дощенко Г. Г., Наговський Д. А.

Статтю прийнято
до редакції 01.10.15

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RHINOCEROS И AVEVA MARINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА

Кабанова Н.Н.

*Национальный университет кораблестроения
имени адмирала С.О. Макарова, г. Николаев*

Обоснован выбор комбинации систем Rhinoceros и Aveva Marine при работе с трехмерной поверхностью транспортного судна с целью оптимизации процесса его проектирования на предэскизной и эскизной стадиях. Указаны особенности импорта в Aveva Marine моделей из сторонних систем автоматизированного проектирования, перечислены возможные ошибки при работе с ними, связанные с особенностями восприятия различными системами геометрии объектов. Указаны пути устранения недостатков судовой поверхности, возникших при ее импорте в систему, что позволит обеспечить успешность создания различных внутренних объектов и дальнейших расчетов. Приведены алгоритмы доработки импортируемой поверхности и анализа корректности ее геометрии исходя из параметров строевой по шпангоутам. Рассмотрены особенности подготовки данных для дальнейшего расчета характеристик судовой поверхности, выполняемых в модуле Hydrostatics&Hydrodynamics. Рассмотрены функциональные особенности системы, позволяющие выполнить приблизительную оценку водоизмещения судна порожнем.

Ключевые слова. Автоматизированное проектирование, Rhinoceros, Aveva Marine, судовая поверхность.

Постановка проблемы. Проектирование судна в современных условиях сопряжено с использованием специализированных автоматизированных систем, позволяющих увеличить продуктивность выполняемых работ. Каждая из них имеет свои особенности и достоинства, поэтому в некоторых случаях рационально их комбинирование.

Анализ последних исследований и публикаций. Судно представляет собой сложное инженерное сооружение, создание которого сопряжено со значительными временными затратами и ресурсами. Как известно, его изготовлению предшествуют многочисленные расчеты, составляющие так называемую информационную модель. Для упрощения процесса ее создания необходимо использование соответствующих CAD/CAM/CAE систем, целесообразность применения которых проанализирована в [1]. В настоящее время подобные программные комплексы, предоставляемые различными производителями, широко распространены в практике проектирования судов. Обзор применяемых в судостроении специализированных программ представлен в статьях [2, 3].

Нерешенные ранее части общей проблемы. Как показывает практический опыт, совместное использование нескольких систем автоматизированного проектирования имеет ряд особенностей, учет которых отражается на качестве получаемого результата и является гарантией успешной работы. Их выявление достигается методом проб и ошибок. Поэтому **целью статьи** является анализ особенностей работы над судовой поверхностью с помощью Rhinoceros и Aveva Marine.

Задачи исследования. Описание особенностей совместного использования программных продуктов Rhinoceros и Aveva Marine при концептуальном проектировании судна, реализованного в процессе обучения студентов кораблестроительного института.

Объект исследования. Системы автоматизированного проектирования судов.

Предмет исследования. Особенности совместного использования Rhinoceros и Aveva Marine.

Методы исследования. Процесс создания судовой поверхности и расчета ее характеристик сопряжен с использованием методов теории и проектирования судов, методов математического моделирования.

Изложение основного материала. Для повышения эффективности и скорости процесса проектирования судов практикуется широкое использование различных специализированных CAD/CAM/CAE систем. Как показывает практика, достаточно

удобным является их совместное использование. Одним из вариантов подобной комбинации является применение САПР Aveva Marine и Rhinoceros [4], использование которой обусловлено следующими факторами:

- в процессе многолетнего применения Rhinoceros накопилась солидная база данных 3-мерных судовых поверхностей, созданная усилиями студентов и преподавателей кафедры теории и проектирования судов Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова;
- Aveva Marine позволяет провести детальный расчет различных характеристик имеющейся поверхности;
- имеется возможность обмена данными между Aveva Marine и Rhinoceros.

В процессе работы над учебным проектом средствами Rhinoceros [5, 6] была создана трехмерная модель судовой поверхности (рис. 1).

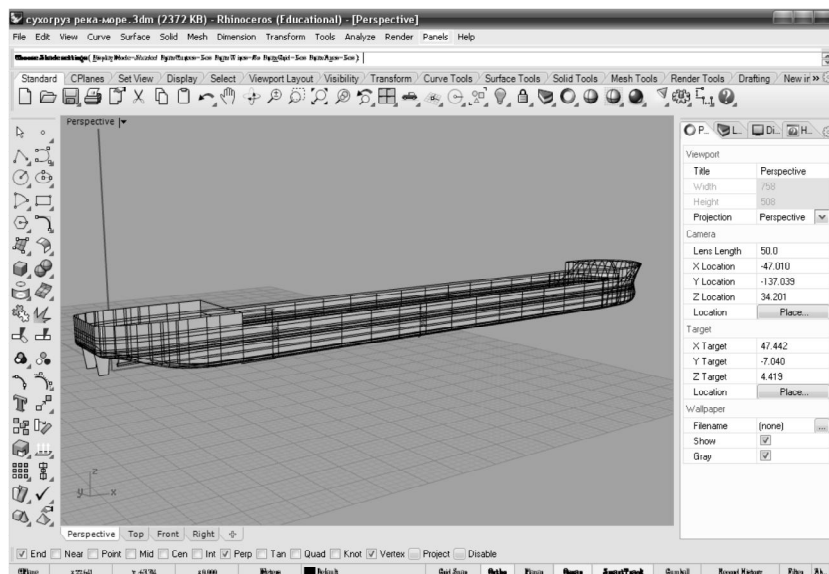


Рисунок 1 – Судовая поверхность проектируемого судна

Имеющаяся модель была импортирована в Aveva в специализированном формате, тип которого (в нашем случае Default) задается в соответствии с требованиями к проекту. Следующий этап проводится в модуле Surface&Compartment [7, 8], где необходимо создать новый файл и импортировать имеющуюся модель в сохраненном формате «*.sat».

Как правило, при выполнении подобных операций может возникать ряд ошибок, связанный с особенностями восприятия различными системами геометрии объектов. Для того, чтоб избежать подобных проблем, Surface&Compartment имеет функционал, позволяющий выполнить анализ поверхности, после которого, при необходимости, проводится ее корректировка. Для подобной проверки используется команда Single Sided, позволяющая определить, как ориентирована условная обшивка поверхности – наружу или вовнутрь. Этот фактор определяет систему знаков при расчете параметров модели.

Зачастую передаваемая поверхность состоит из большого количества частей, которые необходимо связать между собой, проследив при этом выполнение условия одинаковой ориентации условной обшивки. В противном случае при дальнейших расчетах разнонаправленные части будут вычитаться друг из друга. После того, как проектировщик убедился в целостности модели можно приступить к генерации так называемой неизменяемой поверхности – Envelop. Данная операция выполняется для обеспечения контура, относительно которого в дальнейшем будут создаваться элементы внутренней геометрии поверхности – продольные и поперечные переборки, палубы и пр. Необходимо отметить, что от качества Envelop зависит успешность их создания. Например, при наличии малейшего нарушения целостности модели, новый элемент в его окрестности не сможет быть создан.

В системе реализована возможность анализа параметров поверхности.

Это выполняется с помощью SAC Viewer. Как следует из названия, SAC – section area curve, с помощью данной команды может быть выполнено построение строевой по шпангоутам с определением объема, коэффициента общей полноты и абсциссы центра величины для заданной осадки. Если при анализе расчетных данных нарушений не обнаружено, можно приступать к дальнейшей проработке проекта.

Одним из результатов работы в модуле Surface&Compartment является разбивка поверхности на отсеки. Эта процедура должна начинаться с построения верхней палубы для того, чтоб дальнейшая разбивка велась по замкнутому контуру. В противном случае будут возникать сообщения об ошибках геометрии, приводящих к невозможности генерации интересующего объекта. Как видно из рис. 1, в нашем случае палуба будет иметь сложную геометрию. Поэтому она не может быть создана автоматически исходя из заданной осадки, как это обычно выполняется. Для интересующей генерации с помощью мастера построений Internal Surface Editor создается палуба на уровне ее максимальной точки возвышения, а соответствующие параметры сломов прописываются в таблице Sheer. Для корректной работы модулей целесообразно указание созданного элемента как Main Deck. При успешном выполнении указанной операции палуба в дереве объектов будет обозначена системой соответствующим символом (большая буква M).

Теперь можно создавать продольные и поперечные переборки, а затем отсеки (рис. 2).

