

ISSN 2077-3617

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

№ 2 (9)

Херсон
2013

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 2 (9). – 300 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Херсонської державної морської академії 26.11.2013 р., протокол № 7.

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, пр. Ушакова, 20, тел. (0552) 22-35-69

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

Зареєстровано у Вищій атестаційній комісії України постановою президії ВАК України від 30 березня 2011 року №1-05/3 (бюлетень ВАК України №5, 2011)

ISSN 2077-3617

© Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2013



МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОКЕАНСКИХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ТОПЛИВА

Бень А.П., Паламарчук И.В.

Херсонская государственная морская академия

В данной статье предложены структурная и функциональная модели системы поддержки принятия решений для планирования трансокеанских переходов судна. Определен набор факторов, влияющих на расход топлива судна и предложены пути его сокращения. Обосновано, что обеспечение эффективной работы системы поддержки принятия решений судоводителя по планированию трансокеанских переходов возможно только в случае наличия в ней модулей управления курсом судна и режимами работы судовой энергетической установки. Представлен рекомендуемый набор исходных данных и управляемых параметров системы поддержки принятия решений судоводителя, а также набор базовых функций такой системы.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, океанский переход, управление судном, затраты топлива.

Введение. В настоящее время в судовождении существует необходимость создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) судоводителя. В сложившейся на настоящее время сложной экономической ситуации для всех участников морских перевозок необходимо принимать меры по уменьшению денежных затрат на эксплуатацию судна. Судовладельцы идут на уступки чартеру и разрешают эксплуатировать суда на сверх малых оборотах (манёвренный режим главного двигателя (ГД)), что приводит к уменьшению расхода топлива, но одновременно ведет к повышенному износу механизмов, участвующих в работе ГД.

Так же ощущается потребность снижения затрат на эксплуатацию судна в условиях океанского перехода. Решение этой проблемы имеет комплексный характер и лежит не только в плоскости совершенствования судовых энергетических установок (СЭУ) или улучшения гидродинамических показателей корпуса судна.

На коротких дистанциях в морских перевозках тяжело добиться существенного экономического эффекта за счёт планирования рейса, что обусловлено следующими факторами:

- малая дистанция морского перехода;
- прибрежное плавание (в большинстве случаев);
- при значительном снижении скорости или уходе от курса для расхождения с встречными опасностями следует большая потеря во времени (до 50% от общего времени на переход);
- отсутствие возможности совершить необходимый и достаточный манёвр, с целью снижения влияния с неблагоприятных погодных условий.

Актуальность проблемы. Актуальной задачей в настоящее время является создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) судоводителя для планирования океанских морских переходов, учитывающих влияние как внешних факторов (погодные условия на маршруте), так параметров собственного судна, в частности особенностей режимов эксплуатации СЭУ.

Целью статьи является разработка базовых принципов построения системы поддержки принятия решений для планирования океанских переходов.

Анализ последних исследований и публикаций. Различными учёными выдвинуты несколько подходов для предварительной прокладки трансокеанских путей, доказывающие, что выгоднейшим морским переходом в большинстве случаев является не кратчайший путь, а путь, на всём протяжении которого учитываются возможные неблагоприятные условия такие, как тайфуны, циклоны, ветер, течения, участки суши, пиратские районы и другие факторы, способные задержать судно. Принимая во внимание



воздействие многих факторов влияющих на скорость судна в пути, можно при увеличении дальности морского перехода поддерживать постоянную скорость со стабильной и наиболее экономичной нагрузкой на СЭУ, что в конечном результате позволит сэкономить временные затраты и приведёт к экономии денежных средств.

Созданию интеллектуальных систем планирования океанских маршрутов морских судов посвящён ряд работ зарубежных авторов. Так, авторами в работе [1] была предложена прокладка трансокеанского перехода не по классическому расчёту Дуги Большого Круга (ДБК), а с использованием адаптированного изохронного способа. Главной особенностью предложенного подхода является то, что в алгоритме адаптированного способа введено условие непересечения маршрута с береговыми участками и широкое использование растровых карт. Адаптированный изохронный способ позволяет достичь результатов, близких к расчётам перехода ДБК, но при этом позволяет не менять постоянно курс в зависимости от погодных условий или встретившейся на пути суше, а заблаговременно оптимально адаптировать морской переход с учётом предполагаемого воздействия внешних факторов. Среди недостатков метода, можно отметить сложность расчётов и большие временные затраты при прокладке пути таким способом.

В следующей работе тем же авторам удалось усовершенствовать свой метод [2]. Основываясь на многокритериальном эволюционном алгоритме, была предложена оптимизация проработки морского перехода с учётом погодных факторов. Система собирает множество параметров и помогает пользователю выбрать наиболее рациональное решение при проработке трансокеанского перехода. Характеристики оптимального перехода в данном случае являются оптимальными по Парето и определяются с помощью многокритериального эволюционного алгоритма.

В работе [3] были отмечены недостатки вышперечисленных методов и предложен способ совершенствования существующих интеллектуальных СППР. Авторами предложены способы, позволяющие увеличить скорость обработки данных при поиске оптимального маршрута судна искусственной нейронной сетью прямого распространения. Поставлена задача поиска методов оптимизации трансокеанского маршрута с учетом неопределенности прогнозируемых погодных условий.

В работе [4] проведён сравнительный анализ существующих интеллектуальных систем планирования морских переходов. Было предложено замещение планирования морского перехода с учётом погодных условий на оптимизацию морских переходов с использованием интеллектуальных СППР судоводителя в которых учитывались бы не только погодные условия, но и характеристики каждого отдельного судна.

Из имеющихся практических разработок следует отметить системы «BonVoyageSystem», которые являются прогрессивным шагом вперёд, но ссылаясь на официальный сайт компании можно отметить, что услугами предоставляемого сервиса на данный момент пользуются лишь 3500 судов. Многие судовладельческие компании всё ещё оснащают свои суда лишь минимумом необходимого оборудования, в том числе и метеорологического. Прогнозы погоды на таких судах ограничиваются прогнозными характеристиками через INMARSAT-C, NAVTEX, факсимильными картами погоды и натурными наблюдениями.

Исходя из проведённого сравнительного анализа существующих интеллектуальных систем планирования трансокеанских переходов и основываясь на опыте работы с BVS (ver. 6) (BonVoyageSystem) можно сделать вывод, что перспективным направлением развития СППР судоводителя по планированию переходов является совершенствование в таких системах функций, обеспечивающих повышение технико-экономических показателей эксплуатации судна при выполнении перехода, и, в первую очередь, такого важного показателя, как расход топлива.

Изложение основного материала. Исходя из сравнительного анализа существующих интеллектуальных систем планирования переходов, следует определить



факторы, которые необходимо учитывать для оптимизации планирования морских переходов и управлению морским судном с учётом погодных условий.

Параметры судна: длина и ширина; осадка носом и кормой; высота надводного борта; топливо на борту и суточный расход в различных условиях; стоимость топлива за тонну; скорость судна при различных режимах ГД и погодных условиях; количество груза на борту; количество балласта на борту; остойчивость судна и период качки; необходимая грузовая марка на следующий порт захода; ледовый класс судна и соответствующие ему скорости при разной толщине льда; сила действия винта; сопротивление пера руля.

Внешние факторы: участки суши на пути следования; направление и сила ветра; направление и высота волны; направление и высота зыби; направление и сила течения; участки мелей, банок, скал и других навигационных опасностей; встречные циклоны, торнадо, тайфуны, области низкого давления, цунами, аномальные волны и др.; пиратские районы на пути следования; ледовые участки на пути следования; каналы, узкости и системы разделения движения; зоны интенсивного судоходства и рыбного промысла; районы морской газо-нефтедобычи.

Управляемые параметры: варианты трансокеанского перехода с возможностью изменения в процессе следования; изменение курса и/или скорости; изменение режима ГД (для судов с ВФШ) и изменение положения лопастей винта (для судов с ВРШ); изменение настроек авторулевого; изменение осадок и посадки судна; изменение остойчивости судна; обеспечение требуемой осадки суда (зимней, летней, тропической); предположительный расход топлива; расчётная дальность пути следования.

СППР должна позволять судоводителю самостоятельно строить предполагаемый маршрут перехода. Для заданного маршрута СППР с требуемым интервалом предлагает графический (на карте маршрута) или табличный подробный анализ погодных явлений. Основываясь на имеющихся манёвренных характеристиках судна, программа прогнозирует ожидаемую скорость судна в зависимости от погодных условий. Предусматривается построение маршрута движения в зависимости от требований судоводителя, – какие погодные участки с определённой силой ветра и/или волнения следует избегать на маршруте. Программа должна предлагать разработанный маршрут, как в графическом, так и в табличном виде.

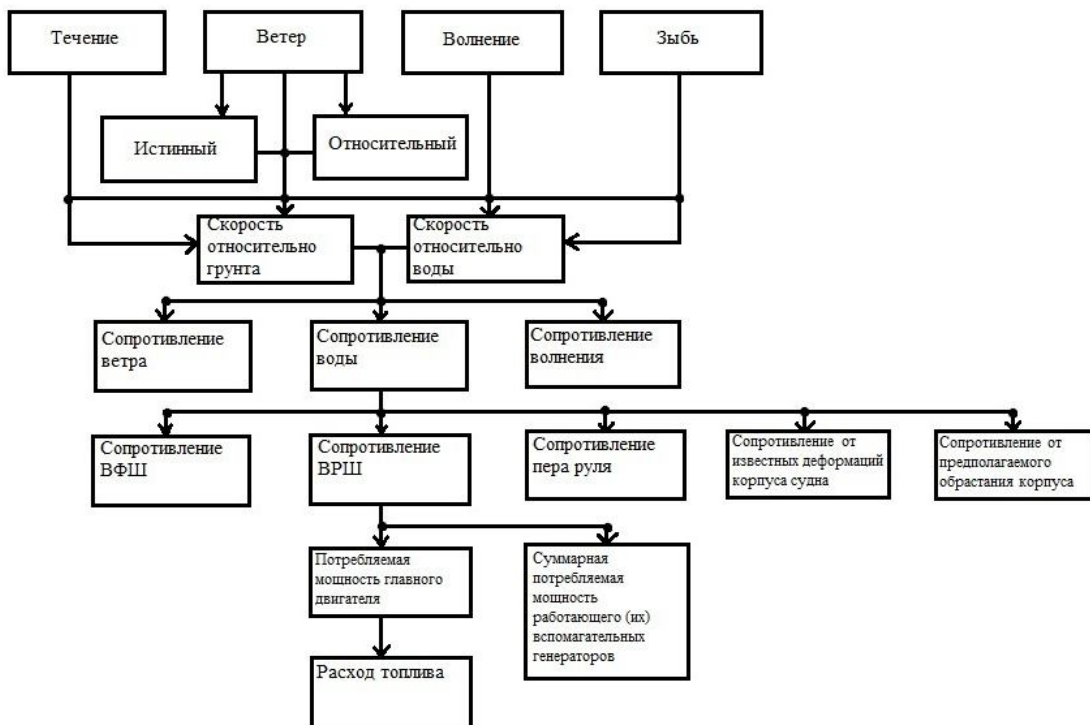


Рисунок 1 – Взаимосвязь факторов, влияющих на расход топлива судна



Принимая во внимание представленный набор данных, а также известные эксплуатационные характеристики судна, взаимосвязь факторов, влияющих на расход топлива при движении можно отобразить схематически (рис. 1).

Прокладка трансокеанского перехода, отклонения от первоначального курса в зависимости от встречающихся на пути опасностей (циклоны, тайфуны, участки суши, пиратские районы, ледовая обстановка и др.), управление авторулевым и режимами ГД – производится капитаном судна и его помощниками в ручном режиме, либо с немногочисленной автоматизированной поддержкой (расчёт ДБК, перекладки пера руля) на разрозненных навигационных модулях.

Основываясь на сравнительном анализе существующих систем и методов, можно сделать вывод, что интеллектуальная система планирования должна соответствовать следующим требованиям:

- независимая СППР, функционирующая на отдельном бортовом компьютере;
- возможность использования в системе электронных навигационных карт способных обновляться;
- возможность учета изменяющиеся факторов в ходе следования по маршруту (погодных условий), а также характеристик судна;
- планирование системой нескольких вариантов следования трансокеанским переходом и возможность внесения изменений в процессе следования;
- получение рекомендаций от системы на управление авторулевым и режимами работы ГД;

Предлагаемая нами структурная схема СППР для планирования переходов имеет вид, представленный на рис. 2.

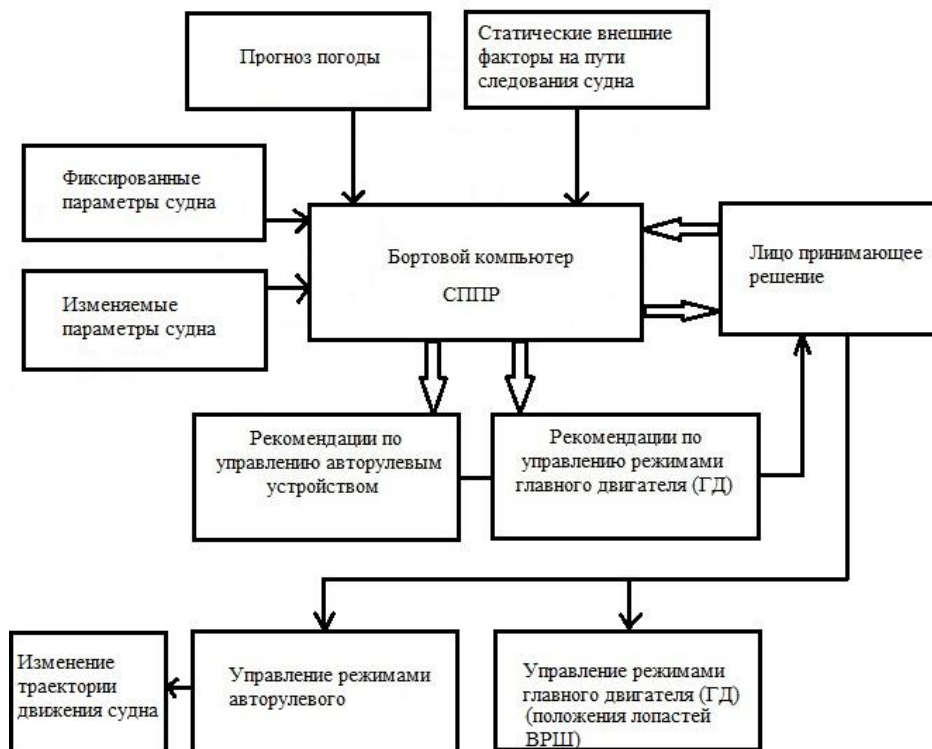


Рисунок 2 – Структурная схема СППР планирования переходов

Использование представленных данных и параметров позволит обеспечить наиболее полную реализацию функциональных возможностей СППР при планировании трансокеанского перехода, а так же при управлении судном на протяжении следования в порт назначения с обеспечением достаточного уровня безопасности и уменьшением расхода топлива при движении судна. Экономическая эффективность, достигнутая в результате использования системы состоит не в сокращении дистанции перехода, а в



уменьшении расхода топлива в рейсе и выдерживании требования чартера о приходе судна в порт назначения согласно расписанию.

Выводы. Важной задачей настоящего времени является снижение фактора субъективности при принятии решений по прокладке океанских переходов и при управлении режимами ГД и рулевой машиной на таких переходах. Решение этой задачи может быть обеспечено путем создания интеллектуальной СППР судоводителя, позволяющей принимать объективные решения по управлению судном не только в плоскости изменения курса для избежания опасностей, но так же правильно и эффективно использовать СЭУ с целью понижения расхода топлива.

Разработанные модели позволяют определить приоритетные направления создания и совершенствования СППР судоводителя и выполнить дальнейшее исследование отдельных её компонентов. Практическая реализация системы с учётом предложенных моделей позволяет решить задачу повышения эффективности трансокеанских морских перевозок, обеспечивает повышение их экономических показателей и уровня безопасности.

Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация работы СЭУ и управления режимами ГД для снижения расхода топлива во время рейса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Szlarczyńska Joanna. Adopted isochrones method improving ship safety in weather routing with evolutionary approach / Joanna Szlarczyńska, Roman Śmierchalski // Maritime University, Gdynia, Poland, 2008.
2. Szlarczyńska J. Multicriteria Evolutionary Weather Routing Algorithm in Practice / J. Szlarczyńska // TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2013. – Volume 7, Number 1. – P. 61-65.
3. Пипченко А. Д. Проблема выбора трансокеанского маршрута и пути ее дальнейшего исследования / А. Д. Пипченко, В. Г. Алексин, Д. В. Астайкин // Судовождение : сб. научн. тр. ОНМА, 2011. – С. 143-149.
4. Henry Chen. Voyage Optimization Supersedes Weather Routing / Chen Henry // Boeing Associate Tech Fellow Jeppesen Marine Inc.

Бень А.П., Паламарчук І.В. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ОКЕАНСЬКИХ ПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА

У статті запропоновані структурна і функціональна моделі системи підтримки прийняття рішень для планування трансокеанських переходів судна. Визначено набір факторів, що впливають на витрати палива судна та запропоновано шляхи її скорочення. Обґрунтовано, що забезпечення ефективної роботи системи підтримки прийняття рішень судоводія з планування трансокеанських переходів можливо тільки за наявності в ній модулів управління курсом судна і режимами роботи суднової енергетичної установки. Представлений рекомендований набір вихідних даних і керованих параметрів системи підтримки прийняття рішень судоводія, а також набір базових функцій такої системи.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, океанський перехід, управління судном, витрати палива.

Ben A.P. Palamarchuk I.V. USING SMART PLANNING OCEAN CROSSINGS TO REDUCE FUEL COSTS

In this article the structural and functional model of decision support system for planning transitions transoceanic vessel. Defined set of factors affecting the fuel consumption of the vessel and the ways to reduce it. Substantiated that effective operation decision support system for planning skipper transoceanic crossings possible only if there is in her control modules ship's course and modes of ship power plant. A recommended set of input data and control parameters of the system to support decision-making of the master and also a set of basic functions of the system.

Keywords: decision support system, ocean transport, ship control, fuel costs .



СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА И ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА МОРСКОМ ФЛОТЕ

Бобыр В.А.

Одесская национальная морская академия

В статье рассматривается взаимосвязь между системами менеджмента и эргатическими системами на судах морского флота. Обоснована возможность их совместного использования на основе применения реактивного, превентивного и энтропийного подходов к предупреждению проявления «человеческого фактора» и контроля над ним на судах. Сформулированы первоочередные задачи по внедрению в практику методов контроля и уменьшения энтропии оператора судовых эргатических функций.

Ключевые слова: системы менеджмента; эргатические системы; реактивный, превентивный и энтропийный подходы; контроль над «человеческим фактором»; энтропия судовых эргатических функций.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В настоящее время на морском флоте влияние «человеческого фактора» на рост аварийности является определяющим [1].

В промышленности до 50-х годов, а на морском флоте до середины 90-х годов прошлого века попытки контролировать «человеческий фактор» были post factum – реактивными (reactive). Это выражалось в том, что обычно после крупной морской аварии с человеческими жертвами и гибелью судов или катастрофическим загрязнением моря вводились новые требования в морских конвенциях, резолюциях ИМО или нормативных актах отдельных стран, связанные с недопущением причин подобных ошибок в будущем на основе регламентации действий по выполнению этих требований (табл. 1).

Таблица 1 – Появление конвенций, резолюций ИМО или нормативных документов на морском флоте после аварий

<i>Судно</i>	<i>Год</i>	<i>Последствия аварии</i>	<i>Конвенция, резолюция ИМО или нормативный документ</i>
Titanic	1912	Гибель более 1500 человек	SOLAS
Torrey Canyon	1967	Огромный разлив нефти	MARPOL, STCW
Herald of Free Enterprise	1987	Гибель более 150 человек	IMO A.596(15) «Safety of Passenger Ro-Ro Ferry»
Exxon Valdez	1989	Разлив более 37000 т нефти. Ущерб на сумму около 10 млн. \$	1) IMO A.647(16) «Guidelines on Management for the Safe Operations of Ships and for Pollution Prevention»; 2) OPA-90 (США)
Scandinavian Star	1990	Гибель 158 человек	Safety Management System (Норвегия)
Agip Abruzzo	1991	Гибель 143 человек, пожар, разлив нефти	IMO A.681(17) «Procedures for the Control and Operational Requirements Related to the Safety of Ships and Pollution Prevention»
Haven		Пожар, разлив нефтепродуктов	
Salem Express		Гибель 430 человек	
Aegean Sea	1992	Огромный разлив нефти.	IMO A.748(18) «The International Management Code (ISM Code) for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention»
Braer	1993	Ущерб на сумму около 200 млн. \$	
Estonia	1994	Гибель более 800 человек	Решением ЕЕС все пассажирские паромы Ro-Ro, посещающие европейские порты, должны до 1996 г. внедрить ISM Code



И в настоящее время реактивный подход продолжает использоваться в системах менеджмента на морском флоте для устранения непосредственных причин происшедших аварий. Однако он не позволил существенно снизить аварийность, и аварии на море продолжают продолжаться.

Переход к превентивному (proactive) подходу для контроля над «человеческим фактором» связан с появлением первых систем менеджмента сначала в промышленности в 50-е годы, а затем на морском флоте в 90-е годы прошлого столетия. Общая и основная задача всех систем менеджмента – предотвратить проявление «человеческого фактора» и установить контроль над ним. Это выражается в том, что обязательным требованием систем менеджмента, прежде всего, стало определение потенциальных отказов и разработка мероприятий по предупреждению этих потенциальных отказов. Однако, несмотря на использование превентивного подхода для контроля над «человеческим фактором» за счет внедрения многочисленных систем менеджмента, аварии, как в промышленности, так и на морском флоте продолжают продолжаться. Ярким подтверждением этого на морском флоте являются катастрофы танкера «Эрика» и пассажирского лайнера «Коста Конкордия».

Танкер «Эрика» в декабре 1999 г. разломился надвое и затонул в Бискайском заливе всего в 40 милях от французского побережья с грузом 20 тыс. т мазута. Это привело к обширному загрязнению моря и пляжей. На танкере был внедрен «Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения» (ISM Code). Причиной аварии стало неудовлетворительное техническое состояние корпуса танкера и ошибки при расчетах его загрузки. Убытки составили около 200 млн. \$.

Суперсовременный круизный лайнер «Коста Конкордия», на борту которого находилось свыше 4200 пассажиров и членов экипажа, в ночь с 13 на 14 января 2011 г. потерпел крушение в Тирренском море и затонул в условиях отличной видимости и прекрасной погоды всего в нескольких метрах от берега у острова Джильо (провинция Тоскана Италии). Судно было оборудовано самыми современными и точными автоматизированными техническими средствами судовождения и исправно во всех отношениях. На судне были внедрены такие системы менеджмента как «Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения» (ISM Code); «Международный кодекс по охране судов и портовых средств» (ISPS Code), «Система менеджмента качества» (ISO 9001:2008) и «Система экологического менеджмента» (ISO 14001:2004). Причиной катастрофы стало грубейшее пренебрежение капитаном и членами экипажа требованиями к выполнению своих обязанностей по обеспечению навигационной безопасности плавания. Погибли 17 человек, еще 17 числятся пропавшими без вести.

Все это объясняется тем, что отказ одного элемента – отдельного члена экипажа или технической системы, или оборудования проецируется на всю систему. То есть, для всей системы менеджмента принимается некий один безликий усредненный элемент, по отношению к которому определяются базовые причины отказа и принимаются предупредительные меры путем изменения и/или совершенствования структурных и/или функциональных элементов системы менеджмента для устранения этих причин.

В промышленности, начиная с 60-х годов прошлого столетия, для предупреждения проявления «человеческого фактора» все больше внимания стало уделяться эргатическим системам отдельно от систем менеджмента. В эргатической системе контроль над «человеческим фактором» достигается на основе использования вероятностного подхода путем изменения или уменьшения энтропии отдельных ее элементов, в том числе конкретного оператора. На флоте это уже нашло свое отражение в том, что на судах стала собираться некоторая статистика по надежности работы каждого члена экипажа [2].



Усиление роли «человеческого фактора» в аварийности на морском флоте требует совместного рассмотрения систем менеджмента и эргатических систем для совершенствования контроля над ним.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Анализ публикаций на тему систем менеджмента и эргатических систем показывает, что в литературе появились отдельные работы, посвященные только системам менеджмента или эргатическим системам, например [3-7]. Однако в этих работах формально эргатические системы никак не связывались с системами менеджмента и не рассматривались как единое целое совместно с системами менеджмента.

Формулирование целей статьи и постановка задачи. Цель настоящей статьи заключается в определении взаимосвязи между системами менеджмента и эргатическими системами. А задача – определение возможности совместного использования реактивного, превентивного и вероятностного подхода для контроля над «человеческим фактором».

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Для достижения поставленных в статье цели и решения поставленной задачи необходимо более подробно рассмотреть судовые системы менеджмента и эргатические системы.

В настоящее время на судах морского флота внедрено свыше шести различных систем менеджмента. В соответствии с основной задачей систем менеджмента в каждой из них содержится требование заранее определить потенциальные отказы в тех судовых операциях или технических средствах, которые могут привести к нежелательным результатам. В разных стандартах эти отказы называются по-разному. Например, в стандарте «Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения» (ISM Code) – это ключевые судовые операции (КСО) и критические технические системы и оборудование (КТСиО); в стандарте «Системы менеджмента качества» (ISO 9001: 2008) – потенциальные несоответствия; в стандарте «Международный кодекс по охране судов и портовых средств» (ISPS Code) – потенциальные угрозы для безопасности судна, экипажа и береговых сооружений; в стандарте «Системы экологического менеджмента» (ISO 14001: 2004) – экологические аспекты; в стандарте «Система менеджмента профессиональным здоровьем и безопасностью» (OHSAS 18001:2007) – потенциальные угрозы для ущерба здоровья людей, имущества или рабочей среды и т.д. Эти потенциальные отказы определяются с целью заранее устранить их основные (базовые) причины и тем самым предотвратить их на период, предусмотренный системой менеджмента – квартал, полугодие, год и т.п. В дополнение к этому, морскими законодательствами большинства государств флага судна требуется перед началом судовых работ оценивать потенциальные риски отказов для предупреждения их в каждой из этих работ.

В случае фактического или потенциального отказа в системе менеджмента контроль над ним и предупреждение повторения проявления «человеческого фактора» устанавливается с помощью причинно-следственного анализа путем изменения и/или совершенствования структурных и/или функциональных элементов системы менеджмента (рис. 1) [8].

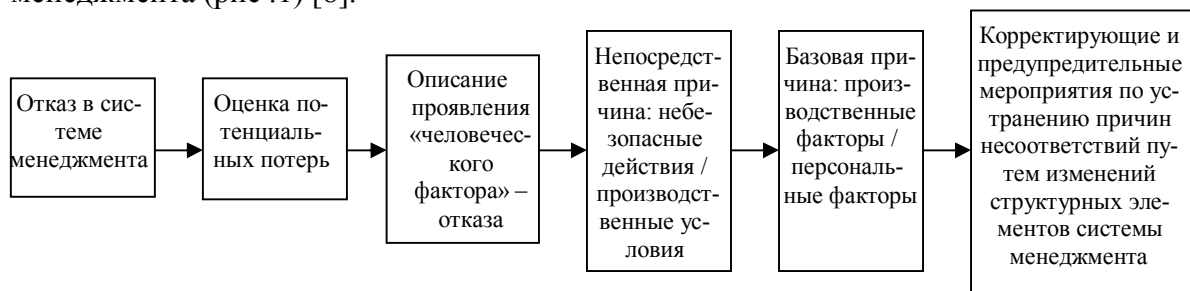


Рисунок 1 – Схема причинно-следственного анализа



Следует отметить, что у каждой судоходной компании в зависимости от специфики ее работы свой перечень непосредственных и базовых причин.

Изменения и/или совершенствование структурных и/или функциональных элементов судовой системы менеджмента будут распространяться на всех членов экипажа или все технические системы и все оборудование до следующего пересмотра системы.

Система менеджмента – это производственная система, в основе которой лежат, главным образом, системный и процессный подходы [9].

Системный подход является одним из тех принципов, которые обеспечивают целостность систем менеджмента, их результативность и эффективность. Он представляет собой форму приложения теории познания и диалектики к исследованию процессов, происходящих как в природе, обществе, мышлении, так и на производстве. Сущность системного подхода состоит в реализации требований общей теории систем, когда каждый объект рассматривается как большая и сложная система и, одновременно, как элемент более общей системы. С точки зрения системного подхода система менеджмента состоит из взаимосвязанных и взаимодействующих структурных и функциональных элементов, с помощью которых обеспечивается достижение цели системы.

Основная цель каждой системы менеджмента устанавливается ее стандартом (табл. 2). Как следует из табл. 2, основные цели судовых систем менеджмента охватывают практически все аспекты деятельности члена судового экипажа.

Таблица 2 – Цели систем менеджмента на морском флоте

<i>Стандарты систем менеджмента на морском флоте</i>	<i>Цели системы менеджмента</i>
International Safety Management Code (ISM Code) – Chapter IX of SOLAS	Обеспечение безопасности на море, предотвращение несчастных случаев или гибели людей, избежание вреда окружающей среде, в частности, морской среде и имуществу
International Code for the Security of Ships and Port Facilities (ISPS Code) – Chapter XI of SOLAS	Защита людей, груза и судна от угроз, исходящих от груза, оборота наркотиков, иммигрантов, пиратов, терроризма, намеренных повреждений судна и груза, саботажа
International Standard ISO 9001:2008 «Quality Management Systems»	Полное удовлетворение требований и предвосхищение ожиданий заказчика
International Standard ISO 14001:2004 «Environmental Management Systems»	Исключение любого ущерба окружающей среде, в том числе здоровью людей
OHSAS 18001:2007 «Occupational Health and Safety Management Systems»	Защита профессионального здоровья и благополучия членов экипажа и любого работника на судне от воздействия различных опасных факторов

Структурные элементы у всех систем менеджмента одинаковы. Это:

- 1) организационная структура;
- 2) обязанности членов экипажа;
- 3) правила выполнения обязанностей членами экипажа;
- 4) ресурсы, состоящие из: членов экипажа, судна и его технических систем и оборудования, а также рабочей среды, включающей природную среду и социум;
- 5) фактические действия членов экипажа, отвечающие требованиям системы менеджмента;
- 6) отчетные документы, позволяющие осуществлять обратную связь.

Структурные элементы системы менеджмента дают представление о внутренней структуре менеджмента судном. Они позволяют выяснить внутренние связи и зависимости между элементами внедряемой системы менеджмента, взаимодействующими для достижения целей и реализации ее задач.