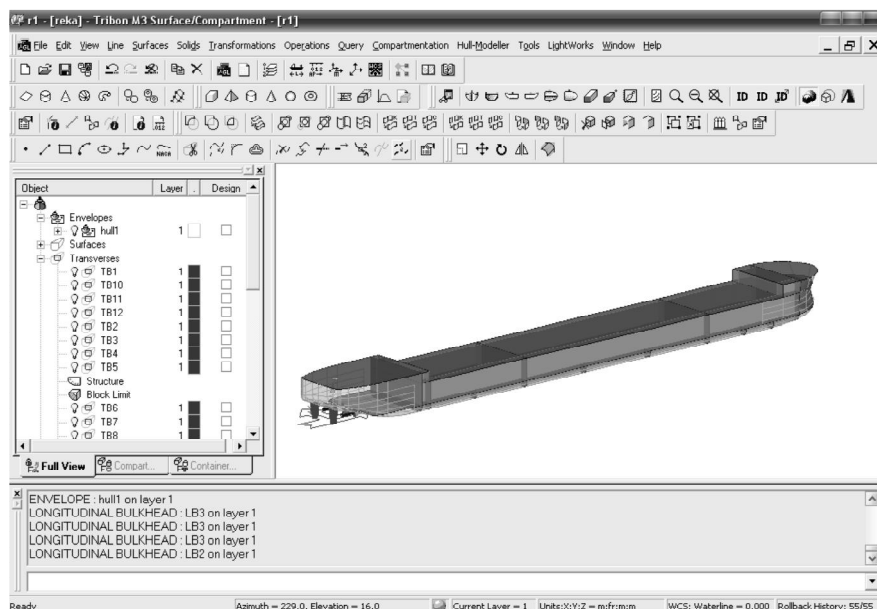


Рисунок 2 – Доработка модели в Surface&Compartment

После окончания доработки судовой поверхности целесообразно выполнить проверку соответствия эпюр емкости, построенных на основании геометрии поверхности и сгенерированных отсеков. Одноименные характеристики должны быть идентичны. В противном случае необходимо выполнение дополнительных корректировочных работ.

После создания всех внутренних объектов можно приступать к импорту модели для дальнейшего расчета ее характеристик, выполняемых в модуле Hydrostatics&Hydrodynamics [9, 10]. Для этого необходимо подготовить некоторые данные, в частности прорисовку профиля судна и верхней палубы (рис. 3). Данные генерируются автоматически соответствии с задаваемыми параметрами – указание Envelop и высоты борта.

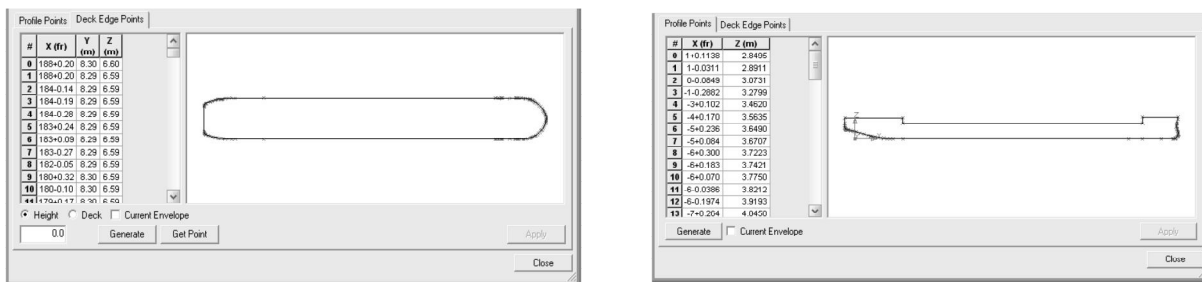


Рисунок 3 – Прорисовка контуров судна

При прорисовке бокового контура судна возможно внесение дополнительных точек, например, для прорисовки надстройки, если ее 3-мерная модель не была построена. Эта операция выполняется пользователем при необходимости – простым добавлением строк в соответствующую таблицу с последующим занесением имеющихся величин в ячейки.

Для приблизительной оценки водоизмещения судна порожнем может быть применена команда *Weights Analysis* (рис. 4).

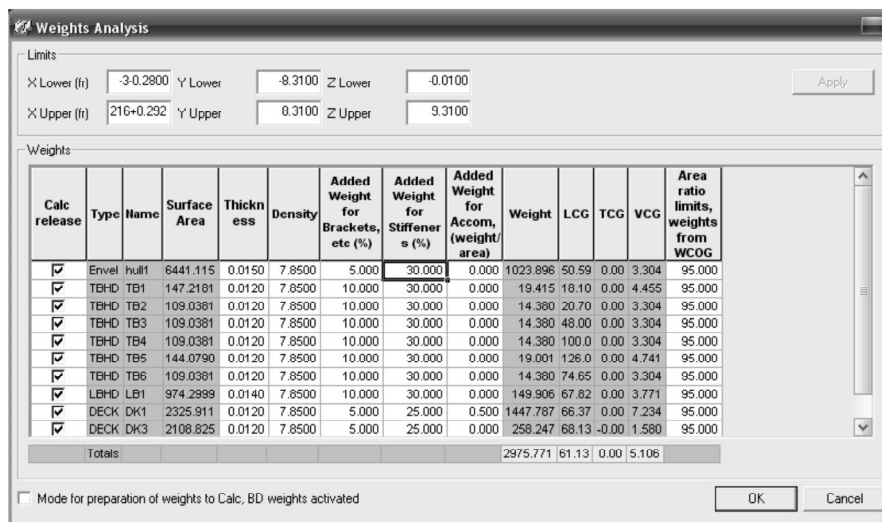


Рисунок 4 – Формирование приближенного водоизмещения порожнем

Особенностью использования указанного функционала является возможность задания добавочного веса за счет учета влияния:

- а) набора, бракет и прочих корпусных деталей, которые могут быть заданы в процентах от веса рассматриваемого элемента (палуба, переборка или вся поверхность);
б) установленного на судне оборудования. Данный параметр оказывает решающее влияние на конечный результат и задается отношением веса на площадь рассматриваемого элемента.

Кроме того имеется возможность задания толщины и плотности материала.

Итогом работы Weights Analysis является расчет веса и положения центра тяжести порожнего судна в соответствии с заданной таблицей нагрузки.

Для передачи расчетных данных в Hydrostatics&Hydrodynamics необходимо поставить флажок на соответствующем пункте, который находится внизу окна. В указанном модуле возможно определение водоизмещения порожнем не только путем импорта рассмотренной таблицы, но и генерации распределения весов вдоль судна в соответствии с требованиями Ллойда.

Вывод. Совместное использование рассмотренных САПР позволяет ускорить и оптимизировать процесс начального проектирования, а также успешно реализовать его предэскизную и эскизную стадии. Анализ и учет особенностей работы с импортируемыми поверхностями позволяет обеспечить возможность качественной доработки и расчета

различных характеристик разрабатываемой судовой поверхности.

Перспективы дальнейших исследований состоят в дальнейшем продвижении создаваемой модели по спирали проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липис Д. А. Применение универсальных общемашиностроительных систем автоматизированного проектирования в судостроении / Д. А. Липис, А. В. Машин // Rational Enterprise Management. – 2007. – № 2. – С. 34-35.
2. Чан Динь Тьен Информационные технологии в судостроении: существующие системы, сферы и возможности их использования / Чан Динь Тьен // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2009. – № 1. – С. 105-109.
3. Андрейчикова, А. Ю. Анализ современных систем автоматизированного проектирования в машиностроении (обзор) / А. Ю. Андрейчикова, А. Ф. Галь // Сб. научн. трудов НУК. – 2013. – № 1. – С. 27-31.
4. Кабанова Н. Н. Совместное использование САПР Rhinoceros и Aveva Marine на начальных стадиях проектирования судна [Электронный ресурс] / Н. Н. Кабанова // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд : всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю / Н. Н. Кабанова. НУК. – 2014. Режим доступу : <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/lectureDetail?conferenceId=26184&lectureId=28475>.
5. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows или Русский носорог : перевод с английского с дополнениями и исправлениями / Борис Фомин // Cengage Learning. – 2006. – 289 с.
6. Ron K.C. Cheng Inside Rhinoceros 5.0 [Text] / Ron K.C. Cheng. – 2014. – 656 p.
7. Surface. TM-2001 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.
8. Compartment. TM-2002 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.
9. Hydrostatics. TM-2005 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.
10. Hydrodynamics. TM-2007 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.

REFERENCES

1. Lipis D. A. Primenenie universalnykh obthemashinostroitelnykh sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya v sudostroenii / D. A. Lipis, A. V. Mashin // Rational Enterprise Management. – 2007. – № 2. – S. 34-35.
2. Chan Dinj Tjen Informacionnihe tekhnologii v sudostroenii: suthestvuyutshie sistemih, sferih i vozmozhnosti ikh ispoljzovaniya / Chan Dinj Tjen // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2009. – № 1. – S. 105-109.
3. Andreyjchikova, A. Yu. Analiz sovremennikh sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya v mashinstroenii (obzor) / A. Yu. Andreyjchikova, A. F. Galj // Sb. nauchn. trudov NUK. – 2013. – № 1. – S. 27-31.
4. Kabanova N. N. Sovmestnoe ispoljzovanie SAPR Rhinoceros i Aveva Marine na nachalnykh stadiyakh proektirovaniya sudna [Elektronniy resurs] / N. N. Kabanova // Suchasni tekhnologii proektuvannya, pobudovi, ekspluatacii i remontu suden, morskikh tekhnicheskikh zasobiv i inzhenernykh sporud : vseukraïnska naukovo-tekhnichna konferenciya z mizhnarodnoyu uchastyu / N. N. Kabanova. NUK. – 2014. Rezhim dostupu : <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/lectureDetail?conferenceId=26184&lectureId=28475>.
5. Fomin B. Rhinoceros. NURBS modelirovanie dlya Windows ili Russkiy nosorog : perevod s angliyskogo s dopolneniyami i ispravleniyami / Boris Fomin // Cengage Learning. – 2006. – 289 s.
6. Ron K.C. Cheng Inside Rhinoceros 5.0 [Text] / Ron K.C. Cheng. – 2014. – 656 p.
7. Surface. TM-2001 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.

8. Compartment. TM-2002 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.
9. Hydrostatics. TM-2005 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.
10. Hydrodynamics. TM-2007 [Text]. – Cambridge : Aveva Solutions Ltd, 2010.

Кабанова Н.М. ОСОБЛИВОСТІ СПІЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ RHINOCEROS І AVEVA MARINE ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СУДНА

Обгрунтовано вибір комбінації систем Rhinoceros та Aveva Marine при роботі з тривимірною поверхнею транспортного судна з метою оптимізації процесу його проектування на передескізній та ескізній стадіях. Вказані особливості імпорту в Aveva Marine моделей зі сторонніх систем автоматизованого проектування, перераховані можливі помилки при роботі з ними, пов'язані з особливостями сприйняття різними системами геометрії об'єктів. Вказано шляхи усунення недоліків суднової поверхні, що виникли при її імпорті в систему, що дозволить забезпечити успішність створення різних внутрішніх об'єктів і подальших розрахунків. Наведено алгоритми доопрацювання імпортованої поверхні та аналізу коректності її геометрії, виходячи з параметрів стройової по шпангоутах. Розглянуто особливості підготовки даних для подальшого розрахунку характеристик суднової поверхні, які виконуються в модулі Hydrostatics&Hydrodynamics. Розглянуто функціональні особливості, що дозволяють виконати приблизну оцінку водотоннажності судна порожнем.

Ключові слова: автоматизоване проектування, Rhinoceros, Aveva Marine, суднова поверхня.

Kabanova N.N. THE FEATURES OF COMBINED USE OF RHINOCEROS AND AVEVA MARINE DURING SHIP DESIGNING

The choice of Rhino and Aveva combination is substantiated that occurs during working with three-dimensional surface of transport ship. The aim of this choice is to optimize the ship's initial design process. The features of imported models to Aveva Marine from third-party CAD systems are specified. Likely mistakes which could emerge during work with surface are listed. These mistakes are associated with perception of objects' geometry by different systems. Ways for flaws elimination of imported ship surface are indicated. It will ensure the successful establishment of various internal objects and further calculations. Algorithms for improvement of imported surface and it's geometry analysis which is based on the parameters of section area curve are presented. The features of data's preparation are considered for further calculation of surface's characteristics which are made in the module Hydrostatics & Hydrodynamics. The functional features of the system are reviewed. These features are allow to estimate vessel's approximate lightweight.

Keywords: computer-aided design, Rhinoceros, Aveva Marine, ship surface.

© Кабанова Н. М.

Статтю прийнято
до редакції 05.07.15

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАГАТОДВИГУННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Крупіца П.О., Рожков С.О.

Херсонська державна морська академія

Шарко О.В.

Херсонський національний технічний університет

У роботі наведено оптимальний закон керування двигуном змінного струму для різних видів навантаження на його вал. Наведена функціональна схема системи управління багатодвигунним електроприводом зі змінними параметрами, яка управляє асинхронними двигунами змінного струму. Це дозволяє замінити менш надійні в експлуатації за рядом причин двигуни постійного струму, що на даний момент часу ще широко використовуються у різних галузях промисловості та транспорту. Дано опис усіх блоків, що входять до складу системи управління. Детально розглянуто ланцюг формування сигналу корекції, що дозволяє отримати режим роботи асинхронного двигуна з мінімальним споживанням струму обмотками статора. Приведені експериментальні криві знаходження мінімуму струму в приводному двигуні при різних параметрах механізму.

Ключові слова: асинхронний двигун, система управління, багатодвигунний електропривод.

У сучасних технічних комплексах використовуються складні електромеханічні системи, які мають у своєму складі багатодвигунні електроприводи [1]. Такі системи можна зустріти в машинобудуванні, залізничному, авіаційному, морському транспорті, в переробній і текстильній галузях та ін.

Незважаючи на велику різноманітність технологічних процесів, де використовуються такі системи, загальним є те, що розмірна точність і якісні властивості оброблюваних виробів в основному визначаються швидкістю обертання валів, співвідношенням швидкостей суміжних машин, синфазністю їх обертання, іншими словами – вихідними координатами виконавчих пристроїв [2, 3].

Найбільшу ефективність можна отримати при комплексному вирішенні задач управління технологічним процесом, що призводить до все тіснішого злиття систем автоматичного регулювання технологічних параметрів, що визначають фізико-механічні властивості та розміри продукції, і параметрів електроприводу (струму, напруги, швидкості, моменту, кута повороту і т.п.).

Аналізуючи досвід з розробки та впровадження взаємопов'язаних електроприводів і враховуючи фактор уніфікації типових модулів приводів у виготовленні й експлуатації подібних систем, можна сформулювати ряд чітких і конкретних вимог до таких систем [1, 1–5]:

- оскільки зв'язок машин або секцій, що входять до складу потокової лінії (агрегату), здійснюється через оброблюваний матеріал, необхідною умовою є забезпечення стійкої узгодженої (з продуктивності, швидкості, прискоренню або їх сукупності) роботи взаємопов'язаних електроприводів при будь-якій кількості двигунів;

- для отримання заданих якостей вихідного продукту (щільність матеріалу, питома вага, розмірність і т.п.), в деяких зонах обробки необхідно створювати витяжки (усадки) продукту з високим ступенем стабілізації як швидкості, так і керованого співвідношення швидкостей в заданому діапазоні;

- умови пуску та зупинки агрегатів із взаємопов'язаним електроприводом, крім синхронного, а часто і синфазного руху вимагають обмеження прискорення, так як частина машин мають великий момент інерції та при виникненні неприпустимих піків динамічних моментів можливі порушення нормальної роботи і, навіть, виникнення аварійних ситуацій;

- необхідність мати стандартизований перехідний процес;

- висока точність обробки різних збурень у статичному режимі;

- алгоритми управління та регулятори технологічними процесами не можна розглядати у відриві від обраної системи взаємопов'язаних електроприводів;
- необхідність забезпечення мінімальних впливів перетворювальних елементів (IGBT, GTO) вентильних електроприводів один на одного, на мережу живлення та ін.

Широке застосування знаходять системи, які реалізовані з використанням декількох двигунів постійного струму. При цьому один електродвигун із незалежним збудженням приводить у рух усю транспортну систему агрегату, а другий, з послідовним збудженням, – тільки виконавчі механізми і має м'яку механічну статичну характеристику. Особливістю управління електродвигуном є застосування тиристорного перетворювача зі статичним способом регулювання напруги в якості джерела живлення електричної машини. Проте застосування машин постійного струму в таких системах практично не є ефективним за рядом причин [11, 6–8], таких як: ненадійність елементів передачі енергії в обертаючу частину машини (щітки), високі показники матеріально-трудових витрат під час експлуатації та ремонту двигунів та інше.

Більш простим по конструкції та дешевим за експлуатаційними витратами є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором [9]. Однак для реалізації широкого діапазону регулювання швидкості та моменту в системах необхідно застосовувати напівпровідникову техніку з частотними перетворювачами [10].

Це пояснюється тим, що електромагнітний момент асинхронного двигуна залежить від величини амплітуди живлючої напруги U_1 та її частоти f_1 :

$$M_{\max} = \frac{\pm m_1 \cdot U_1^2}{4\pi \cdot f_1 \cdot (X_1 + X_2') \cdot p} = \pm \frac{C \cdot U_1^2}{f_1^2}, \quad (1)$$

де C – постійна.

При зміні частоти f_1 необхідно змінювати значення U_1 для того, що не перевантажувати двигун по струму та магнітному потоку і забезпечувати сталу роботу приводу. Для цього необхідно змінювати f_1 та U_1 за певним законом, який би забезпечував достатню перевантажувальну здатність асинхронного двигуна. Він був запропонований професором Костенко і в загальному випадку має вигляд [11]:

$$\gamma = \alpha \cdot \sqrt{\mu}, \quad (2)$$

де $\gamma = U_1 / U_{1n}$ – відношення амплітуди напруги живлення до номінального значення, $\alpha = f_1 / f_{1n}$ – відношення значення частоти до номінального значення; $\mu = M / M_n$ – відношення моменту до його номінального значення.

Для механізмів лебідок, вантажних кранів, верстатів у яких стале навантаження ($M = \text{const}$), рівняння (2) записується так $\gamma = \alpha$. Для механізмів гвинтіляторів, відцентрових насосів, гребних гвинтів рівняння (2) приймає вигляд $\gamma = \alpha^2$. А у механізмах, які працюють з постійною потужністю (навиваючі пристрої, деякі механізми головного руху металооброблюючих верстатів), рівняння (2) перетворюється до виразу $\gamma = \sqrt{\alpha}$.

Тому, будь-яка система управління асинхронним двигуном має реалізовувати закон Костенко в залежності від навантаження на валу двигуна [10, 11].

У даній статті розглядається варіант автоматизованої системи управління багатодвигунним електроприводом із застосуванням асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором в якості приводних електричних машин. На рис. 1. наведено функціональну схему такої системи.