Функциональные элементы системы менеджмента предполагают выявление и описание специфических для данной системы менеджмента и данного судна функций



(процессов), выполнение которых будет осуществляться с помощью ее структурных элементов. Это находит отражение как ограничения, накладываемые на структурные элементы данной системы менеджмента и устанавливающие, как и в каких пределах структурные элементы должны взаимодействовать. Эти ограничения определяются содержанием конкретного стандарта системы менеджмента. Функциональные элементы как раз и являются этим содержанием.

Взаимосвязь между функциональными и структурными элементами системы менеджмента состоит в том, что функциональный элемент только тогда может обеспечить достижение целей и задач системы менеджмента, когда он полностью охвачен структурными элементами. Со своей стороны, функциональные элементы определяют, какими свойствами должны обладать структурные элементы, чтобы цели и задачи системы менеджмента были достигнуты. Например, для того, чтобы какой-либо функциональный элемент судовой системы менеджмента работал, необходимо определить, какая судовая служба или кто из членов экипажа отвечает за этот процесс. Далее необходимо установить обязанности членов экипажа по этому процессу и правила выполнения работы. Затем обеспечить, чтобы член экипажа, отвечающий за этот процесс, был компетентным, обученным, подготовленным и понимал значимость и важность своей деятельности и своего вклада в достижение целей в системе менеджмента. Этому члену экипажа необходимо предоставить должную инфраструктуру, финансы, снабжение и рабочую среду. Также необходимо определить, какие отчетные документы необходимо вести по этому процессу, и обеспечить, чтобы действия члену экипажа при выполнении работы отвечали требованиям системы менеджмента. Таким образом, каждая функция в системе менеджмента должна являться как бы отдельной подсистемой системы менеджмента.

С другой стороны, отсутствие взаимосвязи функциональных элементов со структурными элементами системы менеджмента или неполнота этой взаимосвязи будет свидетельствовать о том, что данный процесс не охвачен системой, находится вне ее и требует дополнительных усилий для установления этой взаимосвязи.

Таким образом, в системах менеджмента во взаимосвязях функциональных и структурных элементов участвуют члены экипажа, судно и окружающая среда.

Чтобы функционировать результативно, судно должно определить и управлять многочисленными связанными видами деятельности. Работа или совокупность работ, которые используют ресурсы и с целью преобразования входных данных в выходные данные, рассматривается как процесс. Часто выход одного процесса непосредственно образует вход следующего. Применение на предприятии системы процессов наряду с их идентификацией и достижением поставленной цели определяется как процессный подход.

Преимущество процессного подхода состоит в поэтапности менеджмента, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов, а также при их комбинации и взаимодействии в пределах системы менеджмента.

Основные производственные процессы у всех систем менеджмента также одинаковы. На морском флоте это:

1. Процесс жизненного цикла производства – перевозки грузов или пассажиров морем, выполнение работ судами с системами дистанционного позиционирования.
2. Мониторинг, измерение и анализ всех производственных процессов.
3. Процессы по обеспечению производства:
 - 3.1 Финансовыми и материальными потоками.
 - 3.2 Сырьем и материалами (снабжение).
 - 3.3 Человеческими ресурсами (крюинг).
 - 3.4 Инфраструктурой (техническая служба).
 - 3.5 Транспортном и связью (логистика).
 - 3.6 Продажами и маркетингом.
 - 3.7 Производственной средой (охрана труда).



4. Процессы, требуемые стандартами ISO по менеджменту:

4.1. Документацией и записями (протоколами).

4.2. Внутренним аудитом.

4.3. Несоответствующей продукцией.

4.4. Корректирующими и предупредительными действиями.

Процессный подход в системе менеджмента должен применяться таким образом, чтобы было обеспечено:

- 1) понимание и выполнение требований системы менеджмента персоналом;
- 2) рассмотрение процессов в выражениях добавленной стоимости;
- 3) достижение результативности и эффективности функционирования процессов;
- 4) поэтапное улучшение процессов, основанное на объективных измерениях [9].

Процессный подход применяется ко всем элементам систем менеджмента. Он применим как к процессу жизненного цикла продукции, так и к процессам обеспечения.

Из общей теории систем известно, что любая система характеризуется такими элементами как цели, задачи, вход, процесс, выход, внутренняя связь, обратная связь, включая связь с внешней средой, и ограничения [10]. Схематично работа судовой системы менеджмента по решению основной задачи – предупреждению проявления «человеческого фактора» и контроля над ним показана на рис. 2. Входом системы являются законодательные и регламентирующие требования, а также статистические данные по ошибкам и упущениям на судах. Процесс – менеджмент рисками и причинно-следственный анализ. Ограничения – функциональные элементы системы менеджмента. Обратная связь – корректирующие и предупредительные действия. Выход – замечания контролирующих органов, несоответствия, опасные происшествия, аварийные случаи и аварии.

Любое судно является системой. На входе судно как система получает от окружающей среды информацию, капитал, человеческие ресурсы и материалы. Эти элементы называются входами. В процессе преобразования судно с помощью присущего ему технологического процесса обрабатывает эти входы, преобразуя их в продукцию или услуги. Эта продукция и услуги являются выходами для судна, которые оно выносит в окружающую среду. Если менеджмент судна эффективен, то в ходе процесса преобразования образуется добавочная стоимость входов. В результате появляются многие возможные дополнительные выходы, такие как прибыль, увеличение доли рынка, увеличение объема продаж и т.п.

Изменения и/или совершенствование структурных и/или функциональных элементов системы менеджмента будут распространяться на всех членов экипажа до следующего пересмотра системы.

Под эргатической системой понимается система, состоящая из элементов – оператор, машина и окружающая среда и управляющая взаимодействиями этих элементов. Она позволяет направить предупредительные меры непосредственно на отказавший элемент – конкретного оператора, техническую систему или оборудование [11].

При проявлении «человеческого фактора» – фактическом или потенциальном отказе в эргатической системе изменяется заданное состояние структурных элементов системы менеджмента и соответственно увеличивается их энтропия и энтропия системы менеджмента. Контроль над предупреждением проявления «человеческого фактора» устанавливается путем уменьшения энтропии ее элементов на основе вероятностного подхода за счет изменения вероятностных состояний этих элементов.

Эргатическая система – это также производственная система, создаваемая для достижения целей, возникающих в связи с общественным разделением труда [12]. Таким образом, одни и те же судовые эргатические системы должны обеспечивать достижение различных целей систем менеджмента. Обратим внимание на то, что для каждой цели требуется разное количество энтропии судовых эргатических систем.

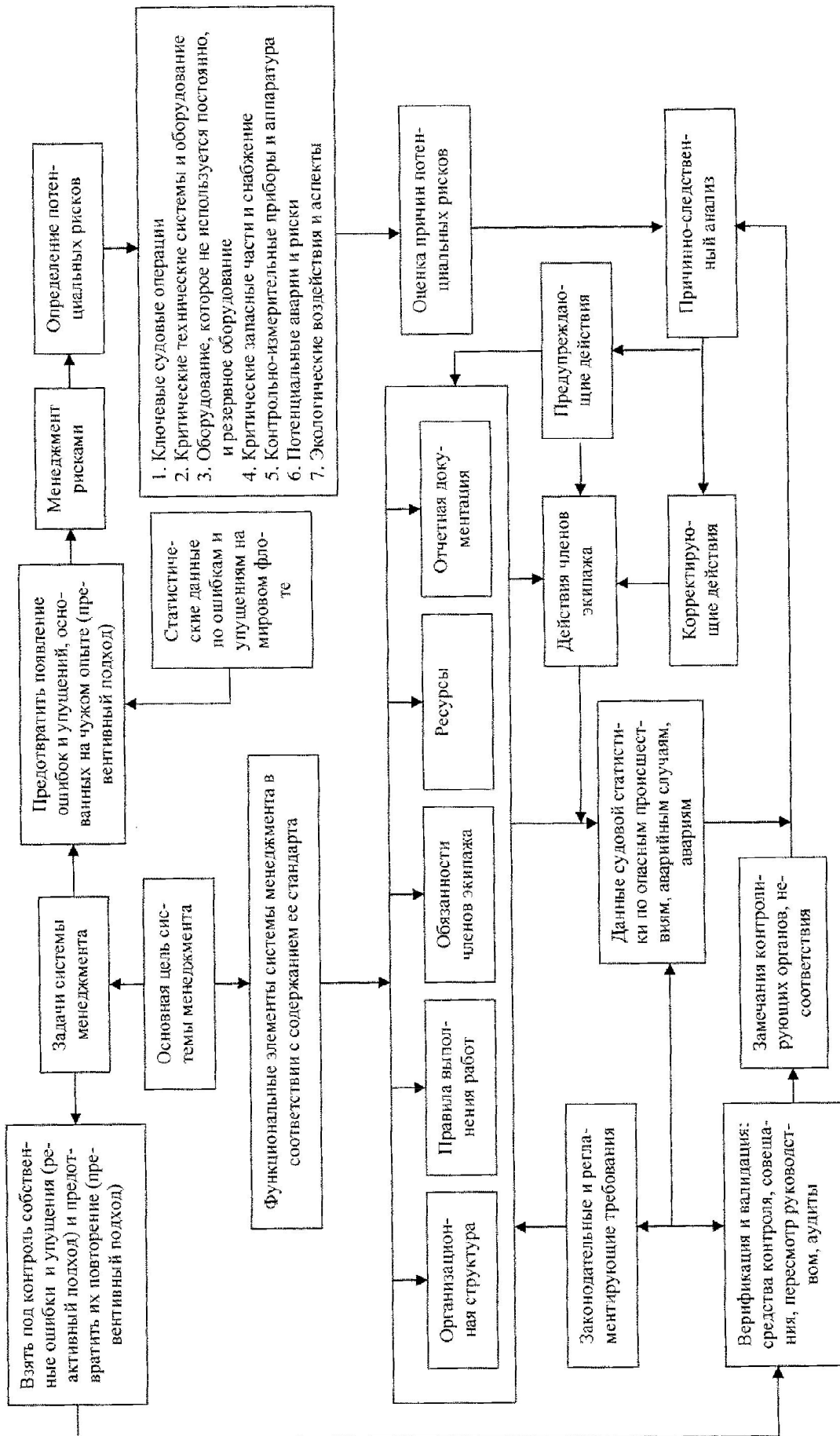


Рисунок 2 – Схема работы судовой системы менеджмента по решению основной задачи



Эргатическая система также, как и система менеджмента, характеризуется такими элементами как цели, задачи, вход, процесс, выход, внутренняя связь, обратная связь, включая связь с внешней средой и ограничения [10].

Задача эргатической системы – не допустить увеличения ее энтропии. Основная цель у них – это цель, установленная стандартом системы менеджмента. При этом с помощью одной и той же эргатической системы реализовываются цели всех систем менеджмента. Поэтому эргатические системы не существуют самостоятельно от систем менеджмента. Член экипажа, выполняя свои обязанности в системе менеджмента, одновременно является и оператором эргатической системы. Так же и другие структурные элементы системы менеджмента, например, инфраструктура и окружающая среда являются элементами эргатической системы. А функциональные элементы система менеджмента в то же самое время являются эргатическими функциями. С точки зрения системного и процессного подходов система менеджмента и эргатическая система соотносятся как «система» и «подсистема».

В отличие от системы менеджмента, в которой в случае потенциального или фактического отказа предупреждение проявления и контроль над «человеческим фактором» устанавливаются на основе реактивного и превентивного подходов, используя причинно-следственный анализ для совершенствования ее структурных элементов, в эргатической системе для этих целей используется вероятностный подход для изменения или уменьшения энтропии ее элементов. Известно, что энтропия является одной из важнейших системных характеристик. Это количественная мера беспорядка в любой системе. Чем меньше показатель энтропии, тем больше порядка в системе. Энтропия характеризует соотношение дезорганизованности и организованности в системах различной природы. С ее помощью можно определять поведение людей в сложных искусственных системах [13].

Схематично работа судовой эргатической системы показана на рис. 3. Входом системы являются законодательные и регламентирующие требования, а также взаимодействия элементов эргатической системы «оператор-судно-окружающая среда», которые реализуются в виде оператор-судно, оператор-окружающая среда, оператор-оператор, судно-оператор, окружающая среда-оператор и т.п. Процессом является изменения вероятностных состояний структурных элементов системы менеджмента. Ограничения – данные судовой статистики по отказам каждого из операторов, полученные на основе данных по верификации и валидации – средств контроля, совещаний, пересмотров руководством, аудитов и замечаний контролирующих органов и несоответствий. При этом изменения, вносимые в вероятностное состояние структурных элементов системы менеджмента действительны только для тех операторов, по которым собраны статистические данные. Выход – измененные состояния структурных элементов системы менеджмента.

Фактической основой для использования вероятностного подхода в эргатической системе служат статистические данные по наблюдениям за изменчивостью ее элементов. В системах менеджмента имеются требования к использованию статистических данных для лучшего понимания природы, масштаба и причин этой изменчивости, чтобы помочь в решении задач предотвращения проявления и контроля над «человеческим фактором», связанных с такой изменчивостью [9]. Однако эти статистические данные не имеют отношения к конкретному члену экипажа, из-за которого произошел отказ. В судовой эргатической системе при отказе оператора, как одного из ее элементов, вопрос уменьшения энтропии в этом случае решается на основе вероятностного подхода, исходя из статистических данных именно по этому оператору.

Как видно из рис. 2 и 3, кроме общности целей, системы менеджмента и эргатические системы объединяют одни и те же элементы, форма проявления взаимодействия этих элементов – «человеческий фактор», одинаковые законодательные и регламентирующие требования, входы, выходы и т.д.

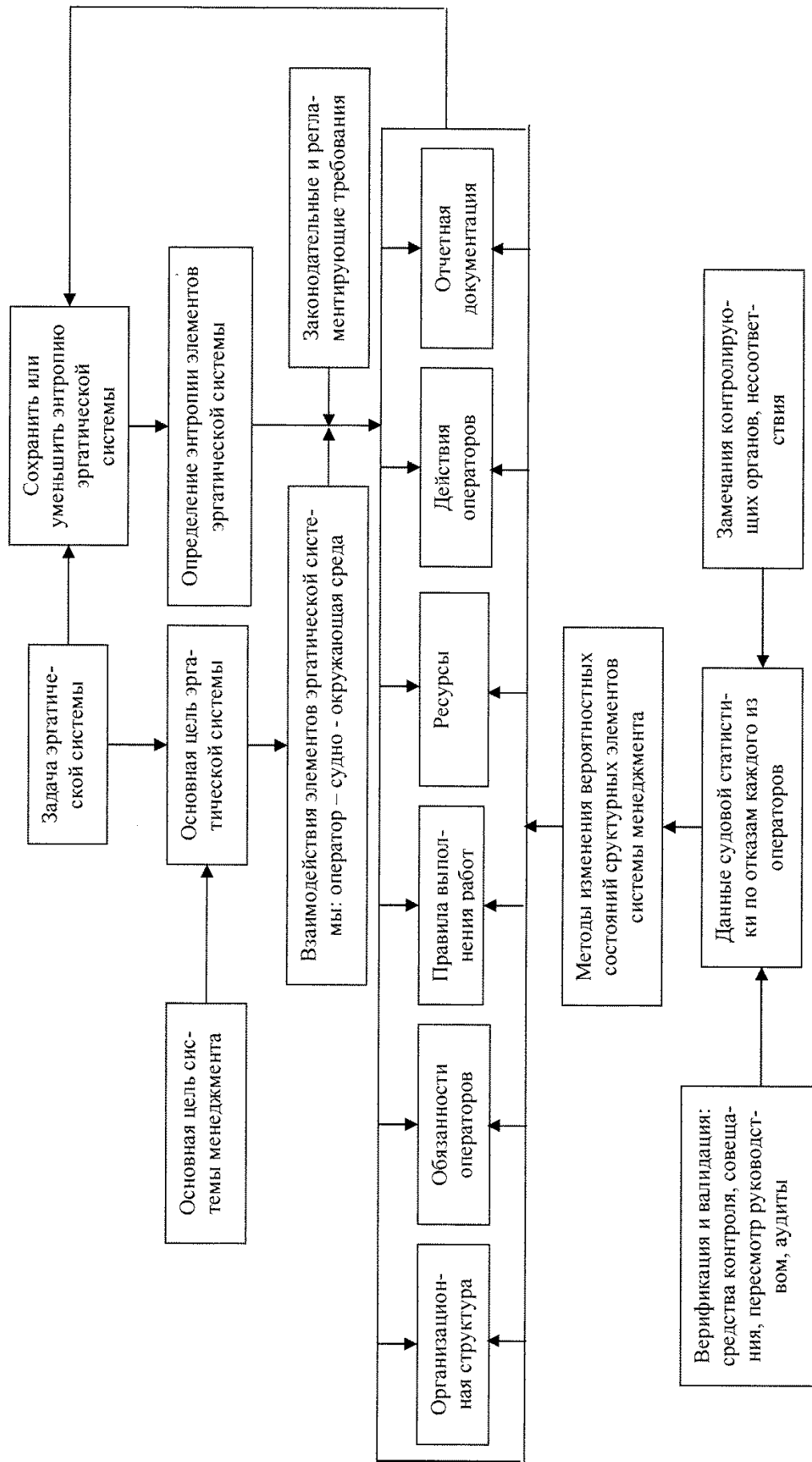


Рисунок 3 – Схема работы судовой организационной системы по сохранению или уменьшению энтропии



Таким образом, рассмотрение судовых систем менеджмента в связи с судовыми эргатическими системами в вопросе предотвращения проявления «человеческого фактора» и контроля над ним позволяет одновременно и органично использовать для этого подходы – реактивный, превентивный и энтропийный (вероятностный).

Выводы и перспектива работы по данному направлению. Из изложенного следует, что внедрение на судах морского флота систем менеджмента и использование аппарата теории вероятностей позволяет усовершенствовать методы сохранения и/или уменьшения энтропии судовых эргатических функций. Это дает возможность более эффективно предупреждать проявление «человеческого фактора» и контролировать его. Однако, для внедрения в практику методов контроля и уменьшения энтропии оператора судовых эргатических функций необходимо научное обоснование и разработка практических методов:

- 1) идентификации количественных характеристик систем менеджмента – законодательных и регламентирующих требований, обязанностей судовых операторов и отчетных документов;
- 2) определения существенных судовых эргатических функций с точки зрения целей судовых систем менеджмента;
- 3) определения вероятностных характеристик работы конкретного оператора в каждой судовой эргатической функции, таких как количество отказов, время работы до отказа, доверительная вероятность и т.д.;
- 4) определения вероятностных режимов работы судовых операторов.

В дальнейшем, чтобы создать основу для предотвращения проявления «человеческого фактора» при реализации судовых эргатических функций, необходимо также разработать алгоритм и судовую компьютерную программу для регистрации статистических данных по оценке энтропии этих функций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XII международного семинара «Качество судоходства: стандарты XXI века». – СПб. : Морской регистр России, 2009. – 113 с.
2. Company Forms Manual / UNI/FMS /001. – Cyprus : Unicom Management Services (Cyprus) Limited, 2010. – 116 p.
3. Кравченко А. И. История менеджмента : учебн. пособие / А. И. Кравченко. – М. : Академический проект, 2000. – 320 с.
4. Исследование целевой функции с ограничениями ее аргументов, как критерия оптимизация структур автоматизированных информационно-эргатических систем / В. И. Мордашов, В. В. Севриков, А. И. Севриков. // Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління : зб.наук. праць. – 2010. – Вип. 108. – С. 23-28.
5. Кодола В. Г. Система средств подготовки летного состава XXI века / В. Г. Кодола // Вестник МНАПЧАК. – 2003. – № 2. – С. 59-65.
6. Надежность железнодорожных операторов как фактор безопасности движения / В. Г. Брусенцов, М. И. Ворожбян, О. В. Брусенцов, И. И. Бугайченко, А. В. Гончаров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №2. – С. 68-71.
7. Карбовец Н. В. Прогнозирование вероятности возникновения критической ситуации в эргатической системе на примере швартуемого судна / Н. В. Карбовец // Сборник научных трудов ИГМА. – 2004. – Выпуск 9. – С. 71-77.
8. M-SCAT. Marine Systematic Cause Analysis Technique. – Hovik, Oslo : Det Norske Veritas, 2003. – 16 p.
9. International Standard ISO 9000:2005 «Quality Management Systems – Fundamentals and Vocabulary». – Geneva : ISO Copyright Office, 2005. – 30 p.
10. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ : учебное пособие / Ю. П. Сурмин. – К. : МАУП, 2003. – 368 с.



11. Зараковский Г. М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г. М. Зараковский, В. В. Павлов. – М. : Радио и связь, 1987. – 232 с.
12. Климов Е. А. Введение в психологию труда : учебник для ВУЗов / Е. А. Климов. – М. : Культура, 1998. – 356 с.
13. Климонтович Ю. Л. Энтропия и информация открытых систем / Ю. Л. Климонтович – М. : ТОО Янус, 1999. – 443 с.

Бобир В.О. СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЕРГАТИЧНІ СИСТЕМИ НА МОРСЬКОМУ ФЛОТІ
В статті розглядається взаємодія між системами менеджменту та ергатичними системами на судах морського флоту. Обґрунтовується можливість їх сумісного використання на основі застосування реактивного, превентивного і ентропійного підходів до попередження прояви «людського фактору» і контролю над ним на судах. Сформульовані першочергові задачі по втіленню в практику методів контролю та зменшення ентропії операторів судових ергатичних функцій.

Ключові слова: системи менеджменту; ергатичні системи; реактивний, превентивний і ентропійний підходи; контроль над «людським фактором»; ентропія судових ергатичних функцій.

Bobyr V.A. MANAGEMENT AND ERGATIVE SYSTEMS ON MARINE FLEET

Interactions between ship management and ergative systems have been considered in the article. A possibility of their combined use to prevent and control over «human factor» on the basis of reactive, proactive and entropy approach has been grounded. The immediate task for implementation in practice methods of control and diminishing of ship ergative function entropy has been formulated.

Keywords: management systems; ergative systems; reactive, proactive and entropy approach; control over «human factor»; entropy of ship ergative function.

Статтю прийнято
до редакції 29.10.2013



УДК: 656.022:06.049:658.513.3

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА УЧАСТКОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СУДОВ НА ЛИНИИ

Вишневский Д.О.

Одесский национальный морской университет

В статье рассматривается процесс организации линии, а именно этап выбора участков, где в дальнейшем будет осуществляться работа универсальных судов. Произведена оценка текущей ситуации в сфере линейного судоходства. Выделена совокупность причин, по которым вопросы поиска наилучшего маршрута, при работе судов по расписанию в линейном судоходстве, представляют существенный интерес для участников транспортного процесса в современной, динамично изменяющейся конкурентной среде. Рассмотрен ряд научных публикаций, посвященных вопросам отбора оптимального маршрута. Предложена экономико-математическая модель задачи выбора участков, для последующей организации линии. Отмечены принципиальные отличия данного метода от существующей практики в вопросах маршрутизации. Определена роль и место задачи нахождения участков в рамках системы формирования расписаний в линейном судоходстве. Отражены перспективы дальнейшего применения результатов данного исследования в сфере организации работы универсальных судов по расписанию.

Ключевые слова: транспортный процесс, линейное судоходство, тоннаж, порты захода, грузоподъемность, грузместимость, универсальные суда, система формирования расписаний в линейном судоходстве.

Введение. Ритмичность работы всех звеньев перевозочного процесса на линии, имеет особо важное значение. Она предполагает своевременную подачу судов в порты под погрузку и выгрузку, строгое выполнение требований по срокам и качеству обслуживания судов, подготовке их к выходу в рейс и сдаче в эксплуатацию после ремонта.

Четкая и слаженная работы морских портов по обработке и обслуживанию морских судов в значительной мере зависит от формы движения флота [1].

Равномерная и своевременная подача судов в порт, с учетом его производственных возможностей, способствует лучшему обращению товарно-денежных потоков, а также обуславливает повышение провозной способности флота.

Актуальность. Актуальность данной темы обуславливается заинтересованностью участников транспортного процесса в новых, более эффективных способах выбора участков для формирования структуры линии.

Вопросам определения оптимальных маршрутов следования транспортных средств посвящено множество научных работ [2-11]. В каждой из них рассматривался свой метод по выявлению наилучшей схемы следования транспорта. В данной работе предлагается актуальный для современной конкурентной среды метод по отбору участков, на которых будет организована работа линейного флота по расписанию. В соответствии с системой формирования расписаний в линейном судоходстве [12], на каждой стадии формирования линии осуществляется рассмотрение исключительно тех факторов, которые представляют актуальность в настоящий период времени. Поэтому, в предложенном в статье методе, главным образом фокусируется внимание на наиболее важных для этого этапа аспектах транспортного процесса.

Цель работы. Разработка экономико-математической модели задачи отбора участков, при формировании новой линии.

Основной материал. Сущность организации перевозочного процесса и работы морского флота состоит в приведении в строгую систему деятельности подразделений морского транспорта – судоходных компаний и инфраструктуры морского бизнеса, тем или иным образом связанной с осуществлением перевозочного процесса [13]. Основой формирования этой системы является совокупность мероприятий, которые направлены на достижение наилучших результатов использования флота в перевозочном процессе при доставке грузов и экспорте транспортных услуг.



В статье рассматривается процедура отбора наилучшего состава участков, которые в дальнейшем сформируют основу линии, для организации работы универсальных судов по расписанию. Следовательно, в ходе работы, основное внимание будет обращено на те элементы системы в работе морского флота, которые имеют наибольший приоритет при изучении данного процесса.

Таким образом, при наличии данных, полученных в результате решения задачи отбора и обоснования тоннажа [14], становится возможным приступить к следующему шагу [12,15] – определению потенциальных портов захода и выбору участков движения судов.

Участки, которые в дальнейшем составят основу линии, расположены на проектном направлении. Из всех возможных вариантов должны быть выбраны те из них, на которых суда будут работать с наибольшей эффективностью. Критерием эффективности в данном случае будет выступать максимальная прибыль.

При осуществлении перевозок на участках, суда могут транспортировать строго регламентированное количество груза, как по грузоподъемности, так и по грузовместимости.

Время в течении которого суда могут работать на участках, ограничено эксплуатационным периодом. Вследствие чего, необходимо спланировать работу флота таким образом, чтобы за установленный срок суда смогли показать наилучший результат работы.

Также следует учитывать, что количество груза, которое суда могут перевезти на каждом из участков не безгранично. Следовательно, нельзя вывезти из каждого порта больше груза, нежели предъявлено к перевозке.

Таким образом, необходимо найти такое решение, которое позволило бы ограниченному числу судов перевезти как можно большее количество груза, по возможности удовлетворить потребности в перевозках на предъявленных участках, и при этом не выйти за рамки эксплуатационного периода.

Подобный подход позволит выявить участки, на которых суда осуществляли перевозки наиболее эффективно. Следовательно, и прибыльность от работы на них также будет выше. Данные участки и сформируют в дальнейшем основу линии.

В рассматриваемом периоде представлен ряд участков с количеством груза $Q_r^{\alpha\beta}$ тыс. т и тарифными ставками $f_{ir}^{\alpha\beta}$. Для выполнения этих перевозок используются суда, предварительно выбранные в задаче отбора тоннажа [14] $i = \overline{1, m}$, но уже с нормативами загрузки $q_{\alpha\beta}^{ir}$ в тыс. т и уже для ряда участков из проектного направления. Общее количество предъявленного груза все так же больше, чем возможности флота по его перевозке, а бюджет времени в эксплуатации судов каждого типа составляет T_1, T_2 судосут.

$$Z = \sum_{\alpha\beta=1}^m \sum_{r=1}^R q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot f_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{c\alpha\beta} + \sum_{\alpha\beta=1}^m \sum_{r=1}^R q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot f_{ir}^{am-c\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{m-c\alpha\beta} + \sum_{\alpha\beta=1}^m \sum_{r=1}^R q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot f_{ir}^{\delta-c\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{a\delta-c\alpha\beta} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^R q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} \leq D_q^i, \text{ для } U_i \leq \omega (i = 1, m'; m'+1, m); \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^R U_{ir}^{\alpha\beta} \cdot q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} \leq W_k^i, \text{ для } U_i > \omega (i = 1, m'; m'+1, m); \quad (3)$$



$$\sum_{\alpha\beta=1}^R \sum_{r=1}^m t_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} = T_i, (i = \overline{1, m}); \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m q_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} \leq Q_r^{\alpha\beta}, (r = \overline{1, R}); \quad (5)$$

$$\sum_{\alpha\beta=1}^m \sum_{i=1}^m f_{ir}^{\alpha\beta} \cdot t_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} + \sum_{\alpha\beta=1}^m \sum_{i=1}^m f_{ir}^{\alpha\beta} \cdot t_{ir}^{\alpha\beta} \cdot x_{ir}^{\alpha\beta} \leq K_i \quad (6)$$

$$x_{ir}^{\alpha\beta} \geq 0, (i = \overline{1, m}; r = \overline{1, R}); \quad (7)$$

$$X_{ir}^{\alpha\beta} = \begin{cases} 1, & \text{если судно типа } i \text{ с грузом } r \text{ осуществляет работу на участке } \alpha\beta; \\ 0, & \text{если судно типа } i \text{ с грузом } r \text{ не работает на участке } \alpha\beta \end{cases}$$

где $x_{ir}^{\alpha\beta}$ – булева переменная, выражающая будет ли работать ли судно типа i с грузом r на участке $\alpha\beta$; $q_{ir}^{\alpha\beta}$ – загрузка судна типа i с грузом r на участке $\alpha\beta$; $f_{ir}^{\alpha\beta}$ – тарифная ставка за перевозку одной тонны груза партии r судном типа i на участке $\alpha\beta$; D_c^i – чистая грузоподъемность судов типа i , W_κ^i – грузовместимость судов типа i ; U_i – удельно-погрузочный объем судна типа i ; ω – удельная грузовместимость; T_i – эксплуатационный период работы судов типа i ; K_i – денежные средства для аренды новых судов типа i как в тайм-чартер так и в бербоут-чартер; $Q_r^{\alpha\beta}$ – прогнозируемый объем грузопотока на участке $\alpha\beta$.

(1) – целевая функция, при которой достигается максимальный доход от работы всех судов на всех участках.

(2) – ограничение, при котором количество груза по массе для каждого судна строго регламентировано и не должно превышать его чистую грузоподъемность.

(3) – ограничение, отражающее, что количество груза по объему для каждого судна строго регламентировано и не должно превышать его грузовместимость.

(4) – группа уравнений, обозначающая, что суда могут эксплуатироваться ровно столько времени сколько предусмотрено эксплуатационным периодом.