Формування сигналу $\pm U_K$ відбувається у ланцюзі, що виконує функцію корегування для отримання режиму роботи двигуна М2 з мінімальним струмом.

На перший вхід блока множення АХ подається сигнал завдання швидкості U_C , а на другий вхід – сигнал з давача натягу ВФ U_{BF} , що відповідає значенню натягу матеріалу, що транспортується між механізмами агрегатів ОС1 та ОС2. На виході блока множення формується сигнал, що пропорційний потужності, яка витрачається на створення натягу:

$$U_{P2} = k \cdot U_C \cdot U_{BF}$$

де k – коефіцієнт множення.

На суматорі 3 цей сигнал віднімається від сигналу U_{P1} , що формується за допомогою вимірювача потужності АН, який вимірює активну потужність асинхронного двигуна М2 під час роботи. Різниця сигналів з суматора 3:

$$\Delta U_P = U_{P1} - U_{P2}$$

подається на перемикач SA на виходах якого формуються сигнали $-\Delta U_P$ та $+\Delta U_P$. Ці сигнали запам'ятовуються у пристроях пам'яті DS1 та DS2 і подаються на входи генератора порівняння UW. Після генератора сигнал проходить через ступінчастий інтегратор UI2 на виході якого формується сигнал корекції $\pm U_K$. За допомогою цього сигналу відбувається корегування сигналу, що формується за оптимальним законом частотного управління. Це дозволяє отримати режим роботи двигуна М2 зі споживанням мінімального значення струму статора електричної машини [12].

На рис. 2 наведено експериментальні криві при знаходженні мінімуму струму в М2 при різних параметрах механізму ОС2.

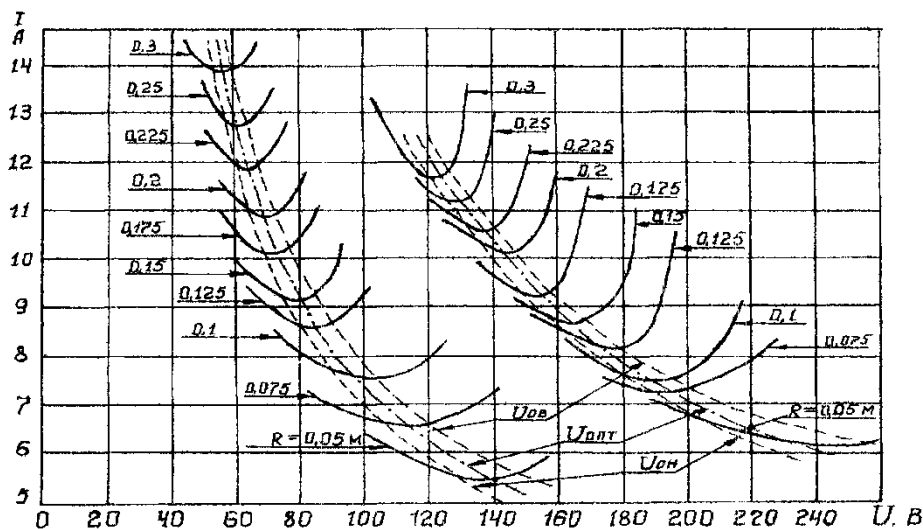


Рисунок 2 Експериментальні криві знаходження мінімуму струму у двигуні М2 при різних параметрах механізму ОС2

Висновки. При управлінні багатодвигунним електроприводом необхідно знаходити оптимальний режим управління, враховуючи зміну параметрів механізму та струмового навантаження. Для живлення асинхронних двигунів варто застосовувати матричні перетворювачі частоти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Локарев В. И. Судовые автоматизированные электроприводы : учеб. пособие / В. И. Локарев. – Николаев : УГМТУ, 2002. – 160 с.

2. Mueller M. Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems [Text] / M. Mueller. – Woodhead Publishing, 2003. – 280 p.
3. Hughes A. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications [Text] / A. Hughes, B. Drury. – Newnes, 2013. – 440 p.
4. Werner L. Control of Electrical Drives Springer [Text] / L. Werner. – Verlag Berlin Heidelberg, 2001. – 460 p.
5. Buja G. Direct Torque Control of PWM Inverter-Fed AC Motors – A Survey [Text] / G. Buja, M. P. Kazmierkowski // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. –2004. – № 4 (5)). – pp. 744–757.
6. Leonard W. Control of Electrical Drives [Text] / W. Leonard. – Berlin : Springer, 1996. – 420 p.
7. Schröder P. Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen, 2 Auflage [Text] / P. Schröder. – Berlin : Springer, 2001. – 1172 p.
8. Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control [Text] / P. Vas – Oxford : Oxford University Press, 1998. – 768 p.
9. Гольдберг О. Д. Надежность электрических машин : учебник для студ. высш. учеб. заведений / О. Д. Гольдберг, С. П. Хелемская : под. ред. О.Д. Гольберга. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
10. Рудаков В. В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В. В. Рудаков, И. М. Столяров, В. А. Дартау. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
11. Петрушин В. С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе : учеб. пособие / В. С. Петрушин – Одесса : Наука и техника, 2006. – 320 с.
12. Крупіца П. О. Система керування електроприводом змінного струму з мінімальним споживанням струму для шліхтувальної машини / П. О. Крупіца, Г. С Якимчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2004. – № 62. – С. 61-63.

REFERENCES

1. Lokarev, V.Y. (2002). Sudovye avtomatyzyrovannye elektropriyody: Ucheb. posobyе. Nykolaev, UHMTU, 160.
2. Mueller, M. (2003). Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems. Woodhead Publishing, 280.
3. Hughes, A. B. Drury (2013). Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. Newnes, 440.
4. Werner, L. (2001). Control of Electrical Drives Springer. Verlag Berlin Heidelberg, 460.
5. Buja, G., M. P. Kazmierkowski (Aug 2004). Direct Torque Control of PWM Inverter-Fed AC Motors. (pp. 1-19). IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, pp. 744 - 757
6. Leonard, W. (1996). Control of Electrical Drives. Berlin: Springer, 420.
7. Schröder, P. (2001). Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen, 2 Auflage. Berlin: Springer, 1172.
8. Vas, P. (1998). Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford: Oxford University Press, 768.
9. Holdbergh, O.D. (2010). Nadezhnost' elektrycheskykh mashyn. Uchebnyk dlia stud. vyssh. ucheb. zavedenyi. Moscow. Yzdatelskyi tsentr «Akademyia», 288.
10. Rudakov, V.V. (1987). Asynkhronnye elektropriyody s vektornym upravlenyem. Leningrad. Enerhoatomyzdat, 136.
11. Petrushyn, V.S. (2006). Asynkhronnye dvyhately v rehulyruemom elektropriyode: Ucheb. posobyе. Odessa. Nauka y tekhnika, 320.

12. Krupitsa, P.O., Yakymchuk H. S. (2004). Systema keruvannia elektropryvodom zminnoho strumu z minimalnym spozhyvanniam strumu dlia shlikhtuvalnoi mashyny. Elektromashynobuduvannia ta elektroobladnannia, 62, 61 – 63.

Крупница П.А., Рожков С.А., Шарко А.В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статье приведен закон оптимального управления двигателем переменного тока для разных видов нагрузки на его валу. Приведена функциональная схема управления многодвигательным электроприводом с переменными параметрами, которая управляет асинхронным двигателем переменного тока. Это позволяет произвести замену менее надежных в эксплуатации по некоторым причинам двигателей постоянного тока, что в данный момент времени еще широко используются в разных производственных отраслях и транспорте. Описано все блоки, что входят в состав системы управления. Детально раскрыт принцип работы цепи формирования сигнала коррекции, которая позволяет получить режим работы асинхронного двигателя с минимальным потреблением тока обмотками статора. Приведены экспериментальные кривые нахождения минимума тока в приводном двигателе при разных параметрах механизма.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, система управления, многодвигательный электропривод.

Krupica P.A., Rozhkov S.A., Sharko A.V. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

In the article the law of optimal control AC motor for different types of load on its shaft. The functional control scheme multiimpellent electrically with variable parameters, which controls AC induction motor. This makes it possible to replace less reliable in operation for some reason, DC motors, that at any given time has been widely used in various industrial sectors and transport. It describes all units that are part of the control system. Disclosed in detail the principle of operation of the signal correction circuit that allows you to get the operation of the induction motor with minimum current consumption of the stator windings. The experimental curves of finding the minimum current in the drive motor for different parameters of the mechanism.

Keywords: induction motor, control system, electric multimotor.

© Крупница П. О., Рожков С. О., Шарко О. В.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.15

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ ВИБОРІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ У ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Шарко О.В., Степанчиков Д.М.

Херсонський національний технічний університет

Обґрунтовано можливість розгляду проблеми теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель як багатокритеріальної задачі в умовах невизначеності. Проведено адаптацію математичних алгоритмів теорії ігор для використання у процесі прийняття рішень при впровадженні заходів з теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель. При цьому використано математичні методи нечіткої логіки. За допомогою розробленого методу отримано рейтинг матеріалів для теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель. Отримано низку практично важливих співвідношень. Показано інноваційність і перспективність розробленого підходу.

Ключові слова: нечітка логіка, енергозбереження, матричні ігри, матеріали для утеплення.