(5) – при данном ограничении, выполнение перевозок на направлениях осуществляется в объемах не превышающих заданных.

(6) – суть данного ограничения состоит в том, что расход денежных средств на взятие судов в тайм-чартер и бербоут-чартер не должен превышать выделенной на это суммы.

(7) – условие неотрицательности переменных.

В результате решения данной экономико-математической модели задачи мы получаем конкретные участки, которые в дальнейшем и составят основу проектной линии. Следовательно, руководствуясь данными полученными в ходе решения задачи отбора тоннажа [14] и задачи отбора участков, можно приступить к следующему шагу, где уже из участков будут составляться схемы движения судов компании [12,15].

Таким образом, по результатам данной работы можно сформулировать методику организации работы судов на участках планируемой линии. Анализ текущей ситуации в морской отрасли, показал отсутствие существенных изменений в сфере линейного судоходства за последнее время. Выявлена важность правильного отбора участков линии для обеспечения надежности и целостности расписаний работы судов. Сделан вывод о том, что участники морского транспортного процесса заинтересованы в современных, гибких способах формирования расписаний для сегодняшней конкурентной среды. Так же, проведенные исследования позволяют выделить ряд вопросов первоочередной



значимости, требующих своевременного рассмотрения для должной организации работы судов на участках линии.

Перспективы проведения дальнейших исследований в данном направлении, находят свое отражение в самой структуре системы формирования расписаний в линейном судоходстве [12]. Взаимосвязь элементов данной системы с задачей отбора участков, где в дальнейшем будет организована работа универсальных судов по расписанию, можно увидеть на рис. 1.

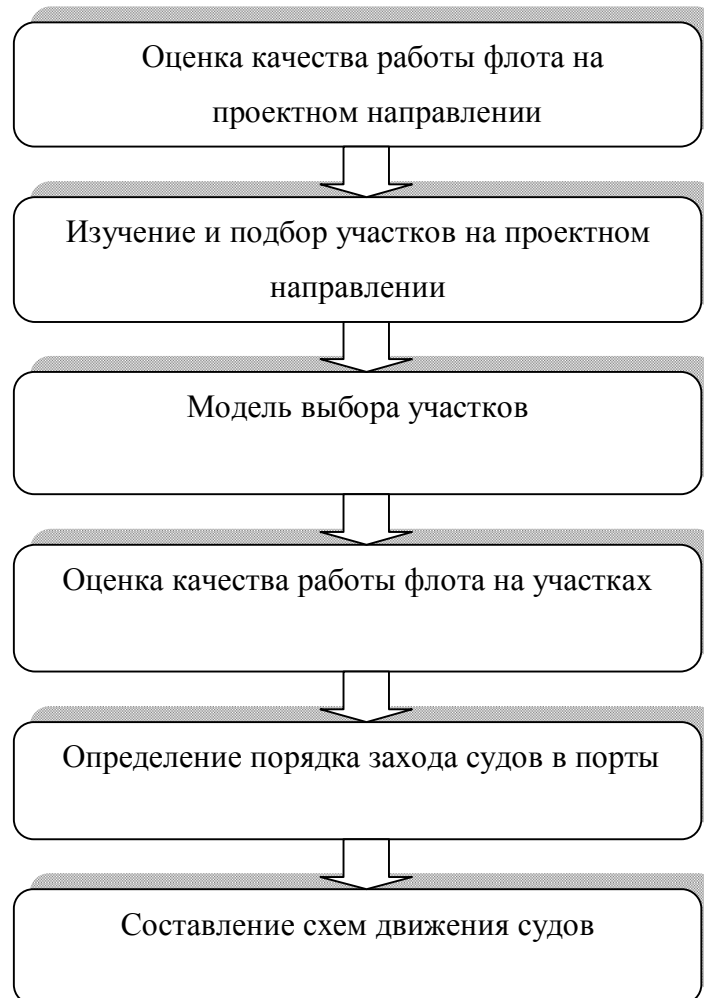


Рисунок 1 – Задача отбора участков и её взаимосвязь с элементами системы формирования расписаний в линейном судоходстве

Следовательно, полученные в ходе работы результаты послужат основой для осуществления очередного этапа данной системы – формирования схем движения судов. Данная стадия будет включать в себя оценку качества работы тоннажа и очередности захода судов в порты, а также постановку очередной экономико-математической модели задачи. Таким образом и будет определен дальнейший ход исследований.

Выводы:

1. Определена методика отбора участков, для организации работы судов на линии.
2. Исследован комплекс вопросов, требующих рассмотрения для осуществления процедуры выбора участков.
3. Изучен ряд научных изысканий, где рассматривалась методика поиска наилучшего маршрута следования транспортных средств.
4. Сделан вывод об актуальности разработки новых способов отбора участков линии в современных условиях.



5. В соответствии с разработанным [12] комплексом задач для системы формирования расписаний в линейном судоходстве при современных условиях, предложена экономико-математическая модель задачи отбора участков для формирования линии.

6. По результатам проведенных в работе исследований, в дальнейшем будет сформирована база для постановки и решения задачи построения схем движения универсальных судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробцов В. И. Техническое обслуживание и ремонт флота / В. И. Коробцов. – М. : Транспорт, 1965. – 196 с.
2. Конвей Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. – М. : Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975.
3. Левин В. И. Структурно-логические методы в теории расписаний / В. И. Левин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2006.
4. Танаев В. С. Теория расписаний. Одностадийные системы / В. С. Танаев, В. С. Гордон, Я. М. Шафранский. – М. : Наука, 1984.
5. Ананий В. Левитин. Метод грубой силы : Задача коммивояжера // Алгоритмы : введение в разработку и анализ. – М. : Вильямс, 2006. – С. 159-160.
6. Томас Х. Кормен. Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – М. : «Вильямс», 2006. – С. 1296.
7. Мудров В. И. Задача о коммивояжере / В. И. Мудров. – М. : «Знание», 1969. – С. 62.
8. Тарасова В. А. Оптимизация маршрутов движения товарно-материальных ценностей в интегрированной цепи поставок производственно-строительного комплекса. кандидат технических наук : дисс.... канд. техн. наук / В. А. Тарасова. – Уфа. 2008. – 120 с.
9. Яковлева Т. А. Целочисленная мультиноменклатурная оптимизационная задача маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку // Современные проблемы науки и образования. – Уфа : ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2011. – № 5.
10. Пожидаев М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта : дисс. ... канд. техн. наук / М. С. Пожидаев. – Томск, 2010. – 136 с.
11. Обобщенная модель перевозочного процесса на автомобильном транспорте (комплексная задача маршрутизации перевозок) / А. А. Аникеич, А. Г. Грибов // Применение математики в экономике : Межвузовский сборник – Л. : Изд-во ЛГУ, 1967. – 136 с.
12. Вишневский Д. О. Система формирования расписаний в линейном судоходстве / Д. О. Вишневский // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – Одеса : ОНМУ. – Вип 36. – С. 35-47.
13. Союзов А. А. Организация и планирование работы морского флота / А. А. Союзов. – М. : Морской транспорт, 1979. – 416 с.
14. Вишневский Д. О. Обоснование состава флота для организации его работы на линии / Д. О. Вишневский // Судовождение : Зб. наук. праць. – Одеса : ОНМА. – Вип. 22. – С. 26-31.
15. Вишневский Д. О. Планирование работы судов по расписанию в линейном судоходстве / Д. О. Вишневский // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2013». – Одесса : ОНМУ, 2013. – Том 1. – С. 67-71.



Вишневський Д.О. ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ДІЛЯНОК ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ СУДЕН НА ЛІНІЇ

У статті розглядається процес організації лінії, а саме етап вибору ділянок, де в подальшому буде здійснюватись робота універсальних суден. Виконано оцінку поточної ситуації в сфері лінійного судноплавства. Виділена сукупність причин, за якими питання пошуку найкращого маршруту, при роботі суден за розкладом в лінійному судноплавстві, представляють істотний інтерес для учасників транспортного процесу в сучасному, конкурентному середовищі, що динамічно змінюється. Розглянуто ряд наукових досліджень, присвячених питанням вибору оптимального маршруту. Запропоновано економіко-математичну модель задачі вибору ділянок, для подальшої організації лінії. Відзначені принципові відмінності даного методу від існуючої практики в питаннях маршрутизації. Визначено роль і місце задачі знаходження ділянок в рамках системи формування розкладів в лінійному судноплавстві. Відображено перспективи подальшого застосування результатів даного дослідження в сфері організації роботи універсальних суден за розкладом.

Ключові слова: транспортний процес, лінійне судноплавство, тоннаж, порти заходу, вантажопідйомність, вантажомісткість, універсальні судна, система формування розкладів в лінійному судноплавстві.

Vishnevskiy D. O. GROUNDING OF THE AREA STRUCTURE FOR ORGANIZATION OF THE VESSELS OPERATION WITHIN THE LINE

The article describes the process of lines organization, namely the area selection stage, where general cargo vessels will perform their further work. An estimation of the current situation in liner shipping is performed here as well. A set of reasons was highlighted, which clarify why the questions of the best route finding for the vessels working within the schedule in liner shipping, are of significant interest to the participants of transport process in a modern, rapidly changing competitive environment. Here is also considered a number of scientific researches, devoted to the issues of the optimal route finding. An economic-mathematical model of the area selection for the subsequent organization of the line is also proposed here. This article specifies principal differences of this method from the existing practice in the issues of routing. Here were also defined the role and the place of the area finding issue within the system of the schedule formation in the liner shipping. The perspectives for the further application of the results of this study in the organization of the general cargo vessels within schedule are also reflected in the article.

Keywords: transport process, liner shipping, tonnage, ports of call, carrying capacity, shipload, general cargo vessels, the system of the schedule formation in the liner shipping.

Статтю прийнято
до редакції 29.10.2013



A CONCEPT OF ENTROPY APPROACH TO THE PROBLEM OF MULTI-ALTERNATIVE OPERATIONAL MODES CONTROL

Goncharenko A.V.

It is made an attempt to solve a problem of optimal control for the situation of multi-alternativeness and conflictability of operational modes active element's individual preferences. A special case substantiation of the optimal mode choice for marine electro-hydraulic steering gears has been considered. The optimal controlling mode has been found without imposing any restrictions upon the angle of the ship's helm blade deflection. It is suggested measuring the positiveness of the individual's preferences conflict with the use of the pseudo-entropy function. Fulfilled appropriate mathematical modeling is illustrated with corresponding diagrams.

Keywords: positive conflictability, pseudo-entropy function, subjective analysis, subjective entropy, individual's preferences, multi-alternative situations, conflicts of preferences, canonical distributions, active systems control.

Introduction. Initiated in [1] a discussion on the topic of the rational modes of operation for a four-arm tiller electro-hydraulic steering gear (EHSG) equipped with the piston hydro-cylinders with respect to multi-alternativeness and individual's subjective preferences; also in [2] on the theme of the conflictability of operational situations in terms of entropy paradigm is now being prolonged in this paper.

Urgency of researches. It is important to research a process of a multi-alternative operational modes control for a few special cases of alternatives and their possible conflicts from the point of view of the active system controlling element's individual subjective preferences entropy approach concept.

It is always an actual scientific problem to find a general principle by which a set of phenomena is guided.

Analysis of the latest researches and publications. In the previous publications [1, 2] we analyzed advantages of a four-arm tiller EHSG equipped with the piston hydro-cylinders compared to the traditional plunger type EHSG of 4EP220, Stork (the Netherlands); the nominal moment equals 1,167 kNm [3].

Main characteristics of an EHSG are normalized by the standards and regulations of International Maritime Organization and, accordingly to them by all Classification Societies. These are: the time of putting helm from 35° of one board up to 30° of the other; the number of the pumps (not less than two); availability of preventive devices (automatically acting valves and others); doubling of the controlling lines; possibility of emergency control over the helm; and some others [3].

Also, in [1, 2] it has been considered at least one specific alternative operational mode combined out of two the simplest elementary conflictable ones.

With the use of the entropy approach [1, 2, 4-9] to such a problem of control in an active system, we will be studying not covered before situations.

The task setting. In this paper we will be finding optimal control decisions for the choice of a needed operational mode without imposing any restrictions upon the angle of the ship's helm blade deflection. Entropy approach explains the principle.

The main content (material). The idea is to continue studying of operational modes combinations started in [1, 2] in order to generalize modeling dependences of control in situations with possible conflicts. The entropy of preferences is a tool.

The problem formulation. Accordingly to [1, 2] we have got three elementary operational modes described with the expressions of forces acting in the piston hydro-cylinders of the retrofitted EHSG with the four-arm tiller in the view of

$$F' = \frac{M_b}{2r \sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta)}, \quad F'' = \frac{M_b}{2r[\sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + 0.75 \sin(\beta - \alpha + \gamma - \delta')]}$$



$$F''' = \frac{M_b}{2r[\sin(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + \sin(\alpha - \beta + \delta'' - \gamma)]}, \quad (1)$$

where M_b – moment acting on the rudder [1-3]; α – angle of the tiller turning; r , β , γ , δ , δ' , δ'' – structure geometrical parameters of the four-arm tiller steering gear equipped with the piston hydro-cylinders [1, 2].

The conflict free combined of (1) mode of operation is being written with the conditional system of equations [1, 2]

$$F_{cn} = \begin{cases} F'', & \alpha < \alpha_0; \\ F', & \alpha = \alpha_0; \\ F''', & \alpha > \alpha_0, \end{cases} \quad (2)$$

where α_0 – angle of deflection of the ship's helm blade at which the corresponding hydro-cylinder changes its-own mode of operation.

Now, we apply the postulated in subjective analysis functional of the general view of [5, P. 119, (3.38)] in the view of [1, 2]

$$\Phi_\pi = -\sum_{i=1}^N \pi_i \ln \pi_i - \beta \sum_{i=1}^N \pi_i |F^i| + \gamma \left[\sum_{i=1}^N \pi_i - 1 \right], \quad (3)$$

where π – function of the individual's subjective preferences; N – number of possible elementary (simplest) operational modes (achievable alternatives); β , γ – structural parameters, they can be considered in different situations as Lagrange coefficients, weight coefficients or endogenous parameters that represent certain properties of the individual's (active element's) psych; $\sum_{i=1}^N \pi_i = 1$ – normalizing condition.

Compiling functional (3) with the formulas (1) accordingly to the three modes mentioned above, we acquire corresponding expressions, for the cases of the specific operational modes control on conditions of their multi-alternativeness only, in one of the following view

$$\Phi_\pi = -\sum_{i=1}^2 \pi_i \ln \pi_i - \beta(\pi_1 |F'| + \pi_2 |F''|) + \gamma \left[\sum_{i=1}^2 \pi_i - 1 \right], \quad (4')$$

$$\Phi_\pi = -\sum_{i=1}^2 \pi_i \ln \pi_i - \beta(\pi_1 |F'| + \pi_3 |F'''|) + \gamma \left[\sum_{i=1}^2 \pi_i - 1 \right], \quad (4'')$$

$$\Phi_\pi = -\sum_{i=1}^2 \pi_i \ln \pi_i - \beta(\pi_2 |F''| + \pi_3 |F'''|) + \gamma \left[\sum_{i=1}^2 \pi_i - 1 \right], \quad (4''')$$

$$\Phi_\pi = -\sum_{i=1}^3 \pi_i \ln \pi_i - \beta(\pi_1 |F'| + \pi_2 |F''| + \pi_3 |F'''|) + \gamma \left[\sum_{i=1}^3 \pi_i - 1 \right]. \quad (4'''')$$

The preferences functions π_i in (4) in their canonical view [5, P. 115-135], being got from the necessary conditions of extremum in the view of

$$\frac{\partial \Phi_\pi}{\partial \pi_i} = 0, \quad (5)$$

though having the same subscripts, have different values for those four variants of (4)



$$\pi_1 = \frac{e^{-\beta|F^r|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}, \pi_2 = \frac{e^{-\beta|F^m|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}; \quad (6')$$

$$\pi_1 = \frac{e^{-\beta|F^r|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}, \pi_3 = \frac{e^{-\beta|F^m|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}; \quad (6'')$$

$$\pi_2 = \frac{e^{-\beta|F^m|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}, \pi_3 = \frac{e^{-\beta|F^r|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|}}; \quad (6''')$$

$$\pi_1 = \frac{e^{-\beta|F^r|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|} + e^{-\beta|F^m|}}, \pi_2 = \frac{e^{-\beta|F^r|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|} + e^{-\beta|F^m|}},$$

$$\pi_3 = \frac{e^{-\beta|F^m|}}{e^{-\beta|F^r|} + e^{-\beta|F^m|} + e^{-\beta|F^m|}}; \quad (6''''')$$

because all of them are obtained on different conditions; except for (5), of course; of multi-alternativeness, conflictability, circumstances, and operational situations control etc.

Considering this case with the two reachable alternatives we might discover a certain analogue to the stimuli perceptions relation from psychophysics. Really, let us compose a functional from the prototype (3)

$$\Phi = -\sum_{i=1}^2 F_i \ln F_i - \beta \sum_{i=1}^2 \pi_i F_i + \gamma \left[\sum_{i=1}^2 F_i - 1 \right], \quad (3')$$

where F_i – play the role of stimuli; π_i – have the sense of perceptions.

From equation (3') and conditions like (5)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial F_i} = -\ln F_i - 1 - \beta \pi_i + \gamma = 0, \quad F_i = e^{-1+\gamma} e^{-\beta \pi_i}, \quad \ln \frac{F_1}{F_2} = -\beta(\pi_1 - \pi_2). \quad (3'')$$

The last equation of (3'') in these terms is interpreted as the Weber-Fechner law.

When the operational functional likewise (3) is given in the view of an operational integral [7, P. 57, (1)]

$$\Phi_{\pi} = \int_{t_0}^{t_1} \left(-\sum_{i=1}^N \pi_i(t) \ln \pi_i(t) + \beta \sum_{i=1}^N \pi_i(t) F_i + \gamma \left[\sum_{i=1}^N \pi_i(t) - 1 \right] \right) dt, \quad (7)$$

where t – time; $-\sum_{i=1}^N \pi_i(t) \ln \pi_i(t)$ – entropy of subjective preferences of $\pi_i(t)$; F_i – effectiveness function related to the i^{th} alternative; in the simplest problem setting we might consider $x(t)$ and $\dot{x}(t)$, let us, for example, say, the force acting in the cylinder and its rate of change in time as the subjective efficiency functions of the two achievable alternatives with the corresponding preferences of $\pi_1(t)$, $\pi_2(t)$.

With respect to particular combinations of $x(t)$, $\dot{x}(t)$, $x(t)\dot{x}(t)$, and $\frac{\dot{x}(t)}{x(t)}$, we will get the eleven specific variants of the functional (7), which have their common general view of [7, P. 57, (2)]:



$$\Phi_{\pi} = \int_{t_0}^{t_1} \left(- \sum_{i=1}^{N=4} \pi_i(t) \ln \pi_i(t) + \beta [\pi_1(t)x(t) + \alpha_2 \pi_2(t)\dot{x}(t) + \alpha_3 \pi_3(t)x(t)\dot{x}(t) + \alpha_4 \pi_4(t) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)}] + \gamma \left[\sum_{i=1}^{N=4} \pi_i(t) - 1 \right] \right) dt, \quad (8)$$

where α_i – coefficients that consider the differences in the measurement units.

The last functional (8) is the general one and each of the previously mentioned specific variants derives from it with the corresponding $\pi_i(t)$ and α_i .

Conflictability of the preferences distributions is determined through the pseudo-entropy function [8, P. 123, (21)], [9, P. 64, (19)]. Dependently upon intentions expressed in active element's individual preferences it may be positive or negative.

The problem solution. On choosing the desired view of the operational functional (4) and getting the canonical distributions of subjective preferences (6), we get optimal conflict free mode of operation in by-passing conditions (2).

Applying the necessary conditions for extremums in the view of Euler-Lagrange equations for the variational problems of (7) or (8) [7, P. 58, (3)]

$$\frac{\partial R^*}{\partial \pi_i} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial R^*}{\partial \dot{\pi}_i} \right) = 0, \quad \frac{\partial R^*}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial R^*}{\partial \dot{x}} \right) = 0, \quad (9)$$

where R^* – the under-integral function of the corresponding integral (7) or (8), we get the corresponding expressions of canonical distributions of the preferences for (8) in the traditional form [7, P. 58, (4)]

$$\pi_j = \frac{e^{\alpha_j \beta F_j}}{\sum_{i=1}^N e^{\alpha_i \beta F_i}}. \quad (10)$$

The preferences functions for (8) are connected through the generalized equation by Euler-Lagrange in the transformed view [7, P. 58, (5)]

$$\pi_1 = \alpha_2 \dot{\pi}_2 + \alpha_3 x \dot{\pi}_3 + \frac{\alpha_4}{x} \dot{\pi}_4. \quad (11)$$

The generalized differential equation of the second order for (11) will be [7, P. 58, (6)]

$$\ddot{x} = \frac{\pi_1 + A + B + C}{D + E + F}, \quad (12)$$

where [7, P. 58-59, (7)]

$$A = \alpha_2 \left\{ \beta \pi_2 \left(\pi_1 + \alpha_3 \dot{x} \pi_3 - \alpha_4 \frac{\dot{x}}{x^2} \pi_4 \right) \dot{x} \right\},$$

$$B = -\alpha_3 x \left\{ \beta \pi_3 \left[\alpha_3 \dot{x} (\pi_1 + \pi_2 + \pi_4) - \pi_1 + \alpha_4 \frac{\dot{x}}{x^2} \pi_4 \right] \dot{x} \right\},$$

$$C = -\frac{\alpha_4}{x} \left\{ \beta \pi_4 \left[-\alpha_4 \frac{\dot{x}}{x^2} (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3) - \pi_1 - \alpha_3 \dot{x} \pi_3 \right] \dot{x} \right\},$$



$$\begin{aligned}
 D &= \alpha_2 \left\{ \beta \pi_2 \left[\alpha_2 (\pi_1 + \pi_3 + \pi_4) - \alpha_3 x \pi_3 - \frac{\alpha_4}{x} \pi_4 \right] \right\}, \\
 E &= \alpha_3 x \left\{ \beta \pi_3 \left[\alpha_3 x (\pi_1 + \pi_2 + \pi_4) - \alpha_2 \pi_2 - \frac{\alpha_4}{x} \pi_4 \right] \right\}, \\
 F &= \frac{\alpha_4}{x} \left\{ \beta \pi_4 \left[\frac{\alpha_4}{x} (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3) - \alpha_2 \pi_2 - \alpha_3 x \pi_3 \right] \right\}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

If, for instance, there is an intellectual system that is involved into the process of operational control, we can solve a problem likewise for an artificial intelligence. The operational integral functional in that case will be similar to (7)

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_1} \left(- \sum_{i=1}^N S_i(t) \ln S_i(t) - \beta \sum_{i=1}^N \pi_i(t) S_i(t) + \gamma \left[\sum_{i=1}^N S_i(t) - 1 \right] \right) dt, \tag{7'}$$

where S_i – stimuli that induce perceptions in the view of preferences π_i .

From conditions like (9) and functional (7') it yields

$$\frac{\partial R^*}{\partial S_i} = -\ln S_i - 1 - \beta \pi_i + \gamma = 0, \quad S_i = e^{\gamma-1} e^{-\beta \pi_i}, \quad e^{\gamma-1} = \frac{1}{\sum_{q=1}^N e^{-\beta \pi_q}}.$$

The members of $\gamma - 1$ and $e^{\gamma-1}$ are the same for any i^{th} stimulus and preference.

$$S_i = \frac{e^{-\beta \pi_i}}{\sum_{q=1}^N e^{-\beta \pi_q}}, \quad \forall i \in \overline{1, N}.$$

From here it follows that for any i and j

$$\ln \frac{S_i}{S_j} = -\beta (\pi_i - \pi_j). \tag{7''}$$

The expression (7'') is the analogue to the main law of psychophysics (3''). In case when $N = 2$, we get relations between the stimuli and effectiveness functions:

$$S_1 = \frac{1}{1 + e^{-\beta(1-2\pi_1)}}, \quad \pi_1 = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{1}{S_1} - 1 \right) \right].$$

With canonical distribution for preferences similar to (10)

$$S_1 = \frac{1}{1 + e^{-\beta \tilde{F}}}, \quad \tilde{F} = \frac{e^{-\beta F_2} - e^{-\beta F_1}}{e^{-\beta F_1} + e^{-\beta F_2}}.$$

Relation (7'') gets the view

$$\ln \frac{S_1}{S_2} = -\beta \left(\frac{e^{-\beta F_1} - e^{-\beta F_2}}{e^{-\beta F_1} + e^{-\beta F_2}} \right).$$



The member within parentheses is called *stimuli effectiveness functions hyperbolic tangent*, since, if the effectiveness functions $F_1 = -F_2$, it becomes $\text{th}(\beta F_2)$ and

$$\ln \frac{S_1}{S_2} = -\beta \text{th}(\beta F_2) = \beta \text{th}(\beta F_1), \quad S_1 = \frac{1}{1 + \exp[\beta \text{th}(\beta F_2)]}$$

Practical application of the problem solution. For a practical application of the problem solution we consider, for example, a general cargo, universal, dry cargo vessel, DWT 13,500 t, the ship's speed 18.2 knots. The prototype-vessel, let us say, of the «Geroi Panfilovtsy» series. She is presumable equipped with the plunger steering engine, builder's type of 4EP220, Stork (the Netherlands).

The problem solution is applicable to any similar problem formulations of that style of problem setting although.

Because of, for instance, the output of EHSГ practically has no limitations [3]. On supertankers, for examples, there are EHSГ with the output of up to 800 kW (turning moment more than 20,000 kN·m) installed [3].

The area of EHSГ application is also unrestricted. They are used for all types of ships: dry cargo and tankers, ferries and luxury (comfortable) passenger liners, supertankers and launches for recreations, and so on. With any types of ship propulsion [3].

Also the problem solution can be applied in other areas and fields of a certain scientific interest where their controlling influence or individual's choice may be represented through the method likewise (2)-(6).

Using the variational problem setting likewise (7) in the view

$$\Phi_\pi = \int_{t_0}^{t_1} \left(-\sum_{i=1}^N \pi_i(t) \ln \pi_i(t) - \beta \sum_{i=1}^N \pi_i(t) |F^i| + \gamma \left[\sum_{i=1}^N \pi_i(t) - 1 \right] \right) dt, \quad (14)$$

from conditions (9) because of

$$\frac{\partial R^*}{\partial \pi_i} \equiv 0, \quad \frac{\partial R^*}{\partial \pi_i} = 0, \quad (15)$$

we will get the identical to (5) and (6) result.

Getting back to EHSГ, for data prescribed in [1, 2], we have got advantages of the improved EHSГ compared to the «old» one in the view of the forces ratio [1], and forces difference

$$\Delta F = |F_{cn}| - |F_c|, \quad (16)$$

where F_c – the force acting in the cylinders of the «old» EHSГ 4EP220, Stork [1, 2].

Concerning the forces differences (16), they are illustrated in fig. 1, [2].

In fig. 1, it is shown the differences between forces acting in the cylinders of the improved steering gear drive and in the traditional 4EP220.

Modeling by the method (3)-(6) allows us choosing the optimal conflict free combined mode of operation. We would like to stress ones more that there was not a restriction to the angle of α . In no way and nowhere in the problem setting with the subjective preferences we imply conditions (2).

Modeling for the case (4''''') and (6''''') is illustrated in fig. 2.

In fig. 2 it is shown, in corresponding scales, the forces, entropies, preferences, moment on the rudder. Also it is shown there the value of the maximal entropy which for this problem formulation equals $\ln 3$. Entropy maxima correspond to the first situation when the moment on the rudder equals zero and the second situation when the forces of the three modes are equaled to each other.

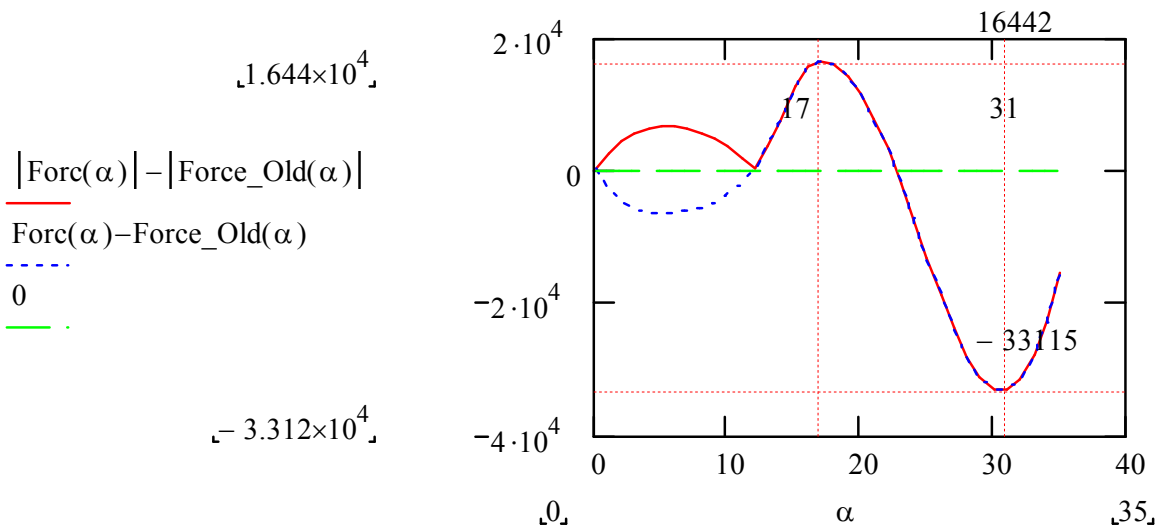


Figure 1 – Advantages of the retrofitted marine steering gear

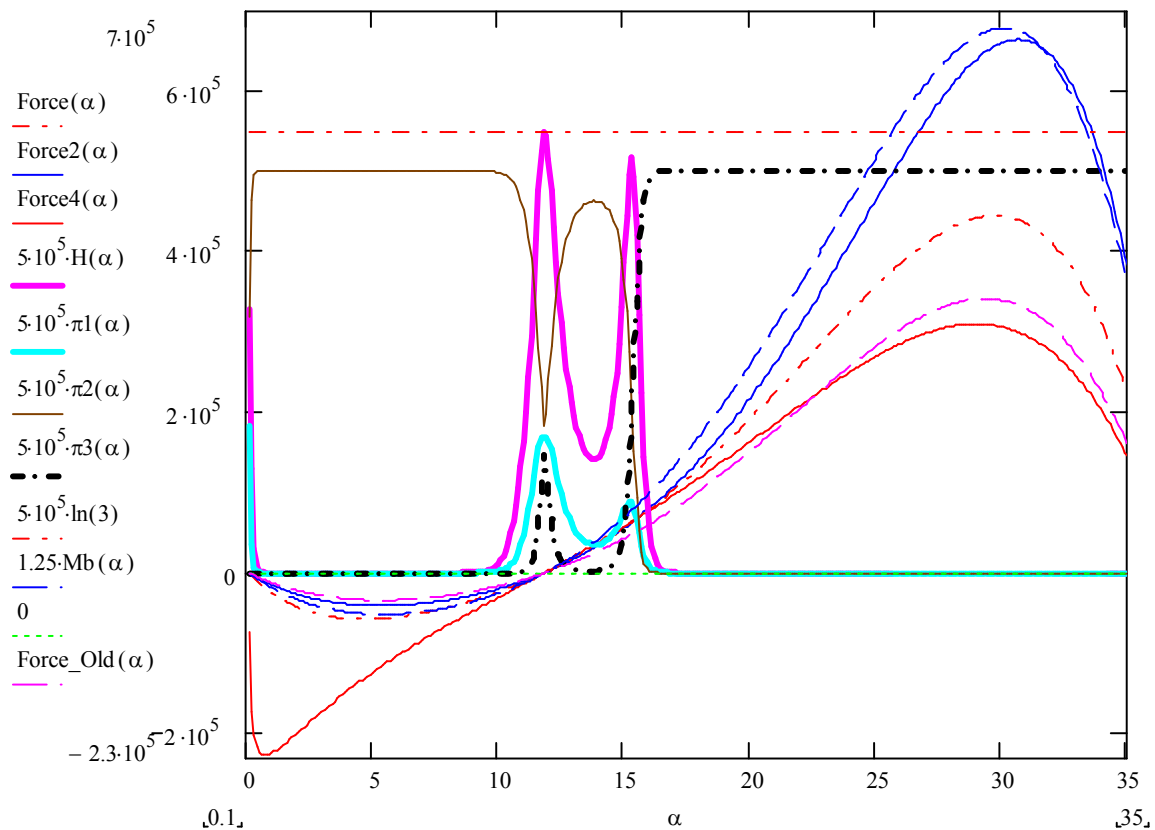


Figure 2 – Entropy and preferences of operational modes

The researches results. In fig. 2, it is obvious the active element chooses rational control since the entropy tends to zero and distribution of his own preferences definitely shows that; and the corresponding absolute values of the forces acting in the piston hydro-cylinders have the minimal magnitudes.

If we indicate the preferences of the minimal forces magnitudes be positive which quite logical, then, for sure, the conflict (contradiction) between the preferences measured by the pseudo-entropy function [8, P. 123, (21)], [9, P. 64, (19)] is also utterly positive which is rather reasonable. This means that positive conflict has a sense of a certain initial factor of the rational control choice and operational strategic behavior within the whole diapason of the angle of the helm deflection.



We might as well trace the same entropy guiding principle in all particular cases (4) and (6) described in the problem formulation section of this paper.

Conclusions. Due to the suggested improvements of the steering gear, we expect a decrease in the mechanical tension. Therefore the mass of the installation can be reduced, reliability – raised.

The subjective preferences entropy maximum concept allows choosing the appropriate control for the rational modes of operation in conditions of multi-alternativeness of operational situations and helps avoid possible conflicts in the system.

The optimal control has the positive conflictability through all the range of the operational situations.

Prospects of further researches. For further researches it is prospective to deal with the entropy paradigm in studying multi-alternativeness of operational situations on conditions of possible conflicts with the use of the methods (3)-(15) applicably to other more general cases of operational control.

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Goncharenko A. V. Rational modes of operation for a four-arm tiller electro-hydraulic steering gear with respect to multi-alternativeness and preferences / A. V. Goncharenko // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 1 (8). – С. 28-34.
2. Goncharenko A. V. Conflictability of operational situations in terms of entropy paradigm / A. V. Goncharenko // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) : збірка матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції. У 2-х тт. Т. 1. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – С. 115-118.
3. Харин В. М. Судовые гидравлические рулевые машины : учеб. пособ. / В. М. Харин. – Одесса : Фенікс, 2005. – 280 с.
4. Kasianov V. Subjective entropy of preferences. Subjective analysis : monograph / V. Kasianov. – Warsaw, Poland : Institute of aviation, 2013. – 644 p.
5. Касьянов В. А. Субъективный анализ : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.
6. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2003. – 224 с.
7. Kasyanov V.O. Variational principle in the problem of ship propulsion and power plant operation with respect to subjective preferences / V.O. Kasyanov, A.V. Goncharenko // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 56-61.
8. Goncharenko A. V. Mathematical modeling of the ship's main engine random operational process / A. V. Goncharenko // Двигатели внутреннего сгорания : Научно-технический журнал. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – № 2. – С. 117-125.
9. Goncharenko A. V. Measures for estimating transport vessels operators' subjective preferences uncertainty / A. V. Goncharenko // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 59-69.



Гончаренко А.В. КОНЦЕПЦІЯ ЕНТРОПІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ РЕЖИМАМИ

Здійснено спробу розв'язати проблему оптимального керування для ситуації багатоальтернативності та конфліктності індивідуальних переваг експлуатаційних режимів активним елементом. Розглянуто обґрунтування частинного випадку вибору оптимального режиму для морської електрогидравлічної рульової машини. Оптимальний режим керування знайдено без накладення будь-яких обмежень на кут повороту пера руля судна. Запропоновано вимірювання позитивності конфлікту індивідуальних переваг із використанням псевдоентропійної функції. Виконане належне математичне моделювання проілюстровано відповідними діаграмами. Ключові слова: позитивна конфліктність, псевдоентропійна функція, суб'єктивний аналіз, суб'єктивна ентропія, індивідуальні переваги, багатоальтернативні ситуації, конфлікти переваг, канонічні розподіли, керування активними системами.

Гончаренко А.В. КОНЦЕПЦІЯ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ РЕЖИМАМИ

Осуществлена попытка решить проблему оптимального управления для ситуации многоальтернативности и конфликтности индивидуальных предпочтений эксплуатационных режимов активным элементом. Рассмотрено обоснование частного случая выбора оптимального режима для морской электрогидравлической рулевой машины. Оптимальный режим управления найден без накладывания каких-либо ограничений на угол поворота пера руля судна. Предложено измерение позитивности конфликта индивидуальных предпочтений с использованием псевдоэнтропийной функции. Выполненное надлежащее математическое моделирование проиллюстрировано соответствующими диаграммами. Ключевые слова: позитивная конфликтность, псевдоэнтропийная функция, субъективный анализ, субъективная энтропия, индивидуальные предпочтения, многоальтернативные ситуации, конфликты предпочтений, канонические распределения, управление активными системами.

Статтю прийнято
до редакції 30.05.2013



АНАЛІЗ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ СУДНОВИМИ ЕЛЕКТРО-ЕНЕРГЕТИЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ПРИКЛАДІ АВТОМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Ісаєв Є.О., Сіманенков А.Л.

Херсонська державна морська академія

У даній статті розглянута проблематика методів налаштування ПІ-, ПІД-регуляторів на основі практичного досвіду експлуатації суднових автоматизованих установок. Розглянута проблема простоти експлуатації та переналаштування суднових автоматизованих регуляторів температури. Авторами запропонована узагальнена модель підходу до вибору мікроконтролерів при проектуванні судів, що має за мету розширити межі використання різноманітних типів мікроконтролерів. Такий погляд буде цікавий спеціалістам суднобудівної галузі. Проведені дослідження порівняння характеристик роботи систем автоматизованого регулювання судновими технічними засобами, оснований на застосуванні правил нечіткої логіки та класичних правил ПІД-регулювання. Приведені дані отримані експериментальним шляхом на прикладі суднових автоматизованих регуляторів температури. Особлива увага приділяється опису переваг налаштування та експлуатації мікроконтролерів що мають програмне забезпечення засноване на правилах нечіткої логіки.

Ключові слова: регулятори температури, нечітка логіка, ПІД-регулювання.

Аналіз проблеми. Під час проектування та розробки суднових технічних засобів, як правило, застосовується мозковий центр у складі великої кількості інженерів та проєктантів суднобудівної галузі, що розробляють та компонують технічний комплекс (судно) у відповідності до низки вимог, таких як: економічність, суднохідність, відповідність до вимог міжнародних організацій (IMO, SOLAS, GL і т.д.). Проте простота експлуатації майже завжди залишається у кінці списку вимог. Таким чином, кінцеве налаштування систем автоматизації покладається на обслуговуючий персонал. Основною проблемою є перенастроювання П, ПІ, ПІД регуляторів що на теперішній час є складовою частиною кожного механізму. І саме цей етап є працемістким адже, як правило, використовується модель налаштування регуляторів за реакцією системи на поетапний вплив, що здійснюється регулюючим органом, тобто за перехідною характеристикою системи. Простежуючи вид даної характеристики (стан вихідних параметрів системи) та генеруючи досвід про характер впливу зміни параметрів регулятора на вигляд даної характеристики, обслуговуючий персонал проводить перенастроювання параметрів мікроконтролера. Далі дослід повторюється, до тих пір, коли вигляд перехідної характеристики (вихідні дані регулятора) не прийме вигляд, що задовольняє умови працездатності вузла.

Що стосується нечітких регуляторів, їх налаштування зводиться до використання досвіду та експертних знань щодо конкретного механізму, які здобуваються судновим обслуговуючим персоналом під час експлуатації.

До проблемних завдань експлуатації також віднесемо швидкість спрацювання робочого органу, що є найважливішим параметром під час маневрового режиму судна, а також вигляд вихідної характеристики регулятора, що характеризує вихідні параметри САР.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати досліджень щодо застосування систем на базі нечіткої логіки, а також заміну конвенційних ПІ-регуляторів нечіткими контролерами або гібридними системами відображені у чималій збірці наукових робіт [1-3].

Метою статті є порівняльний аналіз нечітких мікроконтролерів та ПІ-мікроконтролерів на прикладі регуляторів температури судновими паливообробляючими комплексами, а також методів практичного налаштування останніх



і, як наслідок, доказ доцільності більш широкого застосування систем автоматичного регулювання (САР) створених на базі та правилах нечіткої логіки.

Математична модель вибору мікроконтролера. На сьогоднішній день головним завданням вибору мікроконтролеру є знаходження такого типу останнього, який би відповідав вимогам до обладнання, що проектується. Разом із цим розробники систем автоматики, як правило, віддають перевагу лінійці конкретних серій та виробників мікроконтролерів з якою вони вже працювали та мають досвід її використання. Більшість типів таких мікроконтролерів використовують в основі своєї роботи ПІ-закон регулювання, що на сьогоднішній день не найкраще відповідає вимогам, які до них висуваються. Тому авторами розроблений математичний підхід до вибору мікроконтролерів, що можливо використовувати при проектуванні будь-якого обладнання.

Будь-які моделі, що є предметом вивчення та моделювання мають перелік критеріїв, які можна виразити як: K_1, K_2, \dots, K_n . Надалі кожному варіанту вибору A_i можна зіставити n -мірний вектор виду $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})$, компонентами котрого будуть виступати числові оцінки $x_{iq} = K_q(A_i)$ зі шкалами X_q критеріїв $K_q, q = 1, \dots, n, [1]$.

Якщо не ставиться завдання забезпечити максимізацію цільових функцій, тобто побудови множини паритетно-оптимальних варіантів, то більш вдалим в даному випадку слугує підхід до урахування багатокритеріальності (завдання загального показника якості):

$$y = f(x) = (f_1(x), \dots, f_h(x)),$$

компонентами якого є оцінки варіанту за відносними критеріями ефективності $y_j = f_j(x), j = 1, \dots, h$, у багатомірному просторі цілей.

У даному конкретному випадку увага приділяється швидкості виконання алгоритму (робота регулятора у маневровому режимі) $y_1 = f_1(x)$, на інші часткові критерії накладаються деякі додаткові умови:

$$\dot{x} \in \arg \max_{x \in X} f_1(x)$$

Додамо додаткові границі на область варіантів рішення:

$$X = \{x | y_j^{\min} \leq f_j(x) \leq y_j^{\max}, j = 2, \dots, h\}$$

та область цілей, що досягаються $Y = f(X)$.

Даний метод оптимізації не потребує встановлення експертом важливості часткових критеріїв якості $f_j(x)$ та є достатньо зручним при проектуванні технічних систем.

Методи налаштування ПІ-, ПІД-регуляторів. У рамках практичної експлуатації вказаних регуляторів існує 3 основних підходи до налаштування автоматичних систем управління (АСУ).

Перший – синтез регулятора, вирахування параметрів системи на основі її моделі, метод дозволяє доволі точно розрахувати параметри та критерії налаштування останнього, проте потребує ґрунтовних пізнань теорії автоматичного управління (ТАУ), що не завжди може бути під силу обслуговуючому персоналу.

Другий метод – підбір параметрів, метод проб та помилок. Включає в себе розгляд готової системи та змінення одного або навіть декількох параметрів одразу, з подальшим простежуванням роботи системи та вибором напрямку зміни параметрів налаштування.

Третій метод (Зіглера-Нікольса). Даний підхід не є найпростішим та не дає найоптимальніші параметри на виході системи, проте він доволі простий у застосуванні та дійсний для базового налаштування майже будь-яких систем.

Сутність методу:

1. Усі початкові коефіцієнти (K_p, K_i, K_d) виставляються до 0.



2. Поступово збільшуючи значення K_p до початку стійких коливань системи (перерегулювання); збільшуємо K_p до тих пір, поки коливання системи не стабілізуються.

3. Фіксуємо поточне значення K_p та вимірюємо період коливань системи (T_u).

Надалі маючи вказані значення розраховуємо параметри регулятора, за формулами:

$$K_p = 0.6 * K_u;$$

$$K_i = 2 * K_p / T_u;$$

$$K_d = K_p * T_u / 8.$$

Налаштування нечітких регуляторів. У регуляторах температури, працюючих за системою Fuzzy Logic, діє наступна функціональна схема:

$$(T_z - T) < 0 \text{ I } \text{abs}(T_z - T) > NZ_{up}, \text{ то } Y = (-1) * t * T_p;$$

$$\text{або } NZ_{down} < \text{abs}(T_z - T) < NZ_{up}, \text{ то } Y = 0;$$

$$\text{або } (T_z - T) > 0 \text{ I } \text{abs}(T_z - T) < NZ_{down}, \text{ то } Y = t * T_p,$$

де T_z – задана температура, °C; T – фактична температура, °C; NZ_{down} , NZ_{up} – нижня та верхня границі зони нечутливості відповідно; Y – тривалість управляючого імпульсу (це час, протягом якого робочий орган буде пересуватися), секунд; t – час сервоприводу (максимальна тривалість імпульсу, який подається на робочий орган), секунд; T_p – значення, визначає тривалість надісланого імпульсу, в долях від часу сервоприводу; (-1) – означає пересування робочого органу вниз (тобто рух у напрямку закриття).

Процес налаштування таких регуляторів складається з наступного: визначити час сервоприводу; задати значення T_p .

Наведемо графіки позиції робочого органу при ПІД-регулюванні та Fuzzy Logic регулюванні. Нульова позиція робочого органу характеризує її повністю закриті положення, 100% – повністю відкрите.

На наведених нижче графіках (рис. 1, 2) можна порівняти характеристики роботи ПІД-регулятора (терморегулятор системи обігріву головного двигуна судна «m/v Dogian» 1991 року будовання, проекту DTUK5J4) та регулятора оснований на застосуванні нечіткої логіки (терморегулятор парового клапану підігріву сепаратора очищення важкого палива судна «m/v ER Visby» проекту WJK25, 2012 року).



Рисунок 1 – Робоча характеристика терморегулятора системи обігріву головного двигуна при застосуванні ПІД-закону регулювання



Рисунок 2 – Робоча характеристика терморегулятора парового клапану підігріву сепаратора при застосуванні правил нечіткої логіки

Як видно з графіків, якість роботи регуляторів Fuzzy Logic не поступається якості ПІД-регуляторів. А швидкість відпрацювання робочого органу та підтримка заданої температури більш стабільна, за рахунок значного зменшення динамічної помилки.

Данні, зображені на графіках (рис. 3, 4), дозволяють вирахувати кількість вмикань робочого органу та сумарний час його переміщення з одного положення в інше при ПІД-регулюванні та регулюванні, основаному на Fuzzy Logic.

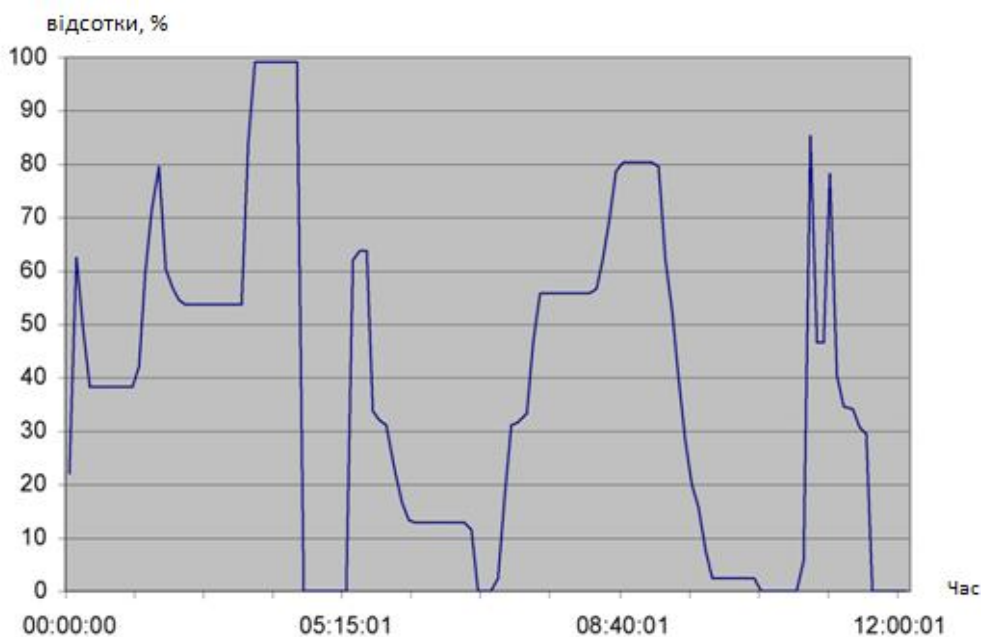


Рисунок 3 – Позиціонування робочого органу терморегулюючої системи при ПІД-регулюванні

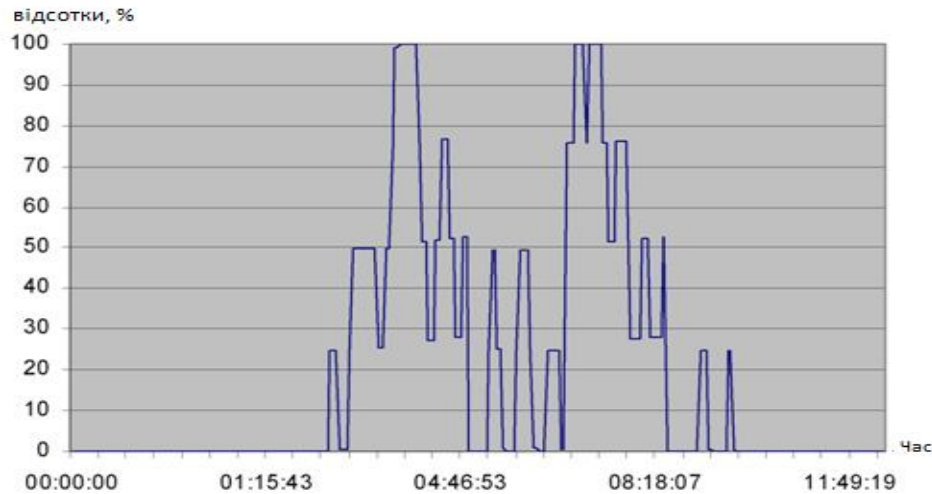


Рисунок 4 – Позиціонування робочого органу терморегулюючої системи при використанні правил нечіткої логіки

Таблиця 1 – Кількість вмикань робочих органів терморегулюючих систем та їх сумарний час переміщення.

<i>Тип регулювання</i>	<i>Кількість вмикань робочого органу</i>	<i>Сумарний час переміщення робочого органу, с</i>
ПІД-регулювання	61	2413
Fuzzy Logic	49	3553

Висновки. Стаття направлена до розробників систем автоматизації та є закликом до більш широкого застосування нечітких регуляторів у АСУ, авторами розроблений потенційний підхід до методики вибору мікроконтролерів, що має за мету спростити технічне навантаження на команди проєктантів суднобудівної галузі.

На основі описаного дослідження робиться акцент на виділення більшій увазі зручності експлуатації нечітких мікроконтролерів при розробці проєктів АСУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ротач В. Я. Автоматизация настройки систем управления / В. Я. Ротач, А. С. Ключев. – М. : Энерго-издат, 1984. – 272 с.
2. Усков А. А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой / А. А. Усков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 6. – С. 7-13.
3. Харченко Р. Ю. Сравнительный анализ методов активной адаптации ПИ-регуляторов и нечетких регуляторов для систем кондиционирования и вентиляции (СКВ) морских судов / Р. Ю. Харченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 276-286.
4. Щокін В. П. Інтелектуальна система управління з нечітким адаптивним регулятором / В. П. Щокін, О. О. Сушенцев, Г. В. Коломіц // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи : Науковий журнал. – Херсон : Херсонський національний технічний університет, 2009. – № 1. – С. 177-181.
5. Башвеев Ю. А. Математическая модель выбора микроконтроллера / Ю. А. Башвеев, О. С. Литвинская // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 82-83.
6. Михайленко В. С. Методи побудови адаптивних систем управління / В. С. Михайленко, В. Ф. Ложечников // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні



комплекси та системи : Науковий журнал. – Херсон : Херсонський національний технічний університет, 2009. – № 2. – С. 174-179.

7. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1985. – Vol. 15. – No. 116. – P. 116-132.

Исаев Е.А., Симаненков А.Л. СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОПЛИВО-ОБРАБАТЫВАЮЩИМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

В данной статье рассмотрена проблематика методов настройки ПИ-, ПИД-регуляторов на основании практического опыта эксплуатации судовых автоматизированных установок. Рассмотрена проблема простоты эксплуатации и перенастройки судовых автоматизированных регуляторов температуры. Авторами представлена обобщенная модель подхода к выбору микроконтроллера при проектировании судов, которая ставит перед собой цель расширить границы использования разнообразных типов микроконтроллеров. Такой взгляд будет интересен специалистам судостроительной отрасли. Проведены исследования по сравнению характеристик работы систем автоматизированного управления судовыми техническими средствами, основанных на правилах нечеткой логики и классических правил ПИД-регулирования. Приведенные данные получены экспериментальным путем на примере судовых автоматизированных регуляторов температуры. Особое внимание уделяется описанию преимуществ настройки и эксплуатации микроконтроллеров, которые имеют программное обеспечение основанное на правилах нечеткой логики.

Ключевые слова: регуляторы температуры, нечеткая логика, ПИД-регулирование.

Isaev J.A., Simanenkov A.L. FUEL SYSTEM FUZZY CONTROL-PROCESSING COMPLEX AT CASE AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROLLER

This article describes methods of adjustment problems PI, PID controllers based on the practical experience of the operation of ship automation systems. The problem of readjustment and ease of use of marine automated temperature controls. The authors presented a generalized model approach to the choice of the microcontroller in the design of ships, which aims to extend the boundaries of the use of various types of microcontrollers. Such a view would be interest to specialists of the shipbuilding industry. Some researchers were made in comparing of ships automatic regulating systems, working characteristics found on fuzzy logic rules and classic PID control laws. Adduced facts are taken by experimental way from ships automatic temperature regulators. Particular attention is paid to the description of advantages in setup and operation of microcontrollers that include software based on fuzzy logic rules.

Keywords: temperature regulators, fuzzy logic, PID control.

Статтю прийнято
до редакції 9.10.2013



ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЛАВСРЕДСТВ

Свешников В.В.

Академия военно-морских сил имени П.С. Нахимова, г. Севастополь

В статье излагаются общие сведения об эффективности функционирования (с точки зрения экономичности, надёжности, живучести, безопасности и экологичности) общекорабельных, энергетических и специальных систем корабля и судна в повседневных, аварийных и боевых условиях их эксплуатации.

Ключевые слова: плавсредства, механические системы, эффективность функционирования, экономичность, надёжность, живучесть, безопасность, экологичность, боевые, аварийные и повседневные условия эксплуатации, основные положения, факторы.

Введение. Механические корабельные и судовые системы (КСС) создаются для удовлетворения определённых потребностей кораблей и судов (КиС), их оборудования, экипажа и пассажиров. Они служат активным средством (АС) в целенаправленной деятельности по обеспечению целей и задач, поставленных перед КиС в целом и перед определённым оборудованием в частности.

В процессе создания и эксплуатации КиС постоянно возникают проблемы функционирования различной сложности, выражающиеся в несовершенности конструктивных схем и невозможности выполнения ими задач при эксплуатации в некоторых условиях эксплуатации, например [1-3]. Причиной возникновения проблем является расхождение между желаемым и действительным результатом функционирования КСС (ФС) при неизвестных путях преодоления этого расхождения (несоответствия) в условиях бурно развивающейся и совершенствующейся техники [4, 5].

Для решения проблем необходимо выделить и достаточно чётко сформулировать все определённые и неопределённые факторы, влияющие на функционирование каждой конкретной КСС, которые существенно снижают или устраняют различие между желаемым и действительным результатом, т.е. решает проблему.

Оценка эффективности КСС (ЭС) невозможна без использования определённых технических показателей (ТП). Из множества имеемых показателей необходимо выявить существенные, которые оказывают влияние на функционирование КиС и их КСС в различных режимах использования и условиях эксплуатации.

Актуальность исследований. Впервые сделана попытка разработать общий подход к эффективности общекорабельных (общесудовых), энергетических и специальных КСС функционирующих в боевых (экстремальных) (БУЭ), аварийных (АУЭ) и повседневных (ПУЭ) условиях эксплуатации, при выполнении поставленных перед КиС задач, составными частями которой являются экономичность, надёжность, живучесть, безопасность и экологичность КСС.

Цель и задачи исследования. Цель – определение облика и стратегии использования различных КСС, позволяющие создавать и эффективно выполнять поставленные перед КСС задачи в различных условиях эксплуатации при нахождении КиС как правило в море.

Задачи: определение основных положений и параметров, влияющих на ЭС; определение основных факторов, влияющих на эффективное ФС.

Основные положения ЭС. Под ЭС понимаем степень различия между реальным Y и желаемым $Y_{тр}$ результатами ФС.

К АС КСС относятся технические средства (трубопроводы, машины, аппараты, ёмкости, арматура, аппаратура контроля и управления), а также ресурсы (вещественные, энергетические и временные). Технические средства входят в состав КСС в качестве её подсистем (агрегатов) или элементов. Эти подсистемы, как правило, управляемы.



Система управління КСС (групи КСС) может содержать несколько распорядительных центров с органами управления автоматизированной системы управления энергетической установкой (постов управления) и имеет иерархическую структуру. В состав распорядительных центров включаются люди (операторы), принимающие решения и реализующие на основе этих решений управляющие воздействия на объекты управления (КиС и его оборудование, КСС и их элементы).

Таким образом, формируя КСС для достижения определённой цели, в её состав включают всё то, что непосредственно влияет на ход и исход операции (выполняемого режима функционирования) КСС, т.е. на достижение желаемого результата. В качестве АС в состав КСС входят элементы, находящиеся в непосредственном взаимодействии между собой и внешней средой. Управлять этими КСС могут распорядители (операторы системы), среди которых выделяют основного распорядителя – лицо принимающее решение (ЛПР), т.е. оператора в центральном посту управления или на главном командном посту (его функции могут выполнять автоматические или автоматизированные системы управления). Успешность ФС (её эффективность) рассматривается только с позиции ЛПР (к ЛПР относятся также исследователи, занимающиеся созданием и модернизацией КСС). Цель, стоящая перед ЛПР, является целью ФС.

Процесс ФС, описывается набором определённых параметров. Совокупность конкретных значений этих параметров в фиксированный момент времени называется состоянием КСС. ФС есть процесс смены состояний. В каждый момент времени КСС может находиться только в одном состоянии. Состояние КСС и внешней среды в определённый момент времени называется ситуацией или обстановкой функционирования. Оценка обстановки перед началом операции КСС и в процессе её проведения, прогноз в изменениях обстановки являются важными этапами принятия решений. Ситуация (обстановка), сложившаяся к исходу операции КСС, обычно определяет фактический (реальный) результат ФС. Совокупность факторов, существенно влияющих на изменение обстановки (обуславливающих её), называется условиями обстановки.

Наряду с качеством АС и способами их использования в КСС условия обстановки функционирования являются основными составляющими (слагаемыми) её эффективности. Высокая ЭС обусловлена рациональным способом использования высококачественных АС в благоприятно (ПУЭ) или не благоприятно (АЭУ и БУЭ) сложившихся условиях обстановки.

ФС представляет собой обмен, в результате которого КСС за приобретённую для себя пользу (полезный или целевой эффект) расплачивается некоторым количеством ресурсов C , т.е. терпит определённые издержки, выражаемые, например, стоимостью и количеством этих ресурсов или затраченным временем T на проведение ФС. Применительно к этому эффективность функционирования характеризуется выгодностью для КСС такого обмена. Результат ФС, таким образом, характеризуется не только полезным эффектом q (получением некоторой экономии, достижением или сохранением желаемого состояния и т.д.), но и связанными с этим действием затратами ресурсов, времени и другими потерями, понесёнными при ФС. Очевидно, чем ближе результат обмена к предельно выгодному, тем эффективнее КСС. Предельно выгодный обмен характеризует потенциальную ЭС.

Результат Y ФС ставят в зависимость от основных результирующих факторов – полезного эффекта q (высокого КПД АС и КСС в целом, надёжности и живучести АС, безопасности АС и экипажа и пассажиров, отсутствие загрязнения окружающей среды), затраченных ресурсов C (энергии, рабочих тел и веществ, операторов) и времени T (обеспечение необходимой манёвренности и скорости). В свою, очередь, результирующие факторы зависят от выбранной стратегии (режима использования КСС). Следовательно, результат ФС также будет зависеть от стратегии u :



$$Y(u) = Y(q(u), C(u), T(u)) \quad (1)$$

В общем случае функция $Y(u)$ является вектором, компоненты которого характеризуют результаты частных параметров, направленных на достижение частных целей, на которые расчленяется общая цель ФС (экономичность, надёжность, живучесть, безопасность и экологичность).