Постановка проблеми. Із часу здобуття незалежності в Україні було проведено ряд досліджень, які виявили основні проблеми, що стоять перед енергетичним сектором країни: дуже високий рівень енергоемності; велика залежність від імпорту енергоносіїв; низька ефективність використання енергії [1].

Подолання третьої проблеми передбачає заходи з оптимізації або безпосередньо при виробництві енергії або при її транспортуванні, або при її використанні кінцевим споживачем. Останній напрям практично повністю визначається ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві. Слід зауважити, що на комунальну сферу припадає 30 % від усього потенціалу енергозбереження в Україні і це друге місце після промисловості. Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві, передбачає реалізацію трьох напрямків: модернізація теплогенераторів і систем опалення, облік та регулювання, теплозахист будівель.

В умовах зменшення запасів органічного палива у світі та його подорожчання для споживачів необхідність скорочення енергоспоживання будівель не викликає сумніву. І ціна питання для України може сягати щорічно понад декілька млрд. дол. економії при імпорті енергоносіїв. Марнотратство у використанні паливно-енергетичних ресурсів призвело до того, що саме в Україні енергетична криза носить найбільш яскраво виражений характер. Україна зараз є однією з найбільш енерговитратних країн світу. Проте, слід відмітити, що витрати на видобуток або на купівлю органічного палива в 2,5 рази вищі, ніж витрати на забезпечення економії 1 т умовного палива за рахунок енергозбереження [1].

Дослідження показали, що при експлуатації традиційного багатоповерхового житлового будинку через зовнішні стіни втрачається до 40 % тепла, через вікна – 18 %, підвал – 10 %, покриття – 18 %, вентиляцію – 14 % [2]. Тому звести тепловтрати до мінімуму можна лише при комплексному підході до енергозбереження від перелічених складових. Але лівова частка цих втрат припадає на стіни, і тому перший і найважливіший крок при реалізації теплозахисту будівель – це утеплення зовнішніх стін. Підвищення рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій веде до зменшення трансмісійних втрат теплової енергії. Чим меншими є втрати теплоти у будинку, тим меншу кількість теплової енергії треба підвести до будинку від джерела тепла для їх компенсації. Таким чином, утеплення веде до зменшення енергії, яка споживається у будинку, а отже, до зниження плати за опалення, а також до економії енергоресурсів. На цьому принципі ґрунтується економічний ефект, викликаний впровадженням даного заходу з енергозбереження [3–6].

Задача про вибір оптимального матеріалу утеплювача та його товщини потребує врахування багатьох факторів: вартість теплоізоляції та вартість теплових втрат, період окупності теплозахисних заходів, широка номенклатура сучасних матеріалів для утеплення фасадів, різні типи капітальних стін будинків, кліматична зона розташування будинку, тип джерела теплової енергії, вологісний режим експлуатації, конструкція та конфігурація зовнішніх стін. Крім того, при виборі типу утеплювача необхідно розглядати такі фактори як довговічність матеріалу, міцність, можливість зовнішньої обробки, безпека для здоров'я, горючість, паропроникність, вага утеплювача, шумоізоляція. Отже, маємо типову задачу з різними за характером невизначеностями, що передбачає багато розв'язків при варіюванні різних вихідних показників.

Розв'язок задачі. В умовах невизначеності основна складність полягає у побудові моделей, адекватних реальній обстановці, а також у виборі математичних засобів прийняття рішень. У теорії прийняття рішень термін «невизначеність» відображає не стільки невизначеність реальної обстановки, скільки рівень наших знань, розуміння, вивченості різних процесів, їх взаємозв'язку. Це означає, що слід говорити не про невизначеність реальної ситуації, а про невизначеність моделі, на підставі якої приймається рішення. Одним з ефективних методів вирішення подібних задач є математичні алгоритми нечіткої логіки [7].

Мета та задачі роботи – використання математичного апарату нечіткої логіки як засобу прийняття рішення в умовах невизначеності при виборі стратегії енергозберігаючих заходів на прикладі визначення оптимального теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель.

Об'єкт дослідження – вибір і використання сучасних методів і матеріалів для теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель та їх вплив на підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності теплозахисних заходів.

Предмет дослідження – застосування математичних алгоритмів теорії ігор у прийнятті рішень при виборі матеріалу для теплозахисту зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель.

Прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику починається з побудови платіжної матриці. Платіжна матриця являє собою спрощену формалізовану модель реальної конфліктної ситуації. Термін «платіжна матриця» є синонімом терміна матриця ефективності [7]. Позначимо через m – число можливих стратегій, що визначають правила дії особи, яка приймає рішення $A_1, A_2, \dots, A_m$, і через n – число можливих станів зовнішнього середовища $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$. Тоді аналітичне представлення вибору оптимальної стратегії функціонування виробництва в умовах динамічних змін зовнішнього середовища буде виглядати у формі матриці $m \times n$, де число рядків $i = 1, \dots, m$, а число стовпчиків $j = 1, \dots, n$.

$$A = \begin{pmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 & \dots & \Pi_n \\ A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & \alpha_1 \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & \alpha_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & \alpha_m \\ & \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_n & \end{pmatrix} \quad (1)$$

де a_{ij} – значення переваг від прийнятого рішення в умовах невизначеності, $\alpha_i = \min a_j$, $\beta_j = \max a_i$.

Модель реальної конфліктної ситуації можна представити й у вигляді матриці ризиків $R = \|r_{ij}\|_{m,n}$, яка побудована з платіжної матриці шляхом перетворень $r_{ij} = \beta_j - a_{ij}$ [7].

Аналіз отриманих матриць проводять за критеріями Лапласа, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Байєса [7]. Кожен з цих критеріїв вказує на перевагу певної стратегії. Шляхом перехресного порівняння отриманих результатів та підрахунку кількості стратегій, що збігаються за різними критеріями та при різних наборах елементів a_{ij}, r_{ij} матриць, визначають ту стратегію (тип та товщину утеплювача), яка буде найбільш оптимальною при даних фіксованих зовнішніх входних показниках. Подібні дії повторюють для іншого набору фіксованих зовнішніх показників. Таким чином, маємо складне (позиційне або багатоступеневе) рішення.

Для розв'язку задачі про знаходження оптимальної товщини та типу утеплювача у якості стратегій $A_1, A_2, \dots, A_m$ можна обрати тип утеплювача. У нашому дослідженні було розглянуто такі матеріали для створення теплозахисту: пінопласт, мінеральна вата, пінополістирол, скловолокно, пінополіуретан, ековата, піноізол, піноскло.

У якості можливих станів $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ можна обрати головні теплофізичні, екологічні, експлуатаційні, інформаційні характеристики матеріалу утеплювача (таб. 1). При такому підході елементи матриці (1) треба подати у балах (наприклад, за п'ятибальною шкалою), керуючись при цьому корисністю з точки зору поставленої задачі. Якщо з точки зору теплозахисту корисним є мінімальне (або максимальне) значення певної характеристики x , то переведення у п'ятибальну шкалу здійснюємо відповідно за формулами:

$$x_5^{\min} = \frac{5x_{\min}}{x} ; \quad x_5^{\max} = \frac{5x}{x_{\max}} \quad (2)$$

де $x_{\min}, x_{\max}$ – мінімальні та максимальні значення відповідної фізичної величини серед порівнюваних матеріалів.

У випадку, коли певна характеристика не вимірюється у числових одиницях, переведення у п'ятибальну шкалу здійснюється на підставі порівняння її з ідеальним значенням для реалізації теплозахисту і присвоєння певного балу.

Таблиця 1 – Головні характеристики матеріалів утеплювача, які аналізуються в роботі

<i>Теплофізичні</i>	<i>Екологічні</i>	<i>Експлуатаційні</i>	<i>Інформаційні</i>
густина теплопровідність теплоємність теплотривалість паропроникність вологопроникність шумоізоляція міцність	горючість займистість димотворення токсичність безпека для здоров'я	мінімальна товщина довговічність простота монтажу можливість зовнішньої обробки заповнення пустот стабільність розмірів	популярність серед споживачів доступність на ринку номенклатура типів

По кожній характеристиці визначається середній бал. По середніх балах сформовано платіжну матрицю (табл. 2) та матрицю ризиків, які аналізувалися на підставі критеріїв, описаних вище. Такий аналіз будемо називати характеристичним.

Іншим підходом до аналізу і вибору матеріалів утеплювача є платіжні матриці і матриці ризиків, де у якості можливих стратегій $A_1, A_2, \dots, A_m$ обирають матеріал, а у якості можливих станів середовища $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ обирають товщину шару утеплювача. Якщо елементами платіжної матриці обрати значення річної ефективної вартості C_{ef}

теплоізоляції, взяту з протилежним знаком (табл. 3), то маємо економічний аналіз. Під ефективною вартістю теплоізоляції слід розуміти суму:

$$C_{ef} = C_{вт} + C_{із} \quad (3)$$

де $C_{вт}$ – вартість річних втрат тепла, $C_{із}$ – питома вартість ізоляції.