ЭС есть обобщённое определяющее функциональное свойство КСС, раскрывающееся через категорию цели (желаемый результат) и объективно выражается степенью достижения цели с учётом затрат ресурсов и времени на реализацию ФС. Любую КСС рассматривают как составную часть более широкого функционирования, проводимой надсистемой (КиС и его составными частями), в которую входит КСС. Надсистема достигает определённую глобальную цель, организуя свою деятельность в соответствии с некоторой политикой (задачей), выбранной из множества допустимых возможностей (альтернатив, вариантов действий надсистемы). Эффективность исследуемой КСС предопределяется её полезностью в проводимой надсистемой политике, направленной на достижение глобальной цели. ЭС не выводится полностью из своих свойств, т.к. необходимо учитывать и свойства надсистемы [6].

Потенциальная ЭС, характеризующая предельно выгодным обменом [7], определяется как эффективность её функционирования при идеальном способе использования АС, т.е. выборе лучшей стратегии. Следовательно, потенциальная ЭС зависит лишь от качества её АС (элементов). Поэтому, когда говорят об эффективности элемента, который используется как АС в некоторой КСС, то имеют в виду потенциальную эффективность функционирования этого элемента.

В прикладных исследованиях эффективности элементов КСС (ЭЛС) обычно приходится решать проблемы: оценки ЭС с использованием её элемента (проблема оценки); выбора рационального способа (стратегии) использования элементов в КСС (проблема выбора).

Оценка ЭС заключается в выработке оценочного суждения относительно пригодности заданного способа действий или приспособленности ЭЛС к решению определённых задач на основе измерения (оценивания) уровня эффективности ФС, например [2, 3].

ЭС оценивается с целью решения следующих задач: принятия решения относительно допустимости практического использования оцениваемого способа действий в той или иной ситуации; выявления вкладов (эффектов) различных факторов в общую эффективность ФС, влияния взаимодействий факторов на эффективность; установления путей повышения эффективности функционирования (выявления резервов эффективности); выявления функциональных возможностей элементов, используемых в КСС; сопоставления (сравнения) нескольких альтернативных вариантов действий или ЭЛС, их ранжирование по уровням эффективности (установление отношения предпочтения на множестве возможных вариантов). Последняя задача часто выступает как подпроблема оценки эффективности (задача сравнительной оценки вариантов (способов действий и КСС)).

При выборе рационального способа использования АС в КСС или путей развития ЭЛС выделены задачи: выбора целесообразного способа управления ЭЛС с заданными функциональными характеристиками; определения рационального режима эксплуатации ЭЛС; выработки оптимального плана ФС; оптимального распределения ресурсов между подсистемами или элементами в КСС; выбора рационального варианта проектируемого ЭЛС; формирования программы развития больших ЭЛС; выработки технико-экономических требований к создаваемым ЭЛС; выдвижения гипотез рационального поведения подсистем, находящихся во взаимодействии с данной КСС.

Практическая направленность исследований ЭС заключается в выработке решений на создание наилучшей структуры и рациональное использование ЭЛС при достижении



цели в разных условиях обстановки (эксплуатации) или на целесообразный вариант проектируемого ЭЛС (создание).

В КСС проблема эффективности тесно связана с проблемами таких общих ТП, как экономичность, надёжность и живучесть, безопасность и экологичность ЭЛС. Возрастание сложности ЭЛС приводит к снижению их ТП, а, следовательно, к уменьшению их эффективности. ЭЛС не соответствующий перечисленным выше ТП не может быть эффективным средством достижения поставленной цели. Анализ ЭС позволяет определить требования к параметрам ТП ЭЛС, используемых в качестве АС.

Недостаточный уровень ТП проектируемой или существующей КСС может явиться проблемой, для решения которой выдвигаются альтернативные действия, например, отказ от создания КСС или замена её новой, усовершенствованной; повышение ТП существующей КСС до требуемого уровня; повышение устойчивости к БУЭ и АУЭ существующей КСС и т.д. для достижения выбранной цели. ЭС оценивается вероятностью безотказной работы её в течение заданного времени (автономности в ПУЭ или выполнения определённой задачи КиС в АУЭ или БУЭ). В ПУЭ интегральный показатель, состоящий из показателей экономичности, надёжности, безопасности и экологичности выступает в качестве показателя ЭС по повышению эффективности существующей или проектируемой КСС или её элемента. В АУЭ и БУЭ интегральный показатель, состоящий из показателей экономичности, надёжности, живучести и безопасности (в некоторых случаях в АУЭ – и экологичности) также выступает в качестве показателя ЭС по повышению эффективности существующей или проектируемой КСС или её элемента (БУЭ для многих судов исключены).

Факторы, определяющие ЭС. ЭС и их элементов определяется множеством различных по своей природе факторов. Под фактором понимают движущую силу какого-либо процесса (явления) или условие, которое влияет на тот или иной процесс (явление).

При исследовании ЭС выделено три группы факторов: качество КСС, условия ФС, способы использования (применения) КСС.

Для достижения определённой единственной цели создают КСС. Рассматривают функционирование КиС или его отдельной части, в котором анализируемая КСС является АС достижения поставленной цели. Определяют потенциальную эффективность ФС при идеальном способе использования КСС. Эту потенциальную эффективность и принимают за характеристику качества КСС. Очевидно, показатель ЭС является показателем её качества. Таким образом, положительными (полезными) свойствами КСС являются свойства, способствующие достижению заданной цели.

Каждой КСС присущи свои специфические способы применения, которые характеризуются совокупностью соответствующих факторов. К ним относятся: распределение частных задач и выделенных ресурсов между ЭЛС, видов работ (действий), способы управления, способы связи и взаимодействия между ЭЛС, режимы и регулярность использования и т.д.

К факторам, формирующим условия ФС, относятся: природные факторы (природно-климатические условия, географическое местоположение, обитаемость, поражающие факторы аварий, применения оружия и т.д.), факторы, являющиеся следствием активных действий конкурентов (противников) или партнёров (возможность, характер, способы целенаправленного противодействия или содействия), а также факторы, характеризующие наличие и виды различного рода ограничений (структурных, экономических, технических, экологических и др.).

Среди факторов, которые учитываются при исследовании эффективности, большая доля факторов не контролируется ЛПР, например, объективные законы природы (физические, химические и др.), которые необходимо учитывать в любом случае, а при их познании – использовать для достижения поставленных целей и учитывать их возможное негативное влияние. Неконтролируемыми являются и др. факторы: например, погодные условия, возникновение аварийных ситуаций, действия конкурентов (противников),



катаклизмы, аварийные происшествия и последствия применения оружия, которые относят к условиям ФС (использования). Все эти факторы являются неуправляемыми.

К управляемым факторам относят такие, на которые ЛПР может влиять по своему усмотрению, т.е. которыми он может оперировать в процессе ФС. К ним относят, например, факторы, характеризующие способы применения и направление использования КСС и их элементов.

По отношению к КСС факторы бывают внешними и внутренними. Внешние факторы отражают влияние внешней среды (окружающая КСС в отсеках, противопожарных зонах или забортном пространстве, расположение распорядительных центров и др.), способствуя успешному ФС (полезные факторы), или противодействуя успеху ФС (эксплуатационное, аварийное или боевое повреждение, ошибочные действия оператора и др.) (вредные факторы). Внутренние факторы отражают взаимовлияние движущих сил внутри КСС на ход и исход её функционирования (изменение структуры и ТП КСС, характеристик АС и др.).

Факторы бывают в виде переменных (числовых и нечисловых). С точки зрения информированности ЛПР об этих переменных факторы делятся на определённые Λ_F и неопределённые Λ_Ω . К определённым относятся переменные, значения которых известны ЛПР с требуемой точностью. Это различного рода заданные и контролируемые параметры (давление, расход, температура, уровень и др.), известные (регулярные) функции определённых аргументов (производительность, мощность, КПД и др.) и т.п. К определённым факторам также относятся контролируемые входные воздействия (изменение климатических условий, микроклимата, параметров окружающей среды и др.), в том числе и управляемые переменные (задание, поддержание и изменение режимов функционирования КСС).

К неопределённым относятся переменные, о значениях которых в реальном процессе ЛПР осведомлён не полностью. Природа неопределённости этих переменных (факторов) различна. Неопределённые переменные делятся на две группы: случайные переменные Λ_F и неопределённые переменные нестохастической природы Λ_J .

Неопределённые факторы нестохастической природы Λ_J условно разделяются на две группы: с известными функциями принадлежности (диапазонами изменения переменных), с неизвестными функциями принадлежности. Наибольшей степенью неопределённости обладают факторы с неизвестными функциями принадлежности. Обычно к ним применяют процедуру экспертного оценивания диапазонов изменений их значений.

Неопределённость нестохастического характера возникает обычно в силу следующих обстоятельств: наличия целенаправленного противодействия со стороны конкурирующей (соперничающей) системы (использование оборудования КиС для выполнения своих специфических задач, действия операторов постов управления), способы действий которой неизвестны ЛПР – поведенческая неопределённость Λ_J^B ; недостаточной изученности некоторых явлений, сопровождающих процесс ФС (воздействие поражающих факторов оружия, вредных веществ, качки, ухудшение условий обитаемости и др.) – природная неопределённость Λ_J^N ; нечёткого представления цели ФС (ошибочные или халатные действия оператора или лица его замещающего), приводящего к неоднозначной трактовке соответствия реального результата ФС желаемому – целевая неопределённость Λ_J^A .

Оценка ЭС с учётом неопределённых факторов нестохастической природы весьма сложна. Но использование теории нечётких множеств, теории игр и теории решений позволяет найти некоторые пути решения задач ЭС при наличии существенной неопределённости нестохастического характера.

В отдельную группу (по степени общности) выделяют результирующие факторы, т.е. факторы, непосредственно формирующие результат ФС. К результирующим факторам



относятся полезный эффект q , достигнутый в процессе ФС, затраченные ресурсы C и сроки T проведения конкретного процесса использования КСС. Результат ФС представляется в виде вектора, компонентами которого являются результирующие факторы, т.е.

$$Y = \|q, C, T\|, \quad (2)$$

или описывают функцией от результирующих факторов. Достаточно общим, например, является представление результата ФС в виде степенной функции от результирующих факторов:

$$Y = \alpha_0 \cdot q^{\alpha_1} \cdot C^{\alpha_2} \cdot T^{\alpha_3}, \quad (3)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – параметры функции результата.

При этом результат будет нулевым, если хотя бы один из результирующих факторов положить равным нулю. Для описания результата в практике часто используют различные частные случаи приведённой функции. Так, если положить $\alpha_0 = \alpha_1 = 1$ и $\alpha_2 = \alpha_3 = 1$, то $y = q$. Если $\alpha_0 = \alpha_2 = 1$ и $\alpha_1 = \alpha_3 = 0$, то $y = C$. При $\alpha_0 = \alpha_3 = 1$ и $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ $y = T$. В этих частных случаях результат ФС описывается лишь результирующим фактором (при этом на остальные результирующие факторы накладывают обычно ограничения в виде неравенств).

Если положить $\alpha_0 = \alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = -1$, $\alpha_3 = 0$, то $y = q/C$. Это выражение иногда используют при анализе систем по методу «эффект – стоимость».

Выводы. Исследование ЭС различных КиС необходимо для создания и модернизации КСС, позволяющие им выполнять различные задачи по выполнению целей, поставленные перед КиС и их отдельного оборудования. Это также позволит грамотно использовать общекорабельные (общесудовые), энергетические и специальные КСС в различных ПУЭ, АУЭ и БУЭ.

Огромное разнообразие факторов, влияющих на ЭС, составляет порой очень трудную задачу исследования КСС, особенно в АУЭ и БУЭ. Для создания конкретных КСС необходимо создавать их наилучшие структуры с оптимальным составом АС и проводить соответствующие исследования необходимых режимов ФС, особенно при неопределённых факторах нестохастического характера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ работы различных схемных решений корабельных систем в различных режимах функционирования. О классификации судовых систем : отчёт о НИР (заключ.) / НЦ ВМС при СВМИ. ; рук. и исполн. Свешников В. В. – Севастополь, 1998. – 104 с.
2. Свешников В. В. Оценка эффективности и условной стоимости простых линейных механических корабельных и судовых систем / В. В. Свешников // Зб. наук. праць АВМС ім. П. С. Нахімова. – Севастополь : ВМС ЗС України, 2013. – Вип. 1 (13). – С. 175-183.
3. Свешников В. В. Оценка эффективности основных функциональных групп механических корабельных и судовых систем / В. В. Свешников // Зб. наук. праць СВМІ ім. П. С. Нахімова. – Севастополь : ВМС ЗС України, 2009. – Вип. 1 (16). – С.112-121.
4. Надёжность и эффективность в технике : Справочник. В 10 т. / Ред. совет : В. С. Авдеевский (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1988. – (В пер.). Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – 328 с.
5. Методология теории эффективности общекорабельных систем и их математических моделей : отчёт о НИР (промежуточ.) / НЦ ВМС при СВМИ ; рук. и исполн. Свешников В. В. – Севастополь, 1996. – 99 с.



6. Дружинин В. В. Системотехника / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – М. : Радио и связь, 1985.
7. Флейшман Б. С. Основы системологии / Б. С. Флейшман. – М. : Радио и связь, 1982.

Свешніков В.В. ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПЛАВЗАСОБІВ

*У статті викладені загальні відомості про ефективність функціонування (з погляду економічності, надійності, живучості, безпеки і екологічності) та загальнокорабельних, енергетичних і спеціальних систем корабля і судна в повсякденних, аварійних та бойових умовах їх експлуатації.
Ключові слова: плавзасоби, механічні системи, ефективність функціонування, економічність, надійність, живучість, безпечність, екологічність, бойові, аварійні і повсякденні умови експлуатації, основні положення, фактори.*

Sveshnikov V.V. ABOUT THE EFFECTIVENESS OF THE FUNCTIONING OF MECHANICAL SYSTEMS BOATS

*The article contains General information about the effectiveness of the functioning (in terms of economic, reliability, survivability, safety and environmental protection) general ship, power and special systems of the ship and the ship in routine, emergency and martial conditions of their exploitation.
Keywords: craft, mechanical systems, the efficiency of the functioning of, efficiency, reliability, maintainability, safety, ecology, fighting, emergency and routine operating conditions, the main provisions, factors.*

Статтю прийнято
до редакції 28.10.2013



УДК 656.61052.001.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СУДОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ПУТИ СУДНА С УЧЕТОМ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ

Спешилов В.М., Степкова В.В.

Херсонская государственная морская академия

В статье изложены способы выполнения исполнительной навигационной прокладки пути судна с учетом ветра и морского течения на электронной карте при различных режимах работы судовой электронной картографической системы.

Ключевые слова: прямая и обратная задача по учету ветра и течения, аналитический учет ветра и течения, программное обеспечение решения задачи по учету ветра и течения.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами. Все системы управления подразделяются на 2 класса: детерминированные, работающие по жесткой программе, и недетерминированные системы, работа которых не обеспечена жесткой программой.

Использование автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) в судовождении нельзя однозначно отнести к какому-либо одному из вышеизложенных классов. Это обусловлено тем, что управление судном состоит из множества элементов явно детерминированных, когда можно абсолютно точно сказать о том, что надо действовать так, а не иначе. Однако в этом процессе присутствует значительная часть недетерминированных элементов повышенной логической сложности и даже элементов интуиции и предвидения. В этой связи решение задачи по учету ветра и течения с использованием АИУС является детерминированным действием, но только в том случае, если электронная картографическая система (ЭНК) работает в режиме автоматического позиционирования, поскольку в этом режиме электронная линия пути судна с учетом ветра и течения прокладывается на дисплее ЭНК автоматически. Если же ЭНК работает в режиме счисления, то в программном обеспечении ЭНК [1, 2, 3, 4] не предусмотрено аналитическое решение задачи по учету ветра и течения. Судоводители имеют навыки графического решения этой задачи на бумажной морской навигационной карте путем сложения векторов скорости судна и скорости течения [5, 6, 7, 8]. Графическое сложение векторов на дисплее ЭНК не предусмотрено.

Наиболее актуальным является решение задачи по учету ветра и течения, когда необходимо проложить на дисплее ЭНК заданную линию пути судна с учетом ветрового дрейфа и дрейфа судна на течении и вычислить значение гирокомпасного курса судна для задания его рулевому. Решение этой задачи не предусмотрено в программном обеспечении ЭНК и произвести графическое решение этой задачи на дисплее ЭНК не представляется возможным.

Если ЭНК работает в режиме автоматического позиционирования [5-8], то вахтенный офицер решает задачу по учету ветра и течения методом проб и ошибок – интуитивно ложится на гирокомпасный курс, который с определенной долей вероятности определяет заданную траекторию движения судна с учетом ветра и течения. Насколько точно вахтенный офицер угадал гирокомпасный курс судна выясняется через 1-2 минуты после окончания поворота судна. Если траектория движения судна на дисплее не совпадает с заданной, то с учетом приобретенного опыта вахтенный офицер ложится на новый гирокомпасный курс и так до тех пор, пока электронная линия пути судна не будет соответствовать заданному направлению. Подобная практика вызывает эмоциональную неуравновешенность вахтенного офицера особенно при плавании в районе интенсивного судоходства и в стесненных районах.



Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Решение задачи по учету течения в автоматическом режиме производится в счетно-решающем устройстве средства автоматической радиолокационной прокладки (САРП), если в этом типе САРП предусмотрен ручной ввод элементов течения. Однако решение задачи по учету течения счетно-решающим устройством средства автоматической радиолокационной прокладки не предусмотрено.

Если на авторулевом имеется система автоматического управления траекторией движения судна (САУТС), то задача по учету ветра и течения решается путем автоматического удержания судна на заданной траектории. Однако авторулевые с САУТС установлены не на всех судах. Кроме того, САУТС функционирует только в зоне действия систем GPS или ГЛОНАСС и может выйти из строя из-за какой-либо неисправности. В районе интенсивного судоходства и в стесненных районах плавания использование САУТС не всегда представляется возможным.

Формулировка целей статьи. Целью статьи является определение способов решения задачи по учету ветра и течения при выполнении исполнительной навигационной прокладки пути судна на электронной карте, если на авторулевом не установлена или неисправна система автоматического управления траекторией движения судна.

Изложение основного материала. При невозможности использования системы автоматического управления траекторией движения судна возникает необходимость аналитического решения задачи по учету ветра и течения с составлением программы вычисления гирокомпасного курса судна с помощью научного калькулятора.

Аналитическое решение задачи по учету ветра основано на формуле Н.Н. Матусевича по вычислению угла ветрового дрейфа судна:

$$\text{ГКК} = \text{ПУ}_\alpha - (\pm\alpha) - (\pm\Delta\text{ГК}) = \text{ПУ}_\alpha - \text{К} \left(\frac{W}{V_{\text{Л}} K_{\text{Л}}} \right)^2 \sin[\text{ПУ}_\alpha - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК})] - (\pm\Delta\text{ГК}), \quad (1)$$

где ГКК – гирокомпасный курс судна, который необходимо задать рулевому или выставить на авторулевом, чтобы судно шло по заданной линии путевого угла с учетом ветра в районе плавания (по заданной линии ПУ_α); ПУ_α – заданный путевой угол судна с учетом ветра в районе плавания; W – скорость кажущегося ветра, измеренная с помощью анемометра, уз; $V_{\text{Л}}$ – скорость судна, измеренная с помощью относительного лага, уз; $K_{\text{Л}}$ – коэффициент лага для действующего скоростного режима судна; ГКВ – гирокомпасное направление кажущегося ветра, измеренное с помощью флюгера; К – коэффициент, равный произведению радиана на коэффициент ветрового дрейфа судна, который вычисляется заранее для нескольких типовых вариантов загрузки судна:

$$\text{К} = 57.03 \cdot \text{К}_\alpha = 57.3 \left(0.1\delta - \frac{0.5d}{L} \right) \sqrt{\frac{Q_y}{Ld}},$$

где К_α – коэффициент ветрового дрейфа судна; δ – коэффициент общей полноты водоизмещения судна; L – длина корпуса судна по действующую ватерлинию, м; Q_y – площадь парусности судна для данной осадки, м^2 ; d – осадка судна, м.

Вычисление значения гирокомпасного курса судна согласно формуле (1) можно производить с помощью программы MS Excel. На рис. 1 отображен пример выполнения данной задачи в MS Excel.

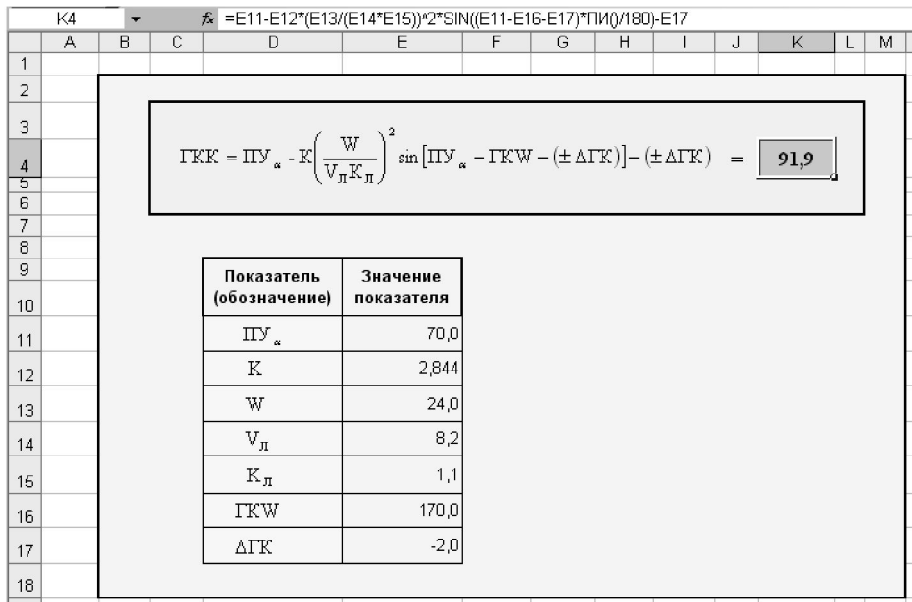


Рисунок 1 – Пример расчета ГКК согласно формуле (1)

Для дальнейших расчетов в MS Excel используются показатели, отображенные на рис. 2.



Рисунок 2 – Таблица для ввода исходных данных в MS Excel

Вывод формулы для решения задачи по учету течения производится с помощью скоростного треугольника (рисунок 3), построение которого основано на том, что вектор скорости судна относительно воды $\vec{V}_{ОВ}$, который определяет истинный курс судна с учетом течения, получают путем вычитания вектора скорости течения \vec{V}_T из вектора путевой скорости судна с учетом течения \vec{V}_β :

$$\vec{V}_{ОВ} = \vec{V}_\beta - \vec{V}_T.$$

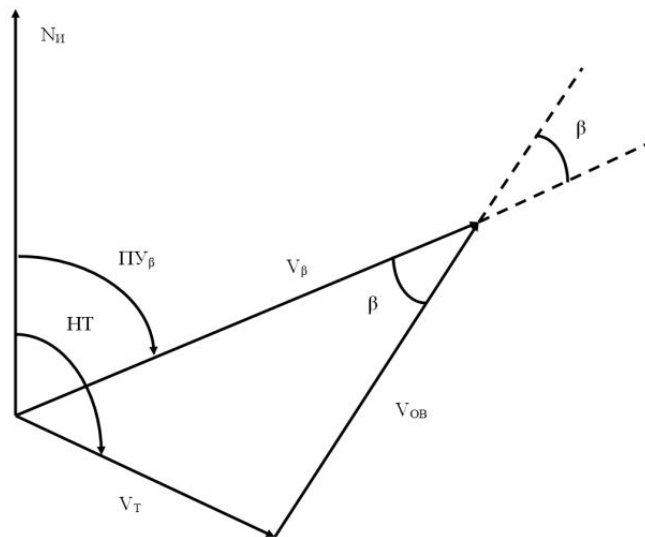


Рисунок 3 – Скоростной треугольник для решения задачи по учету течения

Согласно теореме синусов для косоугольного треугольника:

$$\frac{V_T}{\sin\beta} = \frac{V_{OB}}{\sin(HT-ПУ_{\beta})} \rightarrow \sin\beta = \frac{V_T \sin(HT-ПУ_{\beta})}{V_{OB}}, \quad (2)$$

где V_T – скорость течения, уз; V_{OB} – скорость судна относительно воды, которая равна произведению скорости судна, измеренной с помощью относительного лага V_L , на коэффициент лага K_L для действующего скоростного режима судна: $V_{OB} = V_L K_L$; β – угол дрейфа судна на течения; HT – направление течения относительно истинного меридиана; $ПУ_{\beta}$ – заданный путевой угол судна с учетом течения.

С учетом формулы (2) – гирокомпасный курс судна, который необходимо задать рулевому или выставить на авторулевом, чтобы судно шло по заданной линии $ПУ_{\beta}$, вычисляют по формуле:

$$\text{ГКК} = ПУ_{\beta} - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(HT - ПУ_{\beta}) - (\pm \Delta \text{ГК}). \quad (3)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства средства автоматической радиолокационной прокладки САРП, то формула (3) приобретает следующий вид:

$$\text{ГКК} = ПУ_{\beta} - \arcsin \frac{V_{TL}}{V_L} \sin[\text{ГКТ} + (\pm \Delta \text{ГК}) - ПУ_{\beta}] - (\pm \Delta \text{ГК}), \quad (4)$$

где ГКТ – направление течения относительно гирокомпасного меридиана, вычисленное счетно-решающим устройством САРП; V_{TL} – скорость течения, вычисленная счетно-решающим устройством САРП по данным скорости судна, измеренной с помощью лага.

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (3) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

$$=E18\text{-ГРАДУСЫ}(ASIN(E19/(E14*E15)))*SIN((E20-E18)*ПИ()/180)-E17.$$

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (4) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

$$=E18\text{-ГРАДУСЫ}(ASIN(E21/E14))*SIN((E22+E17-E18)*ПИ()/180)-E17.$$



При совместном учете ветра и течения – гирокомпасный курс судна вычисляют по формуле:

$$\begin{aligned} \text{ГКК} &= \text{ПУ}_c - (\pm\beta) - (\pm\alpha) - (\pm\Delta\text{ГК}) = \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(\text{НТ} - \text{ПУ}_c) - \\ &- K \left(\frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \sin \left[\text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_T}{V_L K_L} \sin(\text{НТ} - \text{ПУ}_c) - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК}) \right] - (\pm\Delta\text{ГК}). \end{aligned} \quad (5)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства САРП, то формула (5) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{ГКК} &= \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \sin [\text{ГКТ} + (\pm\Delta\text{ГК}) - \text{ПУ}_c] - K \left(\frac{W}{V_L K_L} \right)^2 \times \\ &\times \sin \left\{ \text{ПУ}_c - \arcsin \frac{V_{ТЛ}}{V_L} \sin [\text{ГКТ} + (\pm\Delta\text{ГК}) - \text{ПУ}_c] - \text{ГКВ} - (\pm\Delta\text{ГК}) \right\} - (\pm\Delta\text{ГК}). \end{aligned} \quad (6)$$

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (5) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

```
=E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E19/(E14*E15)))*SIN((E20-E23)*ПИ()/180)-
E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E19/(E14*E15)))
*SIN((E20-E23)*ПИ()/180)-E16-E17)*ПИ()/180)-E17
```

Вычисление значения гирокомпасного курса согласно формуле (6) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

```
=E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E21/E14))*SIN((E22+E17-E23)*ПИ()/180)-
E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E23-ГРАДУСЫ(ASIN(E21/E14))
*SIN((E22+E17-E23)*ПИ()/180)-E16-E17)*ПИ()/180)-E17
```

Если судовая электронная картографическая система работает в режиме счисления пути судна, то для выполнения исполнительной навигационной прокладки пути судна с учетом течения необходимо знать скорость судна относительно морского дна (абсолютную скорость), которую можно измерить с помощью абсолютного лага. Если абсолютного лага на судне нет или он работает в режиме измерения скорости судна относительно воды, то абсолютную скорость судна необходимо вычислять по формуле, которую выводят с помощью скоростного треугольника на рисунке 4.

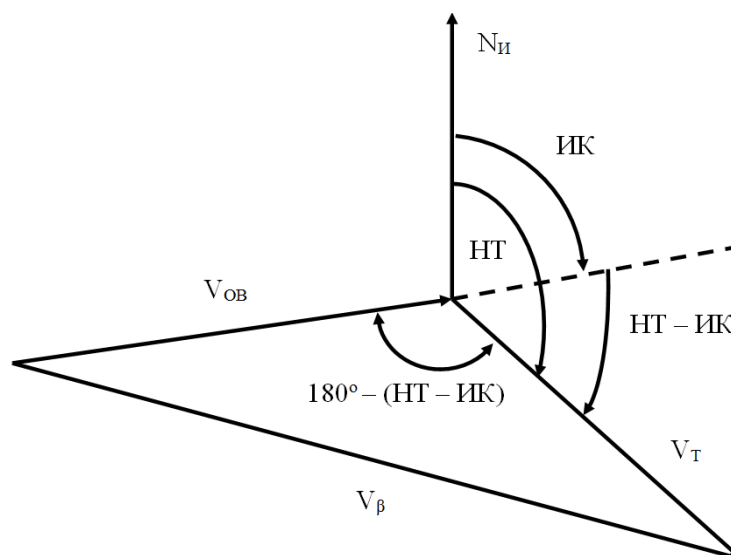


Рисунок 4 – Скоростной треугольник для вычисления абсолютной скорости судна



Согласно теореме косинусов для косоугольного треугольника:

$$V_{\beta}^2 = V_{OB}^2 + V_T^2 - 2V_{OB}V_T \cos[180^{\circ} - (\text{HT} - \text{ИК})] = V_{OB}^2 + V_T^2 + 2V_{OB}V_T \cos(\text{HT} - \text{ИК}). \quad (7)$$

Если все члены формулы (7) умножить и разделить на V_{OB}^2 и затем V_{OB}^2 вывести за скобки, то уравнение (7) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta}^2 = V_{OB}^2 \left[\left(\frac{V_T}{V_{OB}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{OB}} \cos(\text{HT} - \text{ИК}) \right] \rightarrow V_{\beta} = V_{OB} \sqrt{\left(\frac{V_T}{V_{OB}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{OB}} \cos(\text{HT} - \text{ИК})}. \quad (8)$$

С учетом того, что $V_{OB} = V_{Л}K_{Л}$ и $\text{ИК} = \text{ГКК} + (\pm\Delta\text{ГК})$, формула (8) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta} = V_{Л}K_{Л} \sqrt{\left(\frac{V_T}{V_{Л}K_{Л}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{Л}K_{Л}} \cos[\text{HT} - \text{ГКК} - (\pm\Delta\text{ГК})]}. \quad (9)$$

Если элементы течения вычислены с помощью счетно-решающего устройства САРП, то формула (9) приобретает следующий вид:

$$V_{\beta} = V_{Л}K_{Л} \sqrt{\left(\frac{V_{ТЛ}}{V_{Л}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_{ТЛ}}{V_{Л}} \cos(\text{ГКТ} - \text{ГКК})}. \quad (10)$$

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (9) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14*E15*КОРЕНЬ((E19/(E14*E15))^2+1+2*E19/(E14*E15)*COS((E20-E24-E17)*ПИ()/180))

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (10) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14*E15*КОРЕНЬ((E21/E14)^2+1+2*E21/E14*COS((E22-E24)*ПИ()/180))

При совместном учете ветра и течения угол между векторами \bar{V}_{OB} и \bar{V}_T равен $180 - (\text{HT} - \text{ПУ}_{\alpha})$. С учетом того, что $\text{ПУ}_{\alpha} = \text{ГКК} + (\pm\Delta\text{ГК}) + (\pm\alpha)$ – формулы (9) и (10) приобретают следующий вид:

$$V_{\beta} = V_{Л}K_{Л} \sqrt{\left(\frac{V_T}{V_{Л}K_{Л}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_T}{V_{Л}K_{Л}} \cos \left[\text{HT} - \text{ГКК} - (\pm\Delta\text{ГК}) - K \left(\frac{W}{V_{Л}K_{Л}} \right)^2 \sin(\text{ГКК} - \text{ГКВ}) \right]}; \quad (11)$$

$$V_{\beta} = V_{Л}K_{Л} \sqrt{\left(\frac{V_{ТЛ}}{V_{Л}} \right)^2 + 1 + \frac{2V_{ТЛ}}{V_{Л}} \cos \left[\text{ГКТ} - \text{ГКК} - K \left(\frac{W}{V_{Л}K_{Л}} \right)^2 \sin(\text{ГКК} - \text{ГКВ}) \right]}. \quad (12)$$

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (11) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14*E15*КОРЕНЬ((E19/(E14*E15))^2+1+2*E19/(E14*E15)*COS((E20-E24-E17-E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E24-E16)*ПИ()/180))*ПИ()/180))

Вычисление значения абсолютной скорости судна согласно формуле (12) в MS Excel будут выглядеть следующим образом:

=E14*E15*КОРЕНЬ((E21/E14)^2+1+2*E21/E14*COS((E22-E24-E12*(E13/(E14*E15))^2*SIN((E24-E16)*ПИ()/180))*ПИ()/180))



Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Предложенный в статье порядок вычисления гирокомпасного курса судна и абсолютной скорости судна при выполнении исполнительской навигационной прокладки пути судна с учетом ветра и течения на электронной карте создает предпосылки к разработке программного обеспечения судовых электронных картографических систем по отображению на дисплее электронной карты заданной линии пути судна с учетом ветра и течения при любом режиме работы судовой автоматизированной информационно-управляющей системы.

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. Мореходные таблицы 2000 г. (МТ-2000). – М. : изд. ГНУиО МО РФ.
3. Лесков М.М. Навигация : учебник [для ВУЗов морского транспорта] / М. М. Лесков, Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк. – М. : Транспорт, 1986. – 360 с.
4. Ющенко А. П. Навигация : учебник для вузов / А. П. Ющенко, М. М. Лесков. – М. : Транспорт, 1965. – 411 с.
5. Гагарский Д. А. Электронные картографические системы в современном судождении : учеб.-метод. Пособие / Д. А. Гагарский. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2007. – 124 с.
6. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Фенікс, 2004. – 302 с.
7. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – Одесса : Латстар, 2002. – 310 с.
8. Вагущенко Л. Л. Судовые автоматизированные системы навигации / Л. Л. Вагущенко, А. М. Стафеев. – М. : Транспорт, 1989. – 157 с.

Спешилов В.М., Степкова В.В. ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ШЛЯХУ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ВІТРУ ТА ТЕЧІЇ

У статті викладені способи здійснення навігаційної прокладки шляху судна з урахуванням вітру та морської течії на електронній карті при різних режимах роботи судової електронної картографічної системи.

Ключові слова: задача з врахування вітру та течії, аналітичне врахування вітру і течії, програмне забезпечення вирішення задачі з врахування вітру та течії.

Speshylov V.M., Stepkova V.V. THE USAGE OF AUTOMATIC INFORMATION-CONTROLLING SHIP SYSTEMS FOR NAVIGATIONAL PLOTTING WITH WIND AND CURRENT DRIFTS CALCULATION.

In this article you can see the ways to make executive navigational plotting with calculating wind and current drifts on electronic charts by different operating regime of ship's electronic chart system.

Key words: task of wind and current drifts, analytic calculating of wind and current drifts, the software for task calculating of wind and current drifts.

Статтю прийнято
до редакції 17.10.2013



УДК 629.541.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МАСС ОДНОКОРПУСНЫХ БЫСТРОХОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ

Нгуен Гуй Хоанг

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Приводится определение нагрузки масс однокорпусных быстроходных пассажирских судов (ОБПС) на начальных стадиях проектирования и сравнение результатов теоретического расчета массы судна с данными существующих ОБПС.

Ключевые слова: нагрузки масс, однокорпусное быстроходное пассажирское судно, материал корпуса, район эксплуатации.

Постановка проблемы. Одной из наиболее важных задач проектирования судна является определение масс, входящих в его нагрузку. Наиболее полно и точно они определяются на стадии технического проекта, путем подсчета по схемам и другим проектным документам, описывающим комплекс конструкций, механизмов и устройств современного судна. Получение детальной достоверной информации обо всех составляющих водоизмещения на начальной стадии работы над проектом судостроители не представляют возможным из-за отсутствия необходимых данных. Определение нагрузки масс водоизмещающих судов не всегда приемлемо для расчета массы быстроходных пассажирских судов. Таким образом, определение нагрузки масс ОБПС с использованием приближенных способов, основанных на установлении зависимости нагрузки от размерений и коэффициента общей полноты судна является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. Определение нагрузки масс водоизмещающих судов отражены в работах [1, 2], а скоростных судов – в работе [3]. Однако определение нагрузки масс судна в большинстве этих работ выполнилось без учета различных используемых материалов корпуса и условий района эксплуатации. В данной статье представлено определение нагрузки масс ОБПС с учетом указанных факторов.

Цель статьи – определение нагрузки масс однокорпусных быстроходных пассажирских судов на начальных стадиях проектирования.

Изложение материала исследования и анализ полученных результатов. Известно, что нагрузка масс судна состоит из водоизмещения порожнем и дедвейта.

$$\Delta = P_{\text{пор}} + DW,$$

где Δ – полное водоизмещение судна, т; $P_{\text{пор}}$ – водоизмещение порожнем, т; DW – дедвейт, т.

На начальных стадиях проектирования расчет водоизмещения порожнем ОБПС осуществляется или постатейным перерасчетом составных нагрузки масс по близкому прототипу, или по приближенным зависимостям, полученным на основе обработки данных по нагрузке масс ОБПС.

Традиционное уравнение расчета $P_{\text{пор}}$ при использовании укрупненных статей нагрузки имеет вид:

$$P_{\text{пор}} = P_{\text{к}} + P_{\text{об}} + P_{\text{эу}} + P_{\text{зв}},$$

где $P_{\text{к}}$ – масса стали включающая массы фундаментов и подкреплений, т; $P_{\text{об}}$ – масса оборудования, включая дельные вещи, неметаллические части корпус, покрытия, окраску, зашивку помещений, изоляцию, оборудование помещений, судовые устройства, электроэнергетические системы и т.п., т; $P_{\text{эу}}$ – масса энергетической установки (двигатель и монтажное оборудование), т; $P_{\text{зв}}$ – запас водоизмещения, т.



Для расчета наиболее достоверной массы судна порожнем воспользуемся следующей схемой (рис. 1) [4].



Рисунок 1 – Составляющие нагрузки водоизмещения порожнем ОБПС

Согласно со схемой 1 водоизмещение порожнем судна $P_{пор}$ рассчитывается по выражению:

$$P_{пор} = P_{кор} + P_{эу} + P_{эл} + P_{эо} + P_{вс} + P_{сн} + P_{спц} + P_{зв},$$

где $P_{кор}$ – масса корпуса и надстройки, т; $P_{эу}$ – масса энергетической установки, т; $P_{эл}$ – масса электрической системы, т; $P_{эо}$ – масса электронного оборудования, т; $P_{вс}$ – масса вспомогательных систем, т; $P_{сн}$ – масса снабжения, т; $P_{спц}$ – масса специальных систем, т; $P_{зв}$ – запас водоизмещения, т.

Масса корпуса и надстройки судна $P_{кор}$ определяется следующим образом [4]:

$$P_{кор} = K_{суд} f_{рп} f_{суд} f_{матер} E_{суд}^{1,33},$$

где $K_{суд}$ – фактор, значение которого в общем случае может быть принято равным единице; $f_{рп}$ – коэффициент, учитывающий район плавания; $f_{суд}$ – коэффициент, учитывающий тип судна; $f_{суд} = 1,013$ для ОБПС; $f_{матер}$ – коэффициент, учитывающий материал корпуса; $E_{суд}$ – модуль вычисляется через площади днища, борта, палубы и переборок.

Коэффициент, учитывающий район плавания:

$$f_{рп} = 0,7202 + 0,0628N_{ЛР},$$

где $N_{ЛР}$ выбирается в соответствии с Правилами Регистра Ллойда для малых скоростных судов по табл. 1 [4].



Коефіцієнт, учитывающий материал корпуса $f_{\text{матер}}$ выбирается следующим образом: $f_{\text{матер}} = 17,28$ – для низкоуглеродистой стали; $f_{\text{матер}} = 11,03$ – для высокопрочной стали; $f_{\text{матер}} = 7,86$ – для алюминия; $f_{\text{матер}} = 11,36$ – для стеклопластика.

Таблица 1 – Значения коэффициента $N_{\text{ЛР}}$

Обозначение района плавания	$N_{\text{ЛР}}$	Удаление от убежища, миль	Минимальная высота волны $H_{1/3}$, м	Фактор расчетного давления
G1	1	Закрытый район	0,6	0,6
G2	2	20	1,0	0,75
G3	3	150	2,0	0,85
G4	4	250	4,0	1,00
G5	5	>250	>4,0	1,20
G6	6	Неограниченный район	>4,0	1,25

Модуль E_s вычисляется по формуле:

$$E_s = f_{\text{пв}} C_{ТН} (S_{\text{дн}} + 0,73S_{\text{бор}} + 0,69S_{\text{пал}} + 0,65S_{\text{пере}}),$$

где $f_{\text{пв}}$ – поправка, учитывающая влияние полного водоизмещения и определяется по выражению:

$$f_{\text{пв}} = 0,7 + 2,4 \frac{\Delta_v}{L_{\text{ВЛ}}^2 - 15,8},$$

здесь Δ_v – объемное водоизмещение, м^3 ; $L_{\text{ВЛ}}$ – длина по конструктивной ватерлинии, м; $C_{ТН}$ – поправка, учитывающая влияние отношения осадки T к высоте борта H :

$$C_{ТН} = 1,144(T/H)^{0,244},$$

$S_{\text{дн}}$; $S_{\text{бор}}$; $S_{\text{пал}}$; $S_{\text{пере}}$ – соответственно площади днища, борта, палубы и переборок и рассчитываются по выражениям:

$$S_{\text{дн}} = 2,825\sqrt{\Delta L_{\text{пп}}};$$

$$S_{\text{бор}} = 1,09(2L_{\text{ГБ}} + B)(H - T);$$

$$S_{\text{пал}} = 0,823 \frac{L_{\text{ГБ}} + L_{\text{ВЛ}}}{2} B;$$

$$S_{\text{пере}} = 0,6N_{\text{пере}}BH,$$

где $\Delta = \gamma k_{\text{в}} \delta L_{\text{ВЛ}} B_{\text{ВЛ}} T$ – водоизмещение судна, т; $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ – удельная масса морской воды; $k_{\text{в}}$ – коэффициент выступающих частей, учитывающий размеры наружной обшивки корпуса судна, рулей, винтов; δ – коэффициент общей полноты; $B_{\text{ВЛ}}$ – ширина по ватерлинии, м; $L_{\text{пп}} = (0,973L_{\text{ВЛ}} - 0,310)$ – длина судна между перпендикулярами, м; $L_{\text{ГБ}} = (1,146L_{\text{ВЛ}} - 0,260)$ – габаритная длина судна, м; $B = (1,432B_{\text{ВЛ}} - 1,475)$ – ширина судна, м; $N_{\text{пп}}$ – количество непроницаемых переборок.

Масса остальных составляющих водоизмещения порожнем оценивается по зависимостям [4].

Масса энергетической установки:

$$P_{\text{эу}} = \frac{(L_{\text{пп}}BH \sum N_{\text{эу}})^{0,45}}{31,45},$$



где $\Sigma N_{\text{эу}}$ – суммарная мощность главных двигателей судна, кВт.

Масса электрической системы:

$$P_{\text{эл}} = \frac{(L_{\text{пп}} BH)^{1,24}}{592}.$$

Масса электронного оборудования:

$$P_{\text{эо}} = 0,00053 L_{\text{пп}}^{2,254}.$$

Масса вспомогательных систем:

$$P_{\text{эо}} = 0,000772 + 0,0015(L_{\text{пп}} B)^{1,784}.$$

Масса снабжения:

$$P_{\text{эо}} = 0,00097(L_{\text{пп}})^{2,132}.$$

Масса специальных систем:

$$P_{\text{спец}} = 0,000333(L_{\text{пп}} BH)^{1,422}.$$

Запас водоизмещения $P_{\text{зв}} = 0,036\Delta$.

Составляющие нагрузки дедвейта судна указаны на рис. 2.

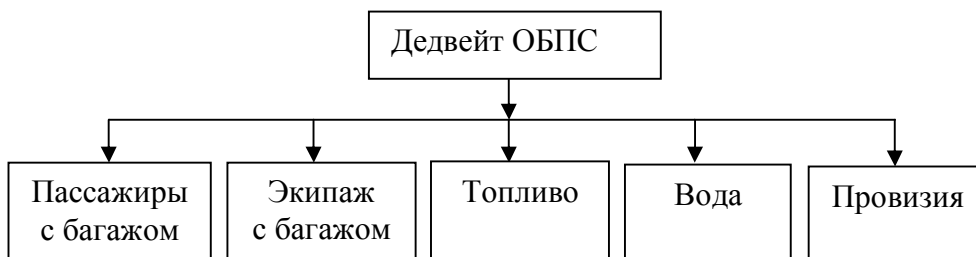


Рисунок 2 – Составляющие нагрузки дедвейта ОБПС

В соответствии со схемой 2 дедвейт судна рассчитывается по выражению:

$$DW = P_{\text{пасс}} + P_{\text{экип}} + P_{\text{топл}} + P_{\text{вода}} + P_{\text{пров}},$$

где $P_{\text{пасс}}$, $P_{\text{экип}}$, $P_{\text{топл}}$, $P_{\text{вода}}$, $P_{\text{пров}}$ соответственно массам пассажиров с багажом, экипажа, топлива, воды и провизии.

Масса пассажиров с багажом:

$$P_{\text{пасс}} = 0,090 N_{\text{пасс}},$$

где $N_{\text{пасс}}$ – количество пассажиров.

Масса экипажа с багажом:

$$P_{\text{экип}} = 0,110 N_{\text{экип}},$$

где $N_{\text{экип}}$ – количество людей экипажа.

Масса топлива может быть предварительно определена в зависимости от дальности плавания $Z_{\text{п}}$ (мили), мощности главных двигателей $\Sigma N_{\text{эу}}$ (кВт), удельного расхода топлива $q_{\text{т}}$ (т/кВт/ч), коэффициента морского запаса K_3 и скорости судна v (уз) по формуле:

$$P_{\text{топл}} = \frac{K_3 Z_{\text{п}} q_{\text{т}} \Sigma N_{\text{эу}}}{v}.$$

Масса воды и провизии в соответствии с Санитарными правилами вычисляются в зависимости от продолжительности рейса и количества людей на борту.



Если продолжительность рейса равна нескольким часам и ОБПС с обычными пассажирскими салонами, то масса воды и провизии могут вычисляться по зависимостям:

$$P_{\text{пров}} = 0,004N_{\text{экип}}; P_{\text{вода}} = 0,150N_{\text{экип}}.$$

Для проверки точности изложенного метода определения водоизмещения ОБПС автор вычислил нагрузки масс нескольких существующих ОБПС, сравнил расчетные значения водоизмещения с фактическими и определил погрешности ε (%). Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета нагрузки масс существующих ОБПС

Название судна	$P_{\text{пор}}, t$			Δ, t		
	$P_{\text{пор, расч.}}$	$P_{\text{пор, факт.}}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta_{\text{расч.}}$	$\Delta_{\text{факт.}}$	$\varepsilon, \%$
Проект P83 [5]	19,353	19,450	0,498	30,184	29,850	1,120
Проект A45 [6]	44,050	-	-	62,760	61,000	2,886
Проект A45M [6]	48,809	50,600	3,539	66,356	68,000	2,417
Passenger Ferry Boat (140 passengers) [7]	37,300	-	-	55,103	53,000	3,968

Как видно из табл. 2, результаты расчета удовлетворяют принятой на начальных этапах проектирования точности.

Выводы:

1. Приведено определение нагрузки масс однокорпусных быстроходных пассажирских судов на начальных стадиях проектирования и сравнение результатов теоретического расчета массы судна с данными существующих ОБПС.

2. Рекомендуются использовать изложенный метод в качестве расчетного для оценки нагрузки масс в математической модели ОБПС и оптимизационной задаче выбора главных элементов таких судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. – Л. : Судостроение, 1985. – 320 с.
2. Бронников А. В. Проектирование судов / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1991. – 320 с.
3. Ваганов А. М. Проектирование скоростных судов / А. М. Ваганов. – Л. : Судостроение, 1978. – 280 с.
4. Grubisic I. Reliability of Weight Prediction in Small Craft Concept Design / I. Grubisic // Proc. of 6th HIPER Congress, [September 18-19, 2008]. – Naples, Italy, 2008. – P. 215-226.
5. Электронный ресурс. – Режим доступа : <http://russrivership.ru/public/files/doc568.pdf>.
1. Электронный ресурс. – Режим доступа : http://www.korabel.ru/news/comments/sovremenniy_skorostnoy_passazhirskiy_teplohod_pra45_lena.html.
2. Электронный ресурс. – Режим доступа : http://www.alibaba.com/product-tp/119343630/140_seats_capacity_Gulf_Craft_Passenger.html.



Нгуєн Г.Х. ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МАС ОДНОКОРПУСНИХ ШВИДКОХІДНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН

Наводиться визначення навантаження мас однокорпусних швидкохідних пасажирських суден (ОШПС) на початкових стадіях проектування і порівняння результатів теоретичного розрахунку маси судна з даними існуючих ОШПС.

Ключові слова: навантаження мас, однокорпусне швидкохідне пасажирське судно, матеріал корпусу, район експлуатації.

Nguyen H.H. THE DEFINITION OF MASS LOAD OF HIGH-SPEED MONOHULL PASSENGER SHIPS

The definition of mass load of high-speed monohull passenger ships (HMPS) in the initial stages of the design and comparison of the results of theoretical calculations of the mass of the ship with existing data HMPS.

Keywords: mass load, high-speed monohull passenger ships, material of hull, the area of operation.

Статтю прийнято
до редакції 6.06.2013



ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ



УДК 338.242:656.61.(075.8)

ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ

Безлуцька О.П., Лещенко А.М.

Херсонська державна морська академія

В статті актуалізуються питання формування професійної управлінської компетентності майбутніх фахівців морського та річкового транспорту. Визначається роль та значення в управлінському процесі таких категорій як повноваження, відповідальність та делегування. Аналізуються особливості їх реалізації у судновому екіпажі. Акцентується увага на необхідності створення комфортного психологічного клімату для досягнення кінцевої мети діяльності екіпажа: безаварійної роботи суден.

Ключові слова: управлінська компетентність, повноваження, відповідальність, делегування

Постановка проблеми. Сучасний ринок праці, потребує мобільних спеціалістів, здатних орієнтуватися у великому інформаційному просторі, пристосовуватися до мінливих умов праці, самостійно приймати рішення у проблемних ситуаціях і нести за свої дії відповідальність. Все це обумовило необхідність впровадження у професійну морську освіту компетентнісного підходу.

У відповідності з новими поправками до Конвенції та Кодексу ПДНВ, прийнятих на дипломатичній конференції в Манілі (Філіппіни), судові спеціалісти операторського рівня повинні бути не лише професійно і технічно компетентним, а й бути ефективними менеджерами: володіти лідерськими якостями, розвиненою комунікативною культурою, системним та чітким сприйняттям виробничої реальності, вмінням інтегрувати вже існуючий виробничий досвід, приймати професійні рішення, тобто вільно оперувати управлінськими компетентностями. Управління один із найбільш важливих обов'язків командного складу торговельних суден. Тому, процес його реалізації вимагає від судових офіцерів певних організаторських навичок, особистої дисциплінованості, витримки, вимогливості і разом з тим справедливості [8].

З огляду на це, однією з нагальних потреб сучасної вищої професійної морської освіти є створення умов, які сприятимуть ефективному формуванню у майбутніх судових офіцерів управлінської компетентності.

Аналіз останніх досягнень. Не дивлячись на те, що поняття управлінської компетентності є відносно новим воно вже знайшло відображення в деяких наукових публікаціях [1, 3, 4]. У той же час недостатньо дослідженим є питання формування та розвитку означеної компетентності у фахівців морського та річкового флоту.

Питання безпечного управління судовими екіпажами у науковій літературі лише набуває широкого резонансу. Зокрема, це роботи В. Торського [9] та робота колективу авторів Є. Костирі, В. Топалова, Л. Позолотіна [6] тощо, актуалізували важливість означеної проблеми; В. Васильєв [2] акцентував свою увагу на аналізі термінології; В. Кривошеков [5] проаналізував значення «манільських поправок» для подальшого розвитку морської справи.

Мета даної статті проаналізувати особливості формування управлінської компетентності у майбутніх морських офіцерів.

Основна частина. У більшості морських навчальних закладів донедавна питанню підготовки морських спеціалістів до практики спілкування, формуванню управлінських та комунікаційних вмінь приділялося недостатньо уваги. Зміст навчальних дисциплін не передбачав формування вмінь управляти колективом, рішуче діяти в критичних умовах, брати відповідальність на себе, організовувати спільну та злагоджену діяльність екіпажу. З метою інтеграції вищої освіти України до Європейського освітнього простору та відповідно до Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (ПДМНВ 78/95) за наказом Міністра освіти і науки України



Д. В. Табачника у 2010 р. було створено робочу групу з розробки навчального курсу «Менеджмент морських ресурсів», одним із завдань якого – є формування управлінської компетентності у майбутніх фахівців морського та річкового транспорту.

Розробка та впровадження відповідної програми у навчальний процес, на підставі звернення до інноваційних педагогічних технологій, була покладена на науково-педагогічний колектив Херсонської державної морської академії. Вперше у навчальний процес дисципліна «Менеджмент морських ресурсів» була впроваджена в ХДМА у 2011/2012 навчальному році з метою формування нового типу керівника суднового екіпажу. Адже, майбутні суднові офіцери повинні здійснювати ефективне управління судновим екіпажем, тому «Менеджмент морських ресурсів» можна визначити саме як узагальнений курс щодо формування певних управлінських навичок командним складом суден у процесі їх взаємодії в умовах рейсу.

Виходячи із вище зазначеного, перше на що треба звернути увагу, що для ефективного управління судновим екіпажем представники командного складу (капітан, старший механік, помічники капітана тощо) повинні розрізняти такі поняття, як повноваження, відповідальність та делегування [6].

Так, повноваження – обмежене право використовувати матеріальні, фінансові, трудові та інші ресурси судна і спрямовувати зусилля підлеглих на виконання встановлених завдань. У свою чергу, повноваження делегують відповідній посаді, а не особі, тобто при зміні роботи змінюються і повноваження виконавця. На судні об'єм повноважень визначається політикою, процедурами, правилами і посадовими інструкціями, які викладені як у письмовому вигляді, так передані підлеглому в усній формі. Особи, які здійснюють будь-які дії поза межами повноважень посади, яку вони обіймають, перевищують свої повноваження. Крім того, капітан та старший механік не можуть делегувати повноваження, які суперечать законам та культурним цінностям підлеглих, щонайменше, на тривалий термін. Зовнішні обмеження повноважень обумовлені юридичними нормами [9].

Відповідальність – покладений на підлеглому обов'язок, який вимагає виконувати поставлені завдання і забезпечувати їх позитивне виконання. У свою чергу, відповідальність має подвійну властивість: з одного боку, підлеглий, приймаючи повноваження, одночасно бере на себе в повному обсязі й відповідальність, а з іншого, за капітаном та старшим механіком, який делегує повноваження, цілком зберігається відповідальність. Такий подвійний характер відповідальності саме на флоті забезпечує якісну реалізацію повноважень. Делегування повноважень має бути основним процесом, завдяки якому керівництво судна встановлює формальні відносини в екіпажі [7].

Делегування – передача завдань і повноважень особі, яка бере на себе відповідальність за їх виконання. Загалом делегування є способом домогтися виконання роботи іншими людьми. Крім того, воно є актом, який перетворює людину на керівника і допомагає їй перекласти менш важливі завдання на підлеглих, а самому займатися вирішенням стратегічних завдань і загальним керівництвом. Для того, аби делегування було дієвим, необхідна відповідність між відповідальністю та делегованими повноваженнями. Це означає, що керівництво повинне делегувати повноваження, достатні для виконання завдань, за які підлеглий взяв би на себе відповідальність.

Важливим аспектом у процесі управління є поняття психологічного клімату на судні, від якого залежить результативність рейсу. Тому, представники командного складу екіпажу повинні враховувати у своїй діяльності і психологічні аспекти управління персоналом. Доведено, що психологічний клімат у будь-якому колективі залежить від ролі та компетентності керівника, а також компетентності виконавця та їх злагоженості під час виконання колективної роботи. Порушення цих умов призводить до конфліктів та руйнації стабільності у колективі.

Композиційно психологічний вплив має три складові: вступ, основна частина і висновок:



– вступ має на меті викликати інтерес у членів екіпажу до пропонованої «Справи». Саме зараз керівник має встановити психологічний контакт з командою (психологічно приєднатися до них);

– основна частина – довести важливість пропонованих напрямків роботи. Спростувати протилежні погляди, якщо такі є, і якщо вони не сприяють досягненню виробничих цілей, що стоять перед екіпажем судна;

– висновок має своїм завданням підвести результати попередніх двох етапів. Керівник повинен оформити свої пропозиції у вигляді розпорядження.

В інтересах досягнення цих завдань, при побудові змісту переконливого впливу представникам командного складу, доцільно дотримуватися певних концепцій, що відображають інтегративні погляди на психологію сприйняття, переконання, докази тощо.

У сучасній психологічній науці і в практиці взаємодії різних партнерів актуальною є проблема психологічного приєднання. Під час словесного переконливого впливу, судновий офіцер може приєднуватися до членів екіпажу, використовуючи як зовнішні, так і внутрішні показники. В якості зовнішніх показників можуть виступати форма одягу, поза, ритми рухів і дихання, а в якості внутрішніх – найбільш стійкі канали органів почуттів зі сприйняття інформації і прийняття рішення (субмодальності) – зір, слух, почуття, мова, зовнішнє вираження почуттів [7].

Природно, що найголовнішим при психологічному приєднанні до членів екіпажу є увага з боку керівника до їх інтересів, потреб. Така увага має активно проявлятися і в мові, і в позі, і в рухах, і в зовнішньому вираженні почуттів судового офіцера. Разом з тим, представникам командного складу судна доцільно володіти і певною технікою приєднання з тим, щоб правильно діагностувати поведінку підлеглих, вміти своє приєднання зробити ефективним і повести їх за собою.

Перебуваючи зі своїми підлеглими в однаковій уніформі, керівник починає свій шлях психологічного приєднання до них, зовні показуючи, що він вирішує з ними одні й ті ж завдання. Таку ж функцію виконує і поза керівника – ділова, яка відображає його активність, націленість на вирішення поставлених завдань і відкрита для членів екіпажу: долоні розкриті верх, не закривають обличчя, як би тягнуться до своїх підлеглих. Бажані посмішка, рукостискання і легкий поклон, звернення на ім'я та по батькові (імені), встановлення дистанції ділового спілкування (1-2,5 м), узгодження поз, природних для ділової розмови. Під час, коли члени екіпажу сидять, а керівник (капітан, старший помічник, старший механік тощо) стоїть, останній замість переконання в необхідності нових справ починає робити так званий «розбір польотів», з'ясовуючи, хто ж винен в недоліках раніше виконаних робіт. Природно, що в цей момент вплив керівника зводиться нанівець.

Не менш значущими є завдання, пов'язані з аналізом стартових умов розвитку особистості судового офіцера, адаптивних процесів у мікросоціумі, типів керівників, стилів керівництва. У даному контексті варто окремо виділити завдання, спрямовані на вивчення особистості як суб'єкта управління. Йдеться про психологічну культуру управління підлеглими, про новий підхід до управління, який базується на визнанні пріоритету особистості. Необхідно також враховувати соціально-психологічні особливості управлінської діяльності. У першу чергу мова йде про психологію ділового спілкування, психологічні механізми переконуючого впливу під час ділової взаємодії, міжособистісні конфлікти та шляхи їх розв'язання, психологічні бар'єри спілкування, етнопсихологічні особливості суб'єктів взаємодії. Так, зокрема, етнопсихологічні особливості спілкування, у зв'язку з інтенсифікацією міжнародних контактів, зростанням кількості ділових відносин як в середині однієї етнічної групи, так і на міжнаціональному рівні, стають все більш актуальними і перспективними серед інших завдань психології управління [7].

Кожен судновий офіцер повинен бути гарним психологом і під час аналізу психологічних якостей членів екіпажу звертати увагу на темпераменти (холерики, сангвініки, флегматики, меланхоліки) і характер людей (принциповість, чесність, рішучість, замкненість, наглисть, егоїзм, акуратність тощо). Слід також враховувати



процес професійної та соціально-психологічної адаптації як молодого моряка, так і будь-кого з членів екіпажу. Це і новий колектив, і нові умови праці, характер діяльності. Основна специфіка управлінського процесу зводиться до того, щоб забезпечити, з боку керівника, цілеспрямоване виконання виробничого завдання підлеглими. Тому, часом говорять, що керівник «працює не своїми руками, а руками своїх підлеглих».