Таблиця 2 – Платіжна матриця по головних характеристиках матеріалів утеплювача за п'ятибальною шкалою

Характеристики	Теплофізичні	Екологічні	Експлуатаційні	Інформаційні	min
пінопласт ПСБ-С-25	2,59	2,20	3,54	4,67	2,20
мінеральна вата	2,06	3,50	3,32	3,83	2,06
пінополістірол екструзійний	2,20	2,10	2,80	2,83	2,10
скловолокно	2,89	4,50	3,49	3,17	2,89
пінополіуретан	2,87	3,00	3,40	2,17	2,17
ековата	2,36	3,70	3,42	1,50	1,50
піноізол	2,67	3,40	3,34	1,67	1,67
піноскло	2,56	4,80	3,79	1,00	1,00
max	2,89	4,80	3,79	4,67	

Таблиця 3 – Платіжна матриця по ефективній вартості теплоізоляції (елементи матриці – C_{ef} (грн.), стіна – керамзитобетон 335 мм, центральне опалення, 3500 градусо-діб)

Матеріал / товщина	L=20 мм	L=50 мм	L=80 мм	L=110 мм	L=140 мм	L=170 мм	min
пінопласт ПСБ-С-25	-36,197	-26,843	-23,644	-22,820	-23,159	-24,153	-36,197
мінеральна вата	-35,389	-27,128	-25,290	25,808	-27,452	-29,720	-35,389
пінополістірол екструзійний	-36,426	-31,348	-32,840	-36,664	-41,584	-47,103	-47,103
скловолокно	-33,956	-25,173	-22,960	-23,079	-24,294	-26,108	-33,956
пінополіуретан	-34,648	-38,364	-48,884	-61,401	-74,773	-88,589	-88,589
ековата	-34,822	-28,540	-28,916	-31,601	-35,358	-39,700	-39,700
піноізол	-30,763	-21,167	-18,365	-17,805	-18,261	-19,262	-30,763
піноскло	-43,667	-46,381	-55,363	-66,713	-79,213	-92,359	-92,359
max	-30,763	-21,167	-18,265	-17,805	-18,261	-19,262	

Якщо елементами платіжної матриці обрати ККД теплоізоляції, то маємо енергетичний аналіз. При цьому під ККД розуміємо співвідношення:

$$\eta = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \quad (4)$$

де Q_0 – втрати тепла крізь 1 м^2 стіни без ізоляції, Q – втрати тепла крізь 1 м^2 стіни при наявності ізоляції.

При проведенні описаного вище аналізу можна варіювати різні вхідні (зовнішні) показники, такі як різниця внутрішньої та середньої зовнішньої температури протягом опалювального сезону (різні температурні зони країни), кількість градусо-днів, матеріал (керамзитобетон, цегла, газобетон, дерево, тощо) та товщина капітальної стіни будівлі, тип опалювання приміщення (централізоване опалення від теплової мережі, індивідуальне опалення різними типами котлів та палива), тепловологісний режим в опалювальний період. Запропонований метод апробовано для двох температурних зон України.

Розглядалося утеплення зовнішніх стін житлових будинків різними типами утеплювача різної (але дискретно змінюваної) товщини, розгляд енергетичних та економічних параметрів огорожувальної конструкції проводився у розрахунку на 1 м² поверхні.

Основні результати та висновки. Таким чином, застосування вище описаних підходів (характеристичний, енергетичний та економічний) дає шість матриць (три платіжні і три матриці ризиків). В результаті їх аналізу отримаємо три групи «рекомендованих» матеріалів (табл. 4), серед яких після перехресного порівняння можна обрати декілька найбільш оптимальних матеріалів. При складанні «рейтингів» враховано кількість попадань у список кожного матеріалу за різними критеріями (Лапласа, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Байєса), що дозволило отримати остаточний «рейтинг» у відносному вигляді (рис. 1).

Таблиця 4 – «Рейтинги» матеріалів утеплювача за даними різних аналітичних підходів

<i>Характеристичний аналіз</i>	<i>Енергетичний аналіз</i>	<i>Економічний аналіз</i>
1. скловолокно	1. скловолокно	1. піноскло
2. пінопласт	2. пінополістирол	2. пінополістирол
3. піноізол	3. пінопласт	3. піноізол
4. мінеральна вата	4. пінополіуретан	4. пінополіуретан
5. пінополіуретан	5. піноскло	5. скловолокно

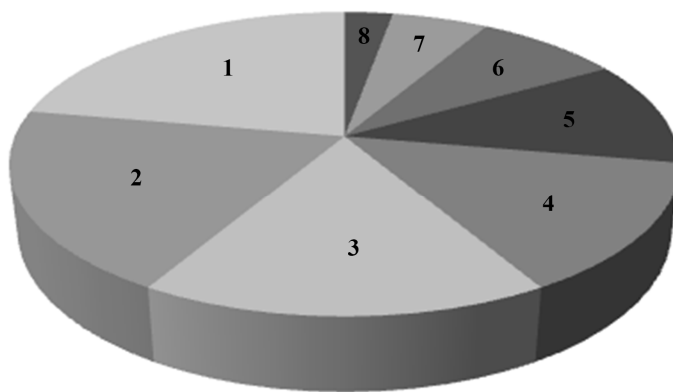


Рисунок 1 – Остаточний «рейтинг» досліджуваних матеріалів для утеплення огорожувальних конструкцій житлових будівель: 1 – скловолокно, 2 – пінопласт, 3 – пінополістирол, 4 – піноізол, 5 – піноскло, 6 – пінополіуретан, 7 – мінеральна вата, 8 – ековата

Для перших трьох матеріалів остаточного «рейтингу» визначено економічну товщину теплоізоляції, за допомогою методу мінімуму приведених витрат [2, 3, 6]. У результаті отримано: скловолокно 100 мм, пінопласт 120 мм, пінополістирол 60 мм.

Серед головних висновків слід виділити наступні:

1. Обґрунтовано можливість розгляду проблеми теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель як багатокритеріальної задачі в умовах невизначеності.

2. Проведено адаптацію математичних алгоритмів теорії ігор для використання у процесі прийняття рішень при впровадженні заходів з теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель, запропоновано варіанти побудови платіжної матриці та матриці ризику.

3. Застосовано матричний метод теорії ігор для вибору оптимального матеріалу для теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель. Обрані матеріали утеплювача розглянуто з точки зору чотирьох головних груп характеристик (теплофізичних, екологічних, експлуатаційних, інформаційних), а також на підставі економіко-енергетичного аналізу.

4. Проведено порівняння отриманих результатів, на підставі якого складено «рейтинг» матеріалів для теплозахисту огорожувальних конструкцій житлових будівель.

5. Показано перспективність та потенціал розробленого теоретичного підходу для застосування у процесі прийняття рішень із технологічного розвитку енергетичного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сапожніков С. В. Енергетичний аудит : навч. посібник / Сапожніков С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 120 с.
2. Андропова О. В. Энергобереження та утилізація енергетичних відходів : навч. посібник / Андропова О. В., Буряченко В. І., Курак В. В. – Херсон : ХНТУ, 2007. – 165 с.
3. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В. Г. Гагарин // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 10-16; № 2. – С. 14-23; № 3. – С. 62-67.
4. Ковалев И. Н. Рациональные решения при экономическом обосновании теплозащиты зданий / Ковалев И. Н. // Энергосбережение. – 2014. – № 8. – С. 14-19.
5. Ковалев И. Н. Инвестиционная оптимизация технических систем с непрерывно изменяемыми параметрами при проектировании / И. Н. Ковалев // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С.61-67.
6. Горшков А.С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий / А. С. Горшков // Энергосбережение. – 2014. – № 4. – С.12-19.
7. Дубров А. М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе / А. М. Дубров, Б. А. Лагоша, Е. Ю. Хрусталева. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 176 с.

REFERENCES

1. Sapozhnikov S. V. Energetichnij audit : navch. posibnik / Sapozhnikov S. V. – Sumi : Sums'kiy derzhavniy universitet, 2011. – 120 s.
2. Andronova O. V. Energozberezhennya ta utilizaciya energetichnikh vidkhodiv : navch. posibnik / Andronova O. V., Buryachenko V. I., Kurak V. V. – Kherson : KhNTU, 2007. – 165 s.
3. Gagarin V. G. Metodih ehkonomicheskogo analiza povisheniya urovnya teplozathitih ograzhdayuthikh konstrukcij zdaniy / V. G. Gagarin // AVOK. – 2009. – № 1. – S. 10-16; № 2. – S. 14-23; № 3. – S. 62-67.
4. Kovalev I. N. Racionalnihe resheniya pri ehkonomicheskom obosnovanii teplozathitih zdaniy / Kovalev I. N. // Ehnergosberezhenie. – 2014. – № 8. – S. 14-19.
5. Kovalev I. N. Investicionnaya optimizaciya tekhnicheskikh sistem s neprerivno izmenyaemihmi parametrami pri proektirovanii / I. N. Kovalev // Ehnergosberezhenie. – 2013. – № 6. – S.61-67.
6. Gorshkov A.S. Ob okupaemosti investiciy na uteplenie fasadov suthestvuyuthikh zdaniy / A. S. Gorshkov // Ehnergosberezhenie. – 2014. – № 4. – S.12-19.
7. Dubrov A. M. Modelirovanie riskovihkh situacij v ehnomike i biznese / A. M. Dubrov, B. A. Lagosha, E. Yu. Khrustalev. – M. : Finansih i statistika, 2000. – 176 s.

Шарко А.В., Степанчиков Д.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Обоснована возможность рассмотрения проблемы теплозащиты ограждающих конструкций зданий как многокритериальной задачи в условиях неопределенности. Проведена адаптация математических алгоритмов теории игр для использования в процессе принятия решений при проведении мероприятий по теплозащите ограждающих конструкций жилых зданий. При этом используются математические методы нечеткой логики. С помощью разработанного метода составлен рейтинг материалов для теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Выведены некоторые практически важные соотношения. Показана инновационность и перспективность такого подхода.

Ключевые слова: нечеткая логика; энергосбережение; матричные методы теории игр, материалы для утепления.

Sharko A.V., Stepanchikov D.M. USE OF FUZZY LOGIC METHODS TO SELECT OF AN ENERGY-SAVING STRATEGY IN THE HOUSING AND PUBLIC UTILITIES

The heat-shielding of building envelopes as a multicriteria problem in the conditions of uncertainty is proved. Adaptation of mathematical algorithms of the game theory for a strategy selecting of heat-shielding of building envelopes is featured. The mathematical methods of fuzzy logic are used. By means of a designed method the rating of materials for heat-shielding of fencing constructions of buildings is constituted. Some practically important relations are deduced. Innovation and perspective of such approach are shown.

Keywords: *fuzzy logic; energy-saving; matrix methods of game theory, heat-shielding materials.*

© Шарко А. В., Степанчиков Д. М.

Статтю прийнято
до редакції 09.10.15

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Агеєв М. С., к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Акімов О. В., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Алейніков М. В., капітан далекого плавання	ТОВ «Південне річне пароплавство», м. Херсон
Безлуцька О. П., к.і.н., доцент, доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Бень А. П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи	Херсонська державна морська академія
Браїло М. В., к.т.н., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Букетов А. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Букетова Н. М., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Васюхін М. І., д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж	Національний університет біоресурсів і природокористування України
Волков Ю. В., здобувач	Кіровоградський національний технічний університет
Вороненко С. В., аспірант кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Герганов Л. Д., к.пед.н., доцент, заступник начальника центру	Навчальний центр ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство», м. Ізмаїл
Гнатов А. В., д.т.н., професор	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Годованюк С. П., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія

Горбатюк Є. В., к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Гусев В. М., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності	Херсонська державна морська академія
Даник В. В., аспірант кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Долинний В. В., аспірант	Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ
Доронін В. В., к.т.н., доцент кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні ORCID 0000-0002-8387-2992	Київська державна академія водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Дощенко Г. Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Євдокимова В. А., к.т.н., старший викладач кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі ORCID 0000-0001-8115-6186	Херсонська державна морська академія
Іваник Ю. Ю., аспірант	Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ
Іщенко І. М., к.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Кабанова Н. М., к.т.н., доцент кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Касім А. М., к.т.н.	Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ
Кисляк Р. П., психолог	Психологічний центр, м. Макіївка
Кобельник О. С., аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Кожевникова Є. Є., старший викладач	Одеська національна морська академія
Кондратьєва Л. Ю., аспірант кафедри теорії та проектування суден ORCID 0000-0003-0856-8015	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв

Коробейнікова Н. В., асистент кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Коростильов Л. І., д.т.н., професор, завідувач кафедри будівельної механіки судна та конструкції корпусу ORCID 0000-0002-4370-3270	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Крупіца П. О., асистент кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Кулініч В. В., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Кумуржі О. Ю., молодший науковий співробітник	Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ
Литвиненко Д. Ю., аспірант кафедри будівельної механіки судна та конструкції корпусу ORCID 0000-0003-2948-8698	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Літвінова М.Б., к.ф.-м.н., доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова (Херсонська філія), м. Херсон
Міщук Д.О., к.т.н., доцент кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Моїсеєнко Л.Л., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Наговський Д.А., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Паламарчук І.В., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Панкова О.В., к.т.н., доцент кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Пелевін Л.Є., к.т.н., професор, завідувач кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури

Повстяной О. Ю., к.т.н., доцент, докторант кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування	Луцький національний технічний університет
Проценко В. О., к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Рожков С. О., д.т.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Розов Ю. Г., д.т.н., доцент, перший проректор	Херсонський національний технічний університет
Рутковський А. В., к.т.н., старший науковий співробітник	Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ
Самарін О. Є., к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Сапронов О. О., к.т.н., доцент, докторант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Селіванов С. Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Семенов М. М., старший викладач кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Селіверстова С. Р., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Соломенцев О. І., д.т.н., професор, професор кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Степанчиков Д. М., к.ф.-м.н., доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики	Херсонський національний технічний університет
Хаст Л. Г., к.т.н., консультант ORCID 0000-0003-0541-5865	Служба порятунку, м. Берлін
Чаплагін Є. О., к.т.н., доцент	Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Шаповалов Ю. О., доцент кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв
Шарко О. В., д.т.н., професор кафедри енергетики, електротехніки і фізики	Херсонський національний технічний університет
Штанько О. Д., к.ф.-м.н., доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін	Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова (Херсонська філія), м. Херсон
Штерн М. Б., д.т.н., професор, завідувач відділу мікромеханіки, реології та обробки тиском порошкових та композиційних матеріалів	Інститут проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича, м. Київ
Шупік І. Є., к.т.н., завідувач кафедри фізичного виховання	Херсонський національний технічний університет

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Агєєв М.С., 4, 112
Акімов О.В., 127
Алєйніков М.В., 313

Б

Баглюк Г.А., 219
Безлуцька О.П., 66
Бєнь А.П., 19
Браїло М.В., 135
Букетов А.В., 141
Букетова Н.М., 153
Буховець В.М., 203

В

Васюхін М.І., 306
Волков Ю.В., 112
Волошин В.Н., 203
Вороненко С.В., 172

Г

Герганов Л.Д., 71
Гнатов А.В., 163
Годованюк С.П., 25
Горбатюк Є.В., 226
Гусєв В.М., 34

Д

Даник В.В., 172
Долинний В.В., 306
Доронін В.В., 313
Дощенко Г.Г., 327

Є

Євдокимова В.А., 79

З

Зінченко Д.О., 141

І

Іваник Ю.Ю., 306
Івченко Т.І., 219
Іщенко І.М., 172

К

Кабанова Н.М., 334
Касім А.М., 306
Кисляк Р.П., 79
Клевцов К.М., 219
Кобельник О.С., 178
Кожевникова Є.Є., 4
Кондратьєва Л.Ю., 48
Коробейнікова Н.В., 104
Коростильов Л.І., 184
Крупіца П.О., 340
Кулініч В.В., 56
Кумуржі О.Ю., 277

Л

Литвиненко Д.Ю., 184
Літвінова М.Б., 195
Лопата В.М., 4
Луців І.В., 203

М

Масляк Б.О., 219
Міщук Д.О., 226
Моїсеєнко Л.Л., 91

Н

Наговський Д.А., 219, 327
Настасенко В.О., 212
Нігалатій В.Д., 141

П

Паламарчук І.В., 19
Панкова О.В., 43
Пелевін Л.Є., 226
Повстяной О.Ю., 235
Проценко В.О., 245

Р

Рожков С.О., 256, 340
Розов Ю.Г., 267
Рутковський А.В., 277

С

Сабокар О.С., 163
Самарін О.Є., 284, 290
Сапронов О.О., 219
Селіванов С.Є., 25, 34
Семенов М.М., 104, 296
Селіверстова С.Р., 193
Соломенцев О.І., 48
Спєшилов В.М., 56
Стахурський О.О., 203
Степанчиков Д.М., 346

Х

Хаєт Л.Г., 79

Ч

Чаплигін Є.О., 163
Чиграй С.Л., 112

Ш

Шаповалов Ю.О., 104, 296
Шарко О.В., 340, 346
Штанько О.Д., 195
Штерн М.Б., 235
Шупік І.Є., 79

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

До друку приймаються статті з результатами власних оригінальних досліджень, що мають наукову і практичну значущість і не публікувалися досі. До друку **не приймаються суто оглядові статті**. Відповідальність за зміст статті несе автор.

Згідно з вимогами п. 3 Постанови Президії Вищої Атестаційної Комісії України № 7-05/1 від 15.01.2003 р., наукові статті, що надаються до друку, повинні містити наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

Обсяг статей – до 10 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути не більше 30% обсягу основної частини.

Оформлення статті. На першій сторінці рукопису зазначається код УДК, назва роботи, прізвище, ініціали та науковий ступінь (звання) автора(ів).

Код УДК – по лівому краю, розмір шрифту – 10.

Назва – по центру друкованими літерами (шрифт жирний, розмір шрифту – 14).

Інформація про автора(ів): прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, повна назва установи або громадської організації, посада, держава, ORCID автора – курсивом, по лівому краю, розміром шрифту 12.

Текст надається у форматі редактора MS Word шрифтом Times New Roman, розмір шрифту – 12, інтервал – 1.

Параметри сторінки (опція меню ФАЙЛ, Параметри сторінки):

розмір паперу – А4: 210*297 мм;

орієнтація аркуша – книжна (альбомна не допускається);

поля – 2 см;

палітурка – 0 см;

колонтигули – 1,3 см;

абзацний відступ – 1,25 см, вирівнювання за шириною, сторінки без нумерації.