Реально перед керівником завжди постає необхідність приділяти постійну увагу наступним аспектам у своїй управлінській діяльності:

- проявляти увагу до людини як безпосереднього виконавця виробничих завдань;
- домагатися чіткого визначення цілей і завдань професійної діяльності, вирішення питань стратегії і тактики здійснення цілей організації в умовах змін у зовнішньому середовищі та ін.;
- забезпечувати умови для виконання виробничих завдань, що включає в себе вдосконалення комунікацій, створення сприятливих умов на робочих місцях, раціональних управлінських і виробничих технологій, а також делегування виконавцям необхідних повноважень для прийняття оперативних рішень тощо.

Сьогодні досить часто керівник намагається самотійно виконувати усі функції, чим знижує ефективність роботи колективу.

Розглянемо деякі припущення, через які ухиляються від делегування:

- нездатність або небажання ослабити контроль;
- бажання справляти враження зайнятої людини;
- побоювання втратити цінність в очах керівництва;
- страх, що співробітник помилився і підведе вас;
- подобається виконувати певну роботу;
- ніколи пояснювати, простіше зробити роботу самому.

Делегування робить можливим:

- вивільнення часу для більш важливої діяльності;
- сприяння розвитку і мотивації;
- стимулювання розкриття здібностей (ініціативності і компетентності);
- кожного, хто може щось робити краще ніж керівник.

Делегування повноважень має здійснюватися за наступною схемою:

- визначити компетентність тих, хто має виконати завдання;
- точно пояснити завдання, яке має бути реалізованим;
- конкретно зазначити свободу виконання завдання (право ініціативи);
- дати можливість задати запитання, при виникненні непорозуміння;
- контролювати виконання завдання;
- уникати зворотного делегування.

Помилки делегування: невміння інструктувати. Від того, як підлеглий зрозумів вказівку, залежить, чи справиться він зі своїм завданням.

Інструктаж показує значущість, важливість і відповідальність справи, що доручається, і тим самим налаштовує співробітника на якісне рішення, на серйозне відношення до справи; дозволяє уникнути спокуси пояснити невдачу тим, що «мене погано проінструктували».

Досить розповсюдженим явищем є так зване фіктивне делегування. Це ситуація, коли делегуються ті завдання, функції і повноваження, які підлеглі мають через їх посадові обов'язки. Для того, щоб цього не трапилося і керівник своїми діями не дискредитували себе, перш ніж делегувати, треба ознайомитися з посадовими обов'язками підлеглого. Помилка у виборі делегата. Від цієї помилки ніхто не застрахований, проте дотримання правил делегування зведе можливість і наслідки цієї помилки до мінімуму.

Висновки. Отже, для вдалого здійснення керівних функцій, сучасний офіцер морської галузі, має володіти цілим рядом компетентностей, які створять умови для реалізації себе саме як управлінця. Це, у свою чергу, забезпечить безконфліктну та безаварійну роботу суднового екіпажу.



Сьогодні ці проблеми тільки набирають своєї актуальності, тому питання, яких торкається дослідження є тільки одним із перших кроків, який допоможе вирішити ряд проблем, що пов'язані з міжособистісними стосунками у середині екіпажа, особливо багатонаціонального, які дуже часто стають визначальними для реалізації усього виробничого процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белова Е. Н. Управленческая компетентность руководителя : монографія / Е. Н. Белова. – Красноярск, 2007. – 268 с.
2. Васильев В. Элементы человеческого фактора в мореплавании в эпоху глобализации / Владимир Васильев // Морской флот. – 2012. – № 1. – С. 40-44.
3. Казак Т. В. Управленческая компетентность сотрудников органов внутренних дел в структуре их профессионального становления / Т. В. Лобанов, Т. В. Казак // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2007. – № 4. – С. 33-34.
4. Колодезникова С. И. Управленческая компетентность как ключевой фактор в профессиональном становлении специалиста вуза / С. И. Колодезникова, Е. Н. Неустроева // Вектор науки ТГУ. – 2011. – № 2 (5). – С. 114-117.
5. Кривошеков В. Менеджмент морских ресурсов (Об учебном курсе для моряков Украины) / Владимир Кривошеков [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://moryakukrainy.livejournal.com/127430.html>.
6. Лидерство в судовом екіпажі // [Е. В. Костыря, В. П. Топалов, Л. А. Позолотин, В. Г. Торский]. – Одесса : Астропринт, 2011. – 128 с.
7. Менеджмент морських ресурсів: навчальний посібник / уклад. О. П. Безлуцька, А. П. Бень, М. О. Колегаєв, Л. А. Кошелик, Л. Б. Кулікова, А. М. Лещенко та ін. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.
8. Міжнародна Конвенція про підготовку та дипломування моряків та несення вахти 1978 р. (Конвенція ПДНВ 78/95) з поправками 2010 р.
9. Торский В. Г. Управление судовыми экипажами / В. Г. Торский. – Одесса : Астропринт, 2011. – 244 с.

Безлуцкая Е. П., Лещенко А. М. ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ У БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

В статье актуализируются вопросы формирования профессиональной управленческой компетентности будущих специалистов морского и речного транспорта. Определяется роль и значение в управленческом процессе таких категорий как полномочия, ответственность и делегирование. Анализируются особенности их реализации в судовом экипаже. Акцентируется внимание на необходимости создания комфортного психологического климата для достижения конечной цели деятельности экипажа: безаварийной работы.

Ключевые слова: управленческая компетентность, полномочия, ответственность, делегирование.

Bezlutcka O. P., Leshchenko A.M. FORMATION MANAGERIAL COMPETENCE OF FUTURE SPECIALISTS OF SEA AND RIVER TRANSPORT ARE STUDIED.

The questions of formation of professional managerial competence of future specialists of sea and river transport are studied. The role and importance of such categories in the management process as the authority, responsibility and delegation is defined. The characteristics of their implementation in the ship's crew are analyzed. The need to create a comfortable psychological environment to achieve the ultimate goals of the crew i.e. trouble-free operation is focused on.

Keywords: managerial competence, authority, responsibility and delegation.

Статтю прийнято
до редакції 31.10.2013



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



УДК 621.318

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. ЧАСТЬ 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕШНЕЙ БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ

Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова И.С.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В статье проведено обоснование актуальности развития магнитно-импульсной обработки металлов в новом направлении – притяжение заданных участков листовых металлов. Дан краткий обзор основных мировых достижений. Проведен анализ электродинамических процессов при притяжении ферромагнетиков, представлено оборудование, экспериментальные исследования и практическая апробация новых авторских предложений по внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке корпусных элементов транспортных средств.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, магнитно-импульсная установка, бесконтактная рихтовка, удаление вмятин, индуктор.

Введение. Цель изложения второй части – освещение новых авторских предложений по оборудованию для внешней магнитно-импульсной рихтовки кузовов автомобилей.

Вначале их история, описание и принципиальная действенность. Затем – результаты теоретических и экспериментальных исследований физики процессов, направленных на обоснование работоспособности авторских предложений.

Исключительно новые возможности для создания устройств по внешнему устранению вмятин в кузовах легковых автомобилей открыло явление, экспериментально обнаруженное в 2004 г. профессорами Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Батыгиным Ю.В., Лавинским В.И., Хищенко Л.Т. [1]. Его суть состоит в том, что при частотах действующих полей ниже ~ 2 кГц имело место притяжение с образованием вмятины тонкой стальной пластины к рабочей поверхности индуктора-инструмента. При увеличении частоты до ~ 7 кГц и выше образец отталкивался с образованием выпуклости согласно традиционным представлениям о процессах при магнитно-импульсной обработке металлов.

Обнаруженное явление на основании феноменологических соображений и понимания происходящих процессов на уровне того времени позволило запатентовать «Способ магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов» [2], отличающийся от известных аналогов тем, что для притяжения заготовки к индуктору при использовании одного источника импульсного поля частота действующего поля выбирается из условия низкочастотности (1).

$$\omega \ll \frac{1}{\mu_0 \cdot \gamma \cdot d^2}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$; f – рабочая частота; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; γ – удельная электропроводность металла; d – толщина металла.

Здесь же была зафиксирована геометрия возможных форм индуктора-инструмента. Это мог быть массивный одновитковый соленоид обычной цилиндрической геометрии, а мог быть и массивный одновитковый соленоид с внутренним отверстием в виде усеченного конуса. Размеры внутреннего окна соленоида определяли размеры притягиваемого участка листовой заготовки.

В это же время авторами работы [3] были сформулированы физические основы перспективных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных



металлов и запатентовано другое решение по магнитно-импульсному притяжению, принцип действия которого основан на силовом взаимодействии проводников с одинаково направленными токами (закон Ампера) [4].

В дальнейшем, запатентованный в [4] «Способ магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов», как первое предложение подобного рода, лёг в основу создания «индукционных индукторных систем» (авторское название), различного конструктивного исполнения [5, 6].

Оборудование бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. Принцип действия этих инструментов для магнитно-импульсного притяжения заданных участков поверхности тонкостенных листовых заготовок можно раскрыть с помощью схемы на рис. 1.

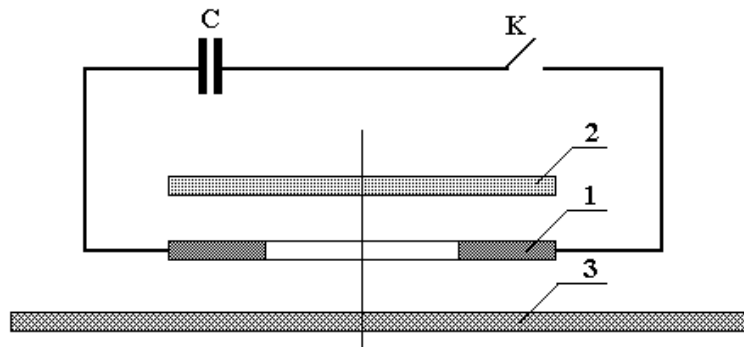


Рисунок 1 – Схема индукционной индукторной системы

Конструктивно, такая система включает плоский одновитковый соленоид-индуктор – 1, дополнительный элемент, обеспечивающий возникновение сил притяжения, это вспомогательный экран – 2 и листовую заготовку – 3, определённый участок которой следует деформировать в направлении к поверхности индуктора.

Все три составляющие укладываются параллельными слоями, изолированно друг от друга: «экран – индуктор – листовая заготовка». Последняя размещается так, чтобы участок, подлежащий деформированию, находился в рабочей зоне системы (в области внутреннего отверстия витка).

Индукционная индукторная система работает следующим образом. Предварительно заряженный емкостной накопитель энергии – С после срабатывания коммутатора – К разряжается в цепи с подключённым соленоидом-индуктором – 1. Разрядный ток индуцирует в металле экрана – 2 и заготовки – 3 вихревые токи, имеющие одинаковое направление. Если экран – 2 жёстко зафиксирован, то, в соответствии с законом Ампера, заготовка – 3 будет притягиваться к рабочей поверхности соленоид-индуктора – 1.

Необходимо подчеркнуть обязательное условие практической работоспособности индукционных индукторных систем. Как следует из физического осмысления закона Ампера (в его связи с давлением на проводник в магнитном поле), силовое взаимодействие между плоскими проводящими листами, в металле которых возбуждаются одинаково направленные индуцированные токи, возможно лишь в режиме интенсивного проникновения электромагнитного поля индуктора сквозь эти листы. Только в этом случае, при нулевом поле между ними, возникают силы магнитного давления извне, обуславливающие их взаимное притяжение.

Принципиальным и общим в предложенных инструментах магнитно-импульсного притяжения тонкостенных металлов является требование низких рабочих частот действующих полей (условие – неравенство (1)). Как показали дальнейшие исследования, это диапазон $\sim 1 \dots 2$ кГц и ниже.



Далее, для работы инструмента необходим источник мощности. В специальной литературе – это магнитно-импульсная установка. В аббревиатуре – МИУ. В этой части есть свои особенности и требования.

Во-первых, нет жёсткого требования малости собственной индуктивности и, соответственно, высоких значений собственной частоты МИУ, что является обязательным в классике МИОМ. Появляется возможность использования более дешёвых емкостных накопителей энергии.

Во-вторых, требование низких частот генерируемых токов означает, что либо собственная частота магнитно-импульсная установки должна быть достаточно низкой, либо нагрузка разрядного контура должна обладать достаточно высокой индуктивностью. Первый вариант означает повышение величины ёмкости накопителя, второй – использование многovitковых индукторов или одновитковых соленоидов в сочетании с, так называемыми, согласующими устройствами (импульсными трансформаторами тока). Как следует из практики МИОМ, многovitковые соленоиды обладают целым рядом недостатков (сложность в изготовлении, недостаточная прочность, малый эксплуатационный срок и др.). В этой связи наиболее практичным представляется использование массивных одновитковых индукторов и соответствующих согласующих устройств. Применение последних помимо всего прочего позволяет не только регулировать частоты действующих полей, но и увеличить ток собственно в соленоиде.

Одна из возможных конструкций согласующего устройства для работы с одновитковым индуктором защищена патентом [7]. Авторами заявлен способ повышения эффективности цилиндрического согласующего импульсного трансформатора, состоящего из первичной многovitковой обмотки поверх вторичного витка в виде внутреннего полого металлического цилиндра с продольным разрезом, отличающийся тем, что первичную обмотку закрывают сверху экраном в виде внешнего полого металлического цилиндра с продольным разрезом, а одинаковые края разрезов внутреннего и внешнего цилиндров соединяют электрически на выходе к нагрузке так, чтобы суммировались токи, индуцированные в каждом из них.

Наконец, как следует из априорных практических соображений, выполнение рихтовочных операций требует подачи дозированных и контролируемых величин электромагнитной энергии в рабочую зону инструмента. В этой связи представляется целесообразной работа источника мощности – МИУ в режиме многократного повторения генерируемых импульсов тока. Это даёт возможность воздействовать на устраняемую вмятину с наперёд заданным количеством силовых импульсов притяжения.

Объективности ради следует отметить, что многократное воздействие на обрабатываемый объект упоминается в разработках американских фирм «Electroimpact» и «Fluxtronic». Но соответствующие публикации и патенты с авторством этих фирм в современной научной периодике отсутствуют.

Разработки различных конструктивных элементов источников мощности, обеспечивающих работу в режиме генераторов с регулируемым многократным повторением импульсов тока, описаны в патентах [8-12].

Принципиально, их действенность описывается следующим образом. Батарея конденсаторов заряжается до заданного уровня напряжения от сети ~ 220В/380В. После чего происходит разряд на нагрузку – индукторную систему. Затем процесс заряд – разряд повторяется. Контроль и управление работой установки осуществляется с помощью специально разработанной тиристорной схемы. Как показали эксперименты, при уровне зарядных напряжений ~ 1.5...2 кВ работа с сетью позволяет на выходе установки получить частоту повторения генерируемых токовых импульсов порядка ~ 3...9 Гц.

Естественно, что необходимый уровень зарядных напряжений конденсаторной батареи определяется прочностными характеристиками объекта обработки. При каждом силовом воздействии из серии импульсов, создаваемые в нём внутренние механические напряжения должны хоть немного, но превышать пределы текучести обрабатываемых



металлов. В этом случае каждый последующий удар из серии будет только увеличивать относительные деформации.

Особое внимание следует обратить на предложение использовать в источниках мощности в качестве накопителей электромагнитной энергии, так называемые, ионисторы [13]. Последние обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными батареями конденсаторов. Это малые габариты при довольно высоком уровне запасаемой энергии, возможность получения больших импульсных токов, характерных для магнитно-импульсной обработки металлов и др.

Далее, вкратце, теория и эксперименты в авторских исследованиях принципов магнитно-импульсного притяжения предложенными инструментами с разной физикой протекающих процессов.

Притяжение ферромагнетиков. Гипотеза, объясняющая обнаруженный эффект, впервые представленный в [1], основана на следующих положениях, достоверность которых обоснована в работах [14, 15].

1. Притяжение ферромагнетика, обусловленное его магнитными свойствами, в большей или меньшей степени существует всегда. В диапазоне рабочих значений напряжённости действующих полей ($H_m \sim 10^5 \div 10^7$ А/м) для тонкостенного листового ферромагнетика величина относительной магнитной проницаемости $\mu_r \rightarrow 1$, но $\mu_r \neq 1$ и $\mu_r > 1$. Кстати, это утверждение присутствует и в патентах [16, 17], на основании которых исследуемый эффект был реализован в практике рихтовки автомобильных кузовов. Авторы цитируемых патентов утверждают, что для проявления магнитных свойств для притяжения вполне достаточно, чтобы $\mu_r > 1.2$.

2. В режимах резкого скин-эффекта силы магнитного притяжения относительно малы. Здесь преобладают силы Лоренцевского отталкивания. Их амплитуда пропорциональна квадрату тока в индукторе. Имеет место известное магнитно-импульсное давление на обрабатываемый проводящий объект. Заготовка отталкивается от индуктора – источника поля.

3. При низких значениях рабочих частот силы магнитного притяжения преобладают над силами Лоренцевского отталкивания, интегральная действенность последних стремится к нулю. Заготовка притягивается к индуктору – источнику поля именно за счёт влияния магнитных свойств обрабатываемого объекта.

Теоретическая модель исследуемых процессов согласно работам [18, 19], где дано подробное обоснование, построена на следующих допущениях (рис. 2).

1. Виток индуктора достаточно тонок и «прозрачен» для действующих полей ($\Delta \rightarrow 0$), так что его металл не оказывает никакого влияния на протекающие электромагнитные процессы.

2. В индукторе течёт ток $I(t)$, временные параметры которого таковы, что в расчётах вполне приемлемо известное условие квазистационарности происходящих электромагнитных процессов, так что $\omega / c \cdot \ell \ll 1$ (здесь ω – циклическая (круговая) частота процесса, c – скорость света в вакууме, ℓ – наибольший характерный геометрический размер системы).

3. Система обладает аксиальной симметрией, так что $\partial/\partial\phi = 0$ (ϕ – полярный угол).

4. Листовая заготовка является достаточно тонкостенной с геометрической и электродинамической точек зрения, а её радиальная протяжённость также достаточно велика, то есть $d/R_{1,2} < 1$ и $\omega \cdot \tau < 1$ ($\tau = \mu_1 \cdot \gamma \cdot d^2$ – характерное время проникновения поля в слой толщиной – d , с удельной электропроводностью – γ и магнитной проницаемостью – μ_1 ; $R_{1,2}$ – внутренний и внешний радиусы индуктора).



5. Магнитная проницаемость металла листовой заготовки постоянна и равна μ_1 , $\mu_1 = \mu_0 \cdot \mu_r$, μ_0 и μ_r – магнитная проницаемость вакуума и относительная магнитная проницаемость металла, соответственно.

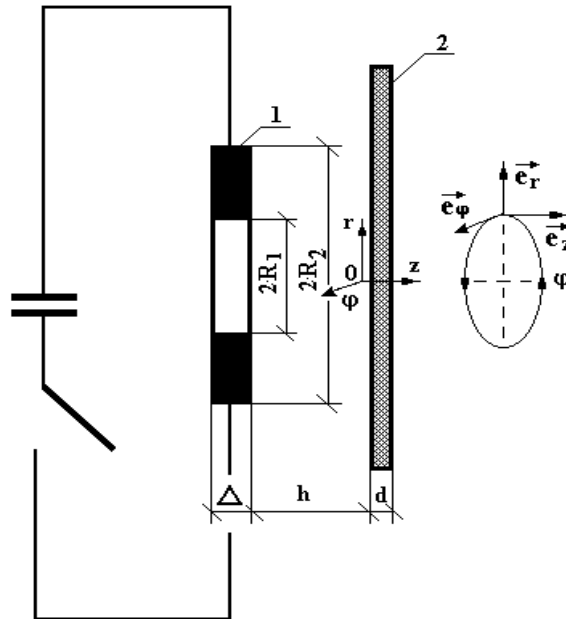


Рисунок 2 – Расчётная модель экспериментальной индукторной системы с одновитковым соленоидом – 1 и плоской листовой ферромагнитной заготовкой – 2
($\vec{e}_r, \vec{e}_\phi, \vec{e}_z$ – направляющие орты цилиндрической системы координат)

Не останавливаясь на математических операциях по интегрированию уравнений Максвелла, запишем окончательные выражения для токов и полей, возбуждаемых в металле листового ферромагнетика.

Плотность тока:

$$j_\phi(\zeta, r, \phi) = \frac{2 \cdot j_m}{d} \cdot \int_0^\infty f(x) \cdot e^{-x \cdot \frac{h}{d}} \cdot x \cdot J_1\left(x \cdot \frac{r}{d}\right) \times \sum_{k=0}^\infty \frac{\beta_k \cdot F_{1k}(\mu_r \cdot x, \zeta)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} \cdot \frac{dj(\phi)}{d\phi} * e^{-\frac{(\beta_k^2 + x^2)}{\omega\tau} \cdot \phi} dx, \quad (2)$$

где j_m и $j(\phi)$ – амплитудная и временная зависимость тока в индукторе; $\phi = \omega \cdot t$ – фаза; ω – циклическая частота; $\zeta \in [0, d]$ – пространственная переменная по толщине ферромагнетика на рис. 2;

$f(x) = \frac{1}{d^2} \cdot \int_{R_1}^{R_2} f(r) \cdot r \cdot J_1\left(x \cdot \frac{r}{d}\right) \cdot dr$, $f(r)$ – функция радиального

распределения тока в витке индуктора; x – переменная интегрирования. $J_1\left(x \cdot \frac{r}{d}\right)$ –

функция Бесселя первого порядка, β_k – корни уравнения: $tg(\beta_k) = -\frac{2}{\frac{\beta_k}{\mu_r \cdot x} - \frac{\mu_r \cdot x}{\beta_k}}$;

$$F_{1k}((\mu_r \cdot x), z) = (\mu_r \cdot x) \cdot \sin\left(\beta_k \left(1 - \frac{\zeta}{d}\right)\right) + \beta_k \cdot \cos\left(\beta_k \left(1 - \frac{\zeta}{d}\right)\right);$$

$$\Phi_k(\mu_r \cdot x) = \cos(\beta_k) \left[(\mu_r \cdot x)^2 + 2(\mu_r \cdot x) - \beta_k^2 \right] - 2\beta_k \sin(\beta_k) [1 + (\mu_r \cdot x)].$$

Интересно отметить существование очевидных предельных переходов в свёртке выражения (1), подтверждающих достоверность полученного результата.



$$\frac{dj(\phi)}{d\phi} * e^{-\frac{(\beta_k^2+x^2)\phi}{\omega\tau}} = \int_0^\phi \frac{dj(\zeta)}{d\zeta} \cdot e^{-\frac{(\beta_k^2+x^2)(\phi-\zeta)}{\omega\tau}} d\zeta = \begin{cases} j(\phi), \gamma \rightarrow \infty, \\ \frac{dj(\phi)}{d\phi}, \gamma \rightarrow 0. \end{cases}$$

В режимі різкого поверхнового ефекта ($\gamma \rightarrow \infty$) часова форма індукційованого току і току індуктора збігаються між собою. В режимі інтенсивного проникнення поля ($\gamma \rightarrow 0$) індукційований ток пропорційний похідній збуджуючого току [14].

Компоненти напруженності магнітного поля:

а) тангенціальна складова

$$H_r(\zeta, r, \phi) = -\frac{2 \cdot j_m}{(\omega \cdot \tau)} \int_0^\infty f(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} x \cdot J_1\left(x \cdot \frac{r}{d}\right) \times \sum_{k=0}^\infty \frac{\beta_k^2 \cdot F_{2k}(\mu_r \cdot x, \zeta)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} j(\phi) * e^{-\frac{(\beta_k^2+x^2)\phi}{\omega\tau}} dx, \quad (3)$$

де $F_{2k}(\mu_r \cdot x, \zeta) = (\mu_r \cdot x) \cdot \cos\left(\beta_k \left(1 - \frac{\zeta}{d}\right)\right) - \beta_k \cdot \sin\left(\beta_k \left(1 - \frac{\zeta}{d}\right)\right)$;

б) нормальна складова

$$H_z(\zeta, r, \phi) = -\frac{2 \cdot j_m}{(\omega \cdot \tau)} \int_0^\infty f(x) \cdot e^{-x \frac{h}{d}} x^2 \cdot J_0\left(x \cdot \frac{r}{d}\right) \times \sum_{k=0}^\infty \frac{\beta_k \cdot F_{1k}(\mu_r \cdot x, \zeta)}{\Phi_k(\mu_r \cdot x)} j(\phi) * e^{-\frac{(\beta_k^2+x^2)\phi}{\omega\tau}} dx, \quad (4)$$

де $J_0\left(x \cdot \frac{r}{d}\right)$ – функція Бесселя нульового порядку.

Отже, вирази (2)...(4) описують розподіли характеристик електромагнітних процесів в досліджуваній індукторній системі для довільної часової форми збуджуючого току в індукторі.

Просторово-часова залежність магнітного тиску, діючого на провідячу ферромагнітну пластину, має вигляд [18, 20]:

$$P_L(r, t) = -\mu_1 \cdot \int_0^d j_\phi(\zeta, r, t) \cdot H_r(\zeta, r, t) \cdot d\zeta. \quad (5)$$

Формула (5), доповнена виразами (2) і (3) представляє собою рішення задачі про збудження сил Лоренца, діючих в напрямку нормалі до поверхні оброблюваного об'єкта.

Поверхнева густина сил, обумовлених магнітними властивостями металу тонкостінної пластини, описується виразом виду:

$$P_F = -\frac{(\mu_0 \cdot \mu_r)}{2} \cdot (\mu_r - 1) \cdot \left[(H_{1z}^2 - H_{2z}^2) + \frac{1}{\mu_r} \cdot (H_{1r}^2 - H_{2r}^2) \right], \quad (6)$$

де $H_{1,2z}$ і $H_{1,2r}$ – «z» і «r» – складова напруженності магнітного поля на поверхнях ферромагнітного листа з боку індуктора (індекс – 1) і з протилежної сторони (індекс – 2).

Аналіз виразу (6) показує, що:

– на металеву пластину з магнітними властивостями, що знаходиться в вакуумі, діє результуюча сила, пропорційна різниці квадратів нормальної і тангенціальної складових напруженності на границях і направлена в бік більшого значення амплітуди магнітного поля, на відміну від сил Лоренца, направлених протилежно;



– в режимі насичення при $\mu_r \gg 1$ дійсуюча сила буде визначатися в основному нормальними компонентами напруженности магнитного поля, що знову ж повністю згодиться з известними науковими положеннями.

Перевірку сформулированої гіпотези о природі змєнення напрямленности сил, дійсуючих на ферромагнетик, при понижєнні робочих частот можна осущєствити численними оцєнками с помощью вираження, представляючого собою сумму сили Лорєнца (формула (5)) и сили, обусловленої магнитними своємствами металла обрабатываємої пластини (формула (6)):

$$P_s(r,t) = \mu_1 \left(\int_0^d j_\phi(z,r,t) \cdot H_r(z,r,t) \cdot dz - \frac{(\mu_r - 1)}{2} \times \left[(H_{1z}^2 - H_{2z}^2) + \frac{1}{\mu_r} (H_{1r}^2 - H_{2r}^2) \right] \right). \quad (7)$$

Численні оцєнки проведєм для одної из експериментальних индукторних систем с параметрами: виток – $R_1 = 0.025$ м, $R_2 = 0.03$ м; робочий зазор между витком индуктора и листової заготовкєй – $h = 0.0005$ м.

Листовая заготовкє – сталь с удельною електропроводностью $\gamma = 0.4 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ и толщиной $d = 0.00075$ м. Величина относительной магнитной проницаемости соответствует усреднєнным оцєнкам по кривым научної монографії [23] для значений напруженности магнитного поля $\sim 10^5$ А/м и составляет $\mu_r \approx 2.5$.

Амплитуда експоненциально затухающего тока в индукторе – $I_m = 50$ кА, частота в импульсе – $f = 2 \dots 8$ кГц, относительный декремент затухания – $\delta_0 = 0.3$.

Вычисления возбуждаемых сил различной физической природы проведены с помощью формул: (5) – силы Лорєнца – P_L (распределєнные силы взаимодействия внешнего магнитного поля с индуцированными токами); (6) – распределєнные силы магнитного притяжения – P_M ; (7) – суммарные распределєнные силы, действующие на ферромагнитную металлическую пластину в магнитном поле – P_s .

Результаты расчєтов представлены в виде графиков на рис. 3-5.

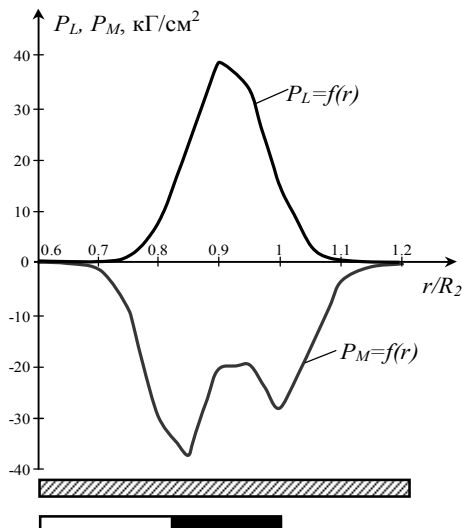


Рисунок 3 – Радиальные распределения сил, возбуждаемых в металле тонкостенной ферромагнитной пластини при частоте ~ 2 кГц

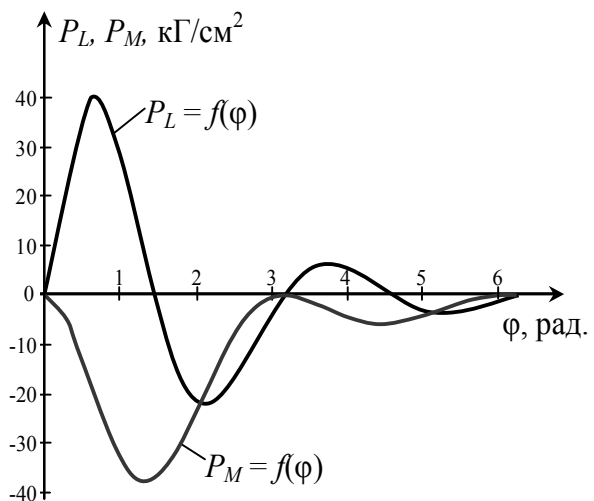


Рисунок 4 – Зависимости распределєнных сил от фазы, возбуждаемых в металле тонкостенной ферромагнитной пластини при частоте ~ 2 кГц



Приведенные графические зависимости иллюстрируют рост сил магнитного притяжения по сравнению с силами отталкивания при понижении рабочей частоты действующего поля и увеличение действенности последних при повышении частот. Анализируя полученные графические зависимости для распределенных сил следует отметить:

1. Максимумы сил отталкивания и притяжения разнесены во времени (рис. 4, рис. 5а). Так, амплитуда сил магнитного притяжения имеет место при $\phi_{\max, M} \approx 1.256$ вне зависимости от частоты. Силы отталкивания достигают экстремальных значений при $\phi_{\max, L} \approx 0.628$ для ~ 2 кГц и при $\phi_{\max, L} \approx 0.942$ для ~ 8 кГц, что обусловлено влиянием временной формы индуцированного тока;

2. Максимумы этих сил разнесены в пространстве (рис. 3, рис. 5б). Радиальные экстремумы сил отталкивания расположены по центру витка. Силы притяжения достигают максимума вблизи его внутреннего края.