Формули повинні бути набрані за допомогою вбудованого редактора формул Equation Editor. Всі формули вставляються в таблицю з неокресленим контуром, що складається з двох колонок: у першій знаходиться формула без абзацу і вирівняна по центру, у другій – номер формули (якщо такий є) теж без абзацу і з вирівнюванням по центру. Межа між колонками таблиці встановлюється на позначці 14 см.

Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Параметри в редакторі формул повинні в точності відповідати наведеним нижче. Розміри (опція меню редактора Equation Editor: РОЗМІР, Визначити ...):

- Звичайний 12 пт.
- Крупний індекс 7 пт.
- Дрібний індекс 5 пт.
- Крупний символ 18 пт.
- Дрібний символ 12 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими, бажано прозорими, і вставлені у файл і роздруковку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi.

Структура статті: вступ (постановка задачі або проблеми); рішення задачі (мета, задачі, об'єкти, предмети, методи дослідження); основні результати та висновки з перспективами; список використаних літературних джерел. Основні розділи можуть мати назви, відмінні від приведених вище найменувань.

Список використаної літератури подається загальним списком у кінці рукопису (послідовність – у порядку згадування по тексту) згідно зі встановленими вимогами стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. У списку повинно бути не менше 10 джерел, у списку посилань неприпустимо використання ГОСТів та загальнонаціональних стандартів, відсоткове співвідношення самоцититування – не більше 30% (тобто якщо Ви використали 10 посилань, з них може бути не більше 3 на роботи автора).

До статті також наводиться перелік літератури латиницею (*References*), для його оформлення використовувати АРА-стиль. Список літератури транслітерується або перекладається англійською мовою. Транслітерувати інформацію необхідно відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (транслітерацію української мови можна здійснити за посиланням <http://translit.kh.ua> [обрати стандарт: Паспортний (КМУ 2010)]). Транслітерувати джерела, яки пишуться латиницею не потрібно.

Структуровані анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 слів надаються: на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

Документи, що подаються до редакції.

Для публікації автор повинен надати до відділу технічної інформації ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft Word;
- файл кожного рисунка, включеного в статтю, окремо;

– рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

– структурована анотація та ключові слова українською, англійською і російською мовами, включаючи назву статті та прізвища авторів трьома мовами – на окремій сторінці;

– зовнішня рецензія професора, доктора наук (редакційна колегія залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію);

– ліцензійний договір;

– відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail, наукові інтереси авторів, ORCID автора(ів)) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямам журналу. Рукописи авторам не повертаються.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

- Агеев М.С., Кожевникова Е.Е., Лопата В.Н.* 4
**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ СУДОВЫХ НАСОСОВ
 КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ НАНЕСЕНИЯ
 ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**
- Бень А.П., Паламарчук И.В.* 19
**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ
 ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ СУДОВОДИТЕЛЯ В РАМКАХ
 КОНЦЕПЦИИ E-NAVIGATION**
- Годованюк С.П., Селиванов С.Е.* 25
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ
 ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
 НАЦИОНАЛЬНОЙ МОРСКОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ**
- Гусев В.Н., Селиванов С.Е.* 34
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ
 НА РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ МАЧТ НА СУДНЕ**
- Панкова О.В.* 43
**ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МИДЕЛЕВОГО СЕЧЕНИЯ
 УНИВЕРСАЛЬНОГО СУХОГРУЗА НА ВЕСОВУЮ НАГРУЗКУ ПРИ
 ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДОВ**
- Соломенцев О.И., Кондратьева Л.Ю.* 48
**БОРТОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОВРЕЖДЁННОГО СУДНА
 В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ,
 БЛИЗКОГО К БЕЛОМУ ШУМУ**
- Спешилов В.М., Кулинич В.В.* 56
**РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПО СОВМЕСТНОМУ УЧЕТУ
 ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ
 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ
 РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ПРОКЛАДКИ**

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

- Безлуцька О.П.* 66
**РОЛЬ І МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ «ГЕОГРАФІЯ СУДНОПЛАВСТВА ТА
 ОКЕАНСЬКІ ШЛЯХИ СВІТУ» В СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ
 МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІВ**
- Герганов Л.Д.* 71
**РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ
 КВАЛІФІКОВАНИХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ В
 НАВЧАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ СУДНОПЛАВНИХ КОМПАНІЙ:
 ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

<i>Евдокимова В.А., Кисляк Р.П., Хаєт Л.Г., Шупик И.Е.</i>	79
ОСОБЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ	
<i>Моїсєєнко Л. Л.</i>	91
РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ТЕХНОЛОГІЇ МАТЕРІАЛІВ	
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
<i>Шаповалов Ю.О., Семенов М.М., Коробейнікова Н.В.</i>	104
МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ ТА ПРОБЛЕМИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ НА ТРАНСПОРТІ	
ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ	
<i>Агеев М.С. Волков Ю.В. Чиграй С.Л.</i>	112
ЗАЩИТНЫЕ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТ	
<i>Акимов А.В.</i>	127
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРИХЛОРЕТИЛФОСФАТОМ	
<i>Брайло М.В.</i>	135
РОЗРОБЛЕННЯ ЕПОКСИПОЛІЕФІРНОЇ МАТРИЦІ З ПОЛІПШЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	
<i>Букетов А.В., Нігалатій В.Д., Зінченко Д.О.</i>	141
РОЗРОБКА ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ЧАСТКАМИ КАРБОНАТУ ЛІТІУ І КАРБОНАТУ НІКЕЛЮ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ	
<i>Букетова Н.М.</i>	153
ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ДИСПЕРСНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАМУ НА АДГЕЗІЙНІ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ	
<i>Гнатюк А.В., Чаплигін Є.О., Сабокар О.С.</i>	163
ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ В ТЕХНОЛОГІЯХ РЕМОНТУ	
<i>Ищенко И.М., Вороненко С.В., Данык В.В.</i>	172
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ПРИВОД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА	

<i>Кобельник О.С.</i>	178
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВМІСТУ ТВЕРДНИКІВ У ПОЛЕФІРНОМУ ЗВ'ЯЗУВАЧІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	
<i>Коростылёв Л.И., Литвиненко Д.Ю.</i>	184
ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ УЗЛАХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЕТОМ МАКРО- И МИКРОКОНЦЕНТРАЦИИ	
<i>Літвінова М.Б., Селіверстова С.Р., Штанько О.Д.</i>	195
РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	
<i>Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М., Стахурський О.О.</i>	203
КІНЕМАТИЧНЕ ПОДРІБНЕННЯ СТРУЖКИ І ГНУЧКІСТЬ ЗАТИСКУ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ АДАПТИВНОГО ТИПУ	
<i>Настасенко В.О.</i>	212
КОМБІНАТОРИКА ДВОХ-, ТРЬОХ- І ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ АНАЛІЗ	
<i>Сапронов О.О., Баглюк Г.А., Масляк Б.О., Клевцов К.М., Наговський Д.А., Івченко Т.І.</i>	219
РОЗРОБЛЕННЯ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	
<i>Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Міщук Д.О.</i>	226
АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РУШІЯ РОЗПУШУВАЧА З ПОВЕРХНЕЮ ҐРУНТУ	
<i>Повстяной О.Ю., Штерн М.Б.</i>	235
АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ ПОРИСТОГО ПРОНИКЛИВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА РАДІУСОМ ПРИ РАДІАЛЬНО-ІЗОСТАТИЧНОМУ ПРЕСУВАННІ	
<i>Проценко В.О.</i>	245
МОРФОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПРУЖНИХ ЛАНОК МАШИН ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ З МЕТАЛЕВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	
<i>Рожков С.А.</i>	256
МАТРИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ	
<i>Розов Ю.Г.</i>	267
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТВОЛОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ С ПОЛИГОНАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ	

<i>Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.</i> УПРОЧНЕНИЕ СИТ ГРОХОТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СТАЛИ 12X18H9T, МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ	277
<i>Самарін О.Є.</i> ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН	284
<i>Самарін О. Є.</i> РІЗАЛЬНИЙ АПАРАТ	290
<i>Семенов М.М., Шаповалов Ю.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ РІДИНИ НА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ	296
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Васюхин М.И., Касим А.М., Долынный В.В., Иваник Ю.Ю.</i> МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ В СИСТЕМАХ ПРЕЦИЗИОННОГО ВОЖДЕНИЯ	306
<i>Доронін В.В., Алєйніков М.В.</i> СПОСІБ ПРИСКОРЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ НА ЦИФРОВІЙ МОДЕЛІ КАРТИ	313
<i>Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.</i> САМООРГАНІЗУЮЧІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ	327
<i>Кабанова Н.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RHINOCEROS И AVEVA MARINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА	334
<i>Крупіца П.О., Рожков С.О., Шарко О.В.</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАГАТОДВИГУННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ	340
<i>Шарко О.В., Степанчиков Д.М.</i> ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ ВИБОРІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ У ЖИТЛОВО- КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ	346
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	353
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	358
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	359

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 2 (13), 2015

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*
Технічний редактор *О. Ю. Клементьєва*
Коректор *Т. О. Радул, А. В. Літвінова*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Підписано до друку 26.12.2015. Формат 84×108/32.
Папір офсетний.
Ум. др. арк. 24,0. Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20