Весьма иллюстративны и показательны графические результаты вычислений суммарной силы (сила Лоренца плюс сила магнитного притяжения), представленные на рис. 6.

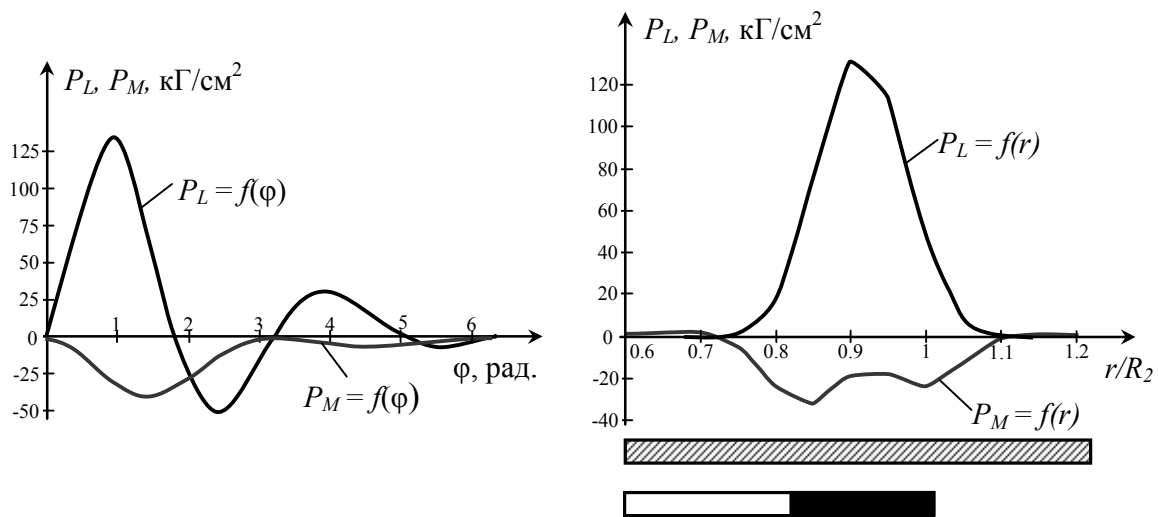


Рисунок 5 – Распределенные силы, возбуждаемые в металле тонкостенной ферромагнитной пластины при частоте ~ 8 кГц: а – зависимость от фазы; б – радиальное распределение

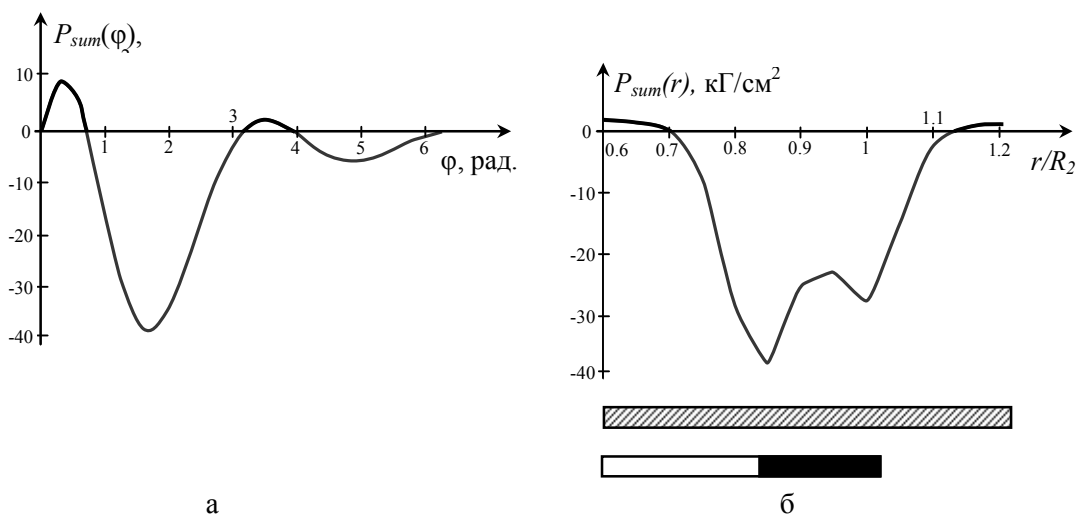


Рисунок 6 – Зависимости суммарной распределённой силы при частоте ~ 2 кГц (силы отталкивания – выше нуля, силы притяжения – ниже нуля): а – фазовая, б – радиальная



Наконец, весьма представительной характеристикой для сравнения может быть величина интегральной силы (в выбранном радиальном интервале), усреднённая за период действующего поля. Результаты этих вычислений приведены на рис. 7.

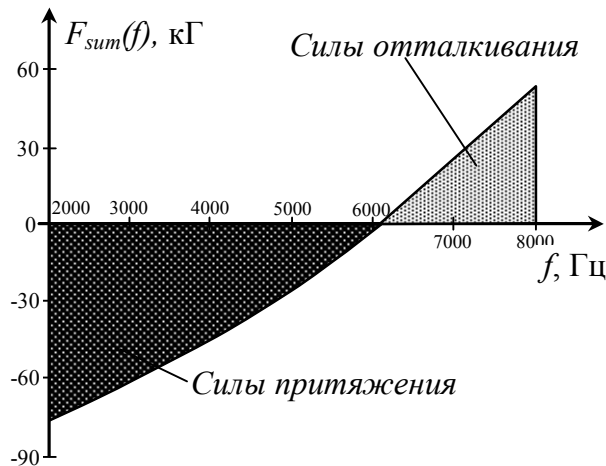


Рисунок 7 – Частотная зависимость усреднённой суммарной силы, действующей на ферромагнитную пластину, в магнитном поле одновиткового индуктора

Заключительные комментарии по проведенным вычислениям. Силы взаимодействия внешнего магнитного поля с индуцированными токами (силы Лоренца) имеют осциллирующий характер во времени, что означает их переменную направленность. Интегральное действие этих сил на проводник за время импульса – есть отталкивание обрабатываемого объекта от источника поля – индуктора. С понижением рабочей частоты осцилляции сил Лоренца во времени возрастают и, в конечном итоге, их отталкивающее интегральное воздействие на объект обработки стремится к нулю.

Силовое воздействие внешнего поля на проводник с магнитными свойствами сохраняет неизменным свой знак во времени. Это означает, что данные силы имеют постоянное направление. Их действие на проводник – есть притяжение обрабатываемого объекта к индуктору. Максимумы сил отталкивания и притяжения разнесены во времени и в пространственном приложении. Данные различия обусловлены разными физическими механизмами возбуждения выделенных сил, и, практически, они могут стать причинами неоднородного деформирования ферромагнитных листовых заготовок при воздействии импульсных магнитных полей.

При повышении рабочих частот действующих полей, амплитуды сил отталкивания существенно возрастают, амплитуды сил магнитного притяжения – падают. Силовое воздействие низкочастотных полей на ферромагнитные листовые металлы почти неизменно во времени. Практически, имеет место только притяжение к индуктору.

Проведенные вычисления подтверждают достоверность физического механизма, принятого для объяснения первых экспериментов [5], в ходе проведения которых наблюдалось изменение направленности силового воздействия на стальные тонкостенные листовые заготовки в зависимости от рабочей частоты магнитного поля одновиткового цилиндрического соленоида, а именно, при понижении частоты от ~ 8 кГц до ~ 2 кГц известное магнитное отталкивание сменялось притяжением объекта обработки к индуктору. Действительно, как следует из зависимости на рис. 7, в диапазоне рабочих частот 2...8 кГц изменяется характер силового воздействия на ферромагнитную пластину. Для $f > 6$ кГц превалирует притяжение, для $f < 6$ кГц – отталкивание. Можно добавить, что в проведенных экспериментах, притяжение наблюдалось ещё при частоте $f \approx 4.5$ кГц.

Достоверность теоретических результатов о влиянии магнитных свойств обрабатываемых объектов на характер возбуждаемых усилий подтверждается новыми экспериментальными данными. Подробное описание приведено в работах [21, 22].



Экспериментальное оборудование. Источник мощности – сильноточный генератор в режиме многократного повторения токовых импульсов с частотой их следования ~ 10 Гц (рис. 8), созданный в лаборатории электромагнитных технологий кафедры физики Харьковского автомобильно-дорожного университета, с запасаемой энергией до ~ 2 кДж, рабочим напряжением $\sim 100\dots 2000$ В, собственной частотой $f_0 \approx 7$ кГц, собственной индуктивностью $L_0 \approx 430 \cdot 10^{-9}$ Гн.

Согласующее устройство – импульсный трансформатор тока. Согласующее необходимо для согласования источника мощности – магнитно-импульсной установки с инструментом обработки – индукторной системой, что приводит к эффективному выполнению заданной технологической операции.

Индуктор – массивный одновитковый соленоид с внутренним отверстием конического профиля, подключаемый к источнику мощности через согласующее устройство (импульсный трансформатор тока с коэффициентом трансформации ~ 5), позволяющее получить рабочую частоту токового импульса в цепи индуктора $\sim 1.8\dots 2.0$ кГц.

Экспериментальные образцы – тонкие пластины из стали кузова а/м «Субару», «Ситроен» и немагнитной нержавеющей стали.



Рисунок 8 – Экспериментальное оборудование для исследования магнитно-импульсного притяжения листовых ферромагнетиков:

1 – согласующее устройство с индуктором; 2 – кабельный подвод; 3 – источник мощности (МИУ); 4 – электронный блок управления

Авторским коллективом лаборатории электромагнитных технологий Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) разработан целый ряд согласующих устройств, использование которых позволило выполнять ранее трудно реализуемые, а порой и невозможные технологические операции по восстановлению (удалению вмятин, прогибов, деформаций) кузовов автомобилей [18, 19]. Это открывает совершенно новые возможности в обрабатывающей промышленности, т.к. операции по реставрации могут быть выполнены бесконтактно и без разборки кузовных элементов транспортных средств.

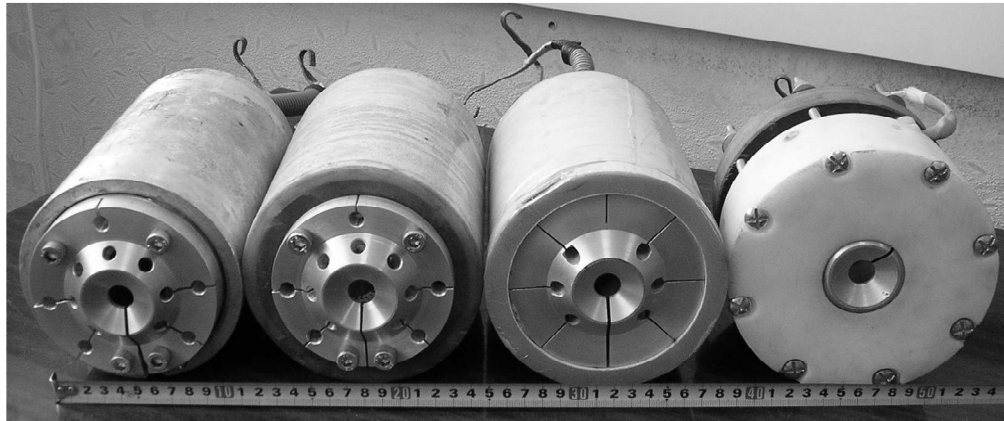
На рис. 9 представлены разработанные согласующие устройства: рис. 9, а, б, в – цилиндрического типа; рис. 9, г – дискового типа.

Совмещенными называются такие согласующие устройства, в которых вторичная обмотка совмещена с индуктором-инструментом [18, 19].



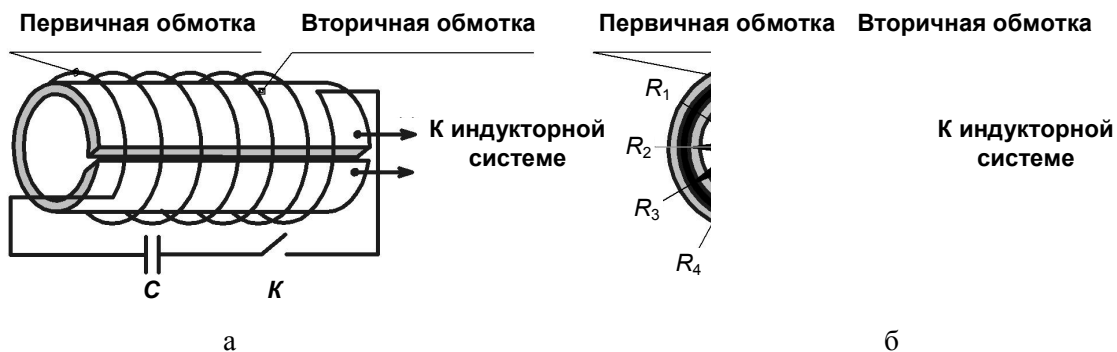
Нижче, на рис. 10, для більшої ясності представлено схемотехнічне рішення для циліндричного согласуючого пристрою – імпульсного трансформатора струму з двома вторичними розімкнутими витками [18].

В нинішнє час в лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ розроблено декілька індукторів (індукторних систем), дозволяють виробляти магнітно-імпульсне вплив на оброблюваний об'єкт з метою виконання заданої технологічної операції.



а б в г

Рисунок 9 – Зовнішній вигляд досліджуваних согласуючих пристроїв: а – циліндричне согласуюче з двома вторичними розімкнутими витками; б – циліндричне согласуюче з одним вторичним розімкнутим витком; в – збіжене циліндричне согласуюче; г – збіжене дисківне согласуюче



а

б

Рисунок 10 – Схемотехнічне рішення циліндричного согласуючого пристрою з двома вторичними розімкнутими витками: а – вторичний виток – порожній циліндр з продольним розрізом з розташованою зверху первичною обмоткою; б – вторичний виток – два коаксіальні порожні циліндри, між якими розміщується первична обмотка (поперечний переріз)

Експериментальні результати. Учаски експериментальних зразків в робочій зоні індуктора – інструмента підвергалися магнітно-імпульсному притягненню, результатом якого повинно було стати витягування вм'ятин на рівній поверхні сталевих пластин.

Робоче напруга ~ 1800 В, робоча частота ~ 1.9 кГц, амплітуда струму в індукторі ~ 88 кА. Експериментальні зразки після 50-ти кратного повторення силового впливу представлені на рис. 11.

Поперечні розміри отриманих вм'ятин відповідали розмірам робочої зони індуктора ~ 40 мм Їх глибина складала $\sim 1.2 \dots 1.5$ мм. Різниця в глибині отриманих вм'ятин, незважаючи на ідентичність в умовах проведених експериментів, можна пояснити ймовірними відмінностями електрофізических і механічних характеристик сталей різних виробників.

Зразок з немагнітної сталі не мав жодних слідів силового впливу – ні притягнення, ні відштовхування.



Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили преобладающую действенность сил притяжения по отношению к тонкостенным металлическим образцам, обладающим магнитными свойствами, и отсутствие какого либо силового воздействия на образцы из немагнитных металлов.

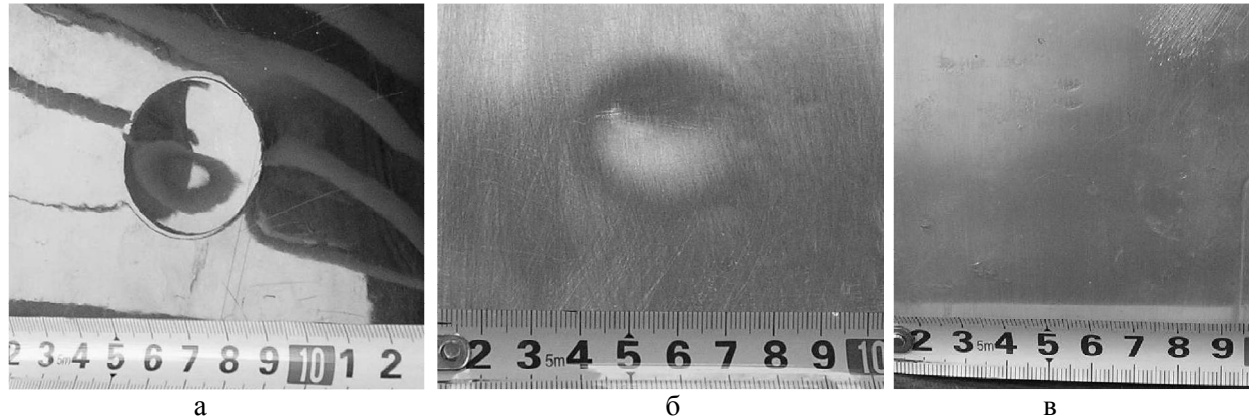


Рисунок 11 – Экспериментальные образцы после магнитно-импульсного притяжения: а – сталь автомобиля «Субару»; б – сталь автомобиля «Ситроен»; в – немагнитная сталь

В целом, полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований можно обобщить следующими утверждениями.

1. Предложен, сформулирован, теоретически и экспериментально обоснован физический механизм силового воздействия импульсных магнитных полей на тонкостенные листовые заготовки из ферромагнитных проводников.

2. Показано, что при низких рабочих частотах действующих полей преобладают силы притяжения, обусловленные магнитными свойствами металла обрабатываемых объектов. При повышении частот сверх определённого порогового значения изменяется характер силового воздействия. Притяжение сменяется отталкиванием, обусловленным преобладающим влиянием сил Лоренца – сил взаимодействия внешнего поля с индуцированными токами.

3. Предложенный механизм силового взаимодействия магнитных полей с тонкостенными ферромагнитными проводниками объясняет результаты первых экспериментов [5], где был зафиксирован эффект изменения направленности силового воздействия на стальные тонкостенные листовые заготовки в зависимости от рабочей частоты магнитного поля одновиткового цилиндрического соленоида.

В заключение о технологических возможностях. С помощью экспериментального оборудования на рис. 12 отрабатывалась модельная производственная операция по удалению вмятины в кузовной стали автомобиля «Субару».

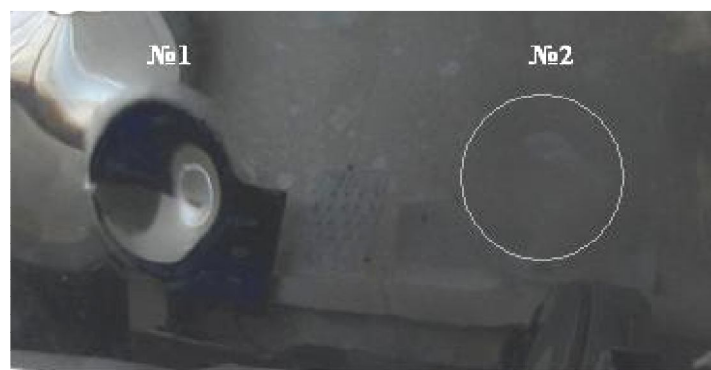


Рисунок 12 – Экспериментальный образец магнитно-импульсного удаления вмятины: №1 – контрольная вмятина; №2 – удалённая вмятина

В процессе эксперимента вначале из ровного листового образца вытягивались две идентичные вмятины. Далее углублением в одной из них образец поворачивался



к рабочей поверхности индуктора. Вторая вмятина являлась контрольной. Металл удаляемой вмятины подвергался магнитно-импульсному воздействию. После серии импульсов притяжения вмятина удалялась, поверхность листового образца возвращалась, практически, в первоначальное состояние.

Выводы:

1. Представлено разработанное оборудование по бесконтактной магнитно-импульсной рихтовке и показаны его технологические возможности.
2. Создание источников электромагнитной мощности, позволяющих осуществлять многократное силовое воздействие серией силовых импульсов на заданный участок обрабатываемого объекта, что даёт возможность не только контролировать процесс притяжения, но и понизить уровень энергии, необходимый для реализации выполняемой производственной операции.
3. Создание инструментов для притяжения ферромагнетиков (различные автомобильные стали), принцип действия которых основан преваляровании сил притяжения, обусловленных магнитными свойствами обрабатываемых металлов, над силами Лоренцевского отталкивания при понижении рабочих частот действующих полей (экспериментально обнаруженный эффект изменения направленности силового воздействия при вариации частот действующих полей).
4. Создание инструментов для притяжения немагнитных металлов (алюминиевые сплавы), принцип действия которых основан на силовом взаимодействии проводников с одинаково направленными индуцированными токами (закон Ампера) в, так называемых, «индукционных индукторных системах», где введение дополнительного вспомогательного экрана позволяет возбудить электродинамические усилия, притягивающие заданный участок обрабатываемого объекта к индуктору-источнику поля.
5. Создание инструментов – индукторных систем с комбинированным принципом действия, позволяющих эффективное притяжение как немагнитных, так и магнитных металлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Batygin Yu. V. Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field / Yu. V. Batygin, V. I. Lavinsky, L. T. Khimenko // Proceedings of the 1-st International Conference on High Speed Metal Forming. March 31/April 1, 2004. – Dortmund, Germany. – P. 157-160.
2. Пат. 75676 Україна, МПК В 21 D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок / Батигін Ю. В., Лавінський В. І., Хименко Л. Т. ; заявник та патентовласник ХПІ. – № 2004010512 ; заявл. 23.01.04; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.
3. Батыгин Ю. В. Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов. / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2004. – № 2. – С. 80-84.
4. Пат. 74909 Україна, МПК В 21 D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих заготовок / Батигін Ю. В., Лавінський В. І., Хавін В. Л. ; заявитель и патентообладатель ХПИ. – № 2004010542 ; заявл. 26.01.04; опубл. 15.02.06, Бюл. № 2.
5. Пат. 31751 України, В 21 D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок методом притягання до індуктора / Батигін Ю. В., Бондаренко О. Ю., Чаплигін Є. О. ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200712252; заявл. 05.11.2007; опубл. 25.04.08, Бюл. №8.
6. Пат. 31752 України, В 21 D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок / Батыгин Ю. В., Бондаренко А. Ю., Сериков Г. С. ; заявник та



патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200712252; заявл. 05.11.2007; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8.

7. Пат. 53969 України, B21 D 26/14. Узгоджувальний пристрій – циліндричний з двома співвісними вторинними витками / Ю. В. Батигін, А. В. Гнатов, Г. С. Сериков, Є. О. Чаплигін, С. О. Драченко ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u201004291; заявл. 13.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.

8. Пат. 29175 України, B21D 26/14. Установка для магнітно-імпульсної обробки металів серією імпульсів / Ю. В. Батигін, О. Ю. Бондаренко, В. І. Лавінський, В. Л. Хавін ; заявник та патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № u200707813; заявл. 11.07.2007 ; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.

9. Пат. 84925 України, B21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок / Ю. В. Батигін, О. Ю. Бондаренко ; заявник та патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № a200612953; заявл. 08.12.2006 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

10. Пат. 45131 України, B21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсної обробки металевих заготовок / Ю. В. Батигін , О. Ю. Бондаренко, В. Л. Хавін ; заявник та патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № u200905436 ; заявл. 29.05.2009 ; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.

11. Пат. 44933 України, B21 D 26/14. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів / Ю. В. Батигін, О. Ю. Бондаренко, А. В. Гнатов, Г. С. Сериков, Є. О. Чаплигін ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200903072 ; заявл. 01.04.2009 ; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.

12. Пат. 61008 України, B21 D 26/14. Генератор багаторазових імпульсів струму для магнітно-імпульсної обробки металів з розгалуженим колом комуруючих пристроїв / Ю. В. Батигін, В. В. Воробйов, А. В. Гнатов, А. С. Сосков, Є. О. Чаплигін ; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u201012932; заявл. 01.11.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.

13. Пат. 61417 України, B21 D 26/14. Генератор багатократних імпульсів струму для обробки металів тиском імпульсного магнітного поля / Ю. В. Батигін, А. В. Гнатов, Є. О. Чаплигін, Щ. В. Гнатова, І. С. Трунова; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u201013096 ; заявл. 04.11.2010 ; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

14. Батыгин Ю. В. Вихревые токи в тонких металлических листах при их магнитно-импульсной обработке / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, А. Ю. Бондаренко // Электричество. – М., 2009. – № 9. – С. 61-65.

15. Батыгин Ю. В. Силы, действующие на тонкостенный проводник, в проникающем поле плоского одновиткового соленоида. / Ю. В. Батыгин, А. Ю. Бондаренко // Техническая электродинамика. – К., 2010. – № 1. – С. 9-14.

16. Пат US WO/2006/119661. Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan ; заявитель и патентообладатель Rentsch & Partner. – № 60/680,303; заявл. 11,05,2006; опубл. 16.11.2006.

17. Пат. US 2008/0163661 A1 USA (США). Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan ; заявитель и патентообладатель Ostrolenk faber gerb & soffen, New York. – № 11/910,788 ; заявл. 11.05.2006 ; опубл. 10.07.2008.

18. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Т. 3. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 240 с.

19. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов / Ю. В. Батыгин, С. Ф. Головащенко, А. В. Гнатов, Д. О. Смирнов // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2010. – № 3. – С. 39-41.



20. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко. – Т. 1 ; под ред. Ю. В. Батыгина. – Харьков : МОСТ-Торнадо, 2003. – 284 с.

21. Батыгин Ю. В. Направление сил, действующих на листовой ферромагнетик, в зависимости от временных характеристик при МИОМ / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева // Электротехника і електромеханіка. – Харків, 2011. – № 3. – С. 56-61.

22. Батыгин Ю. В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева // Электричество. – М., 2011. – № 4. – С. 55-62.

23. Туровский Я. Техническая электродинамика / Я. Туровский – М. : Энергия, 1974. – 488 с.

Батигін Ю.В., Гнатов А.В., Трунова І.С. МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЧАСТИНА 2. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗОВНІШНЬОГО БЕЗКОНТАКТНОГО МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ

У статті проведено обґрунтування актуальності розвитку магнітно-імпульсної обробки металів у новому напрямку – притягання заданих ділянок листових металів. Надано короткий огляд основних світових досягнень. Проведено аналіз електродинамічних процесів при притяганні ферромагнетиків, представлено обладнання, експериментальні дослідження та практична апробація нових авторських пропозицій по зовнішньому безконтактному магнітно-імпульсному рихтуванню корпусних елементів транспортних засобів.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, магнітно-імпульсна установка, безконтактне рихтування, видалення вм'ятин, індуктор.

Batygin Yu.V., Hnatov A.V., Trunova I.S. THE MAGNETIC-PULSE TECHNOLOGIES FOR RENEWAL OF THE TRANSPORT BODY ELEMENTS. PART 2. THE EQUIPMENT FOR PRACTICAL REALIZATION OF EXTERNAL NONCONTACT MAGNETIC-PULSE STRAIGHTENING

The substantiation for actuality of magnetic-pulse metal working development in new direction – attraction of defined sections of sheet metals has been carried out in this article. The brief review of main world achievements was conducted. The analysis of electrodynamic processes of ferromagnetics attraction has been carried out, the equipments have been demonstrated. The experimental researches and practical approbation of new authors proposals for external noncontact magnetic-pulse straightening of the transport body elements have been presented.

Key words: electromagnetic forming, magnetic-pulse installation, noncontact straightening, dents removal, inductor.

Статтю прийнято
до редакції 23.11.2012



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МАЗУТА

Богданов А.В., Богданов В.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье экспериментально исследована электропроводность мазута при различных температурах, в частности, термостимулированная проводимость и при различных подаваемых напряжениях, в частности отрицательное дифференциальное сопротивление на вольтамперных характеристиках. Предложен донорно-акцепторный механизм образования полученных экспериментальных результатов.

Ключевые слова: мазут, электропроводность, термостимулированная проводимость, вольтамперные характеристики, магнитно-импульсная обработка

Постановка проблемы и её связь с практическими задачами. В литературе принято органическое топливо считать диэлектриком, а поэтому исследования по его электропроводности представлены недостаточно [1, 2]. Однако, практика использования топлива всё больше опирается именно на его электрические свойства. Так, например, согласно Правил Регистра в судовых системах аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) предусмотрен контроль концентрации воды в топливе на выходе сепаратора путём измерения ёмкостного электрического сопротивления топлива на переменном токе. Электрическое сопротивление топлива на переменном токе при увеличении концентрации воды уменьшается за счёт уменьшения его ёмкостного сопротивления.

Изучение и подбор параметров магнитно-импульсной обработки органического топлива для повышения его эксплуатационных параметров невозможен без изучения электропроводности последнего, ибо магнитное поле воздействует только на электрические заряды. Отсюда следует, что исследование электропроводности тяжёлого топлива является актуальным.

Цель настоящей работы – исследование электропроводности одного из самых распространённых органических топлив – мазута марки М 40.

Анализ последних публикаций и постановка задачи исследования. Нормативным показателем качества нефтепродуктов, образуемых при перегонке нефти, является их плотность, которая возрастает от 0,7 г/см³ в бензинах до 1,0 г/см³ в гудронах. С увеличением плотности нефтепродуктов растёт их молекулярная масса с 72 до 300 г/моль, вязкость с 0,6 до 400° УВ (при температуре 200° С), изменяются и другие их электрофизические свойства. Плотность исследуемого нами мазута марки М 40 (цифра в марке мазута указывает на его ориентировочную вязкость) составляет 0,95 г/см³, температура застывания 10-40° С. Мазуты составляют примерно 50 % от объёма перегоняемой нефти.

Для тяжёлых топлив характерно значительное количество включений: воды (до 3 %), серы (до 3,5 %), золы (до 0,3 %) и других включений. Именно включения в составе топлива наиболее значительно определяют его физические свойства и эксплуатационные показатели. Характерной особенностью включений в топливе является образование электрических зарядов на их границах. Поэтому исследование электропроводности мазута позволит не только оперативно определять состав и качество, например воды, при его сепарации, но и определять возможности использования магнитно-импульсной обработки (МИО) для повышения эксплуатационных показателей органического топлива.

Поэтому задачей данного исследования ставилось исследование электропроводности мазута при различных температурах и в зависимости от параметров приложенного электрического и магнитного полей.

Результаты экспериментальных исследований. Для исследования мазута нами была разработана специальная конструкция контейнера [3], позволяющая измерять его



электропроводность при расстоянии между электродами 0,3-10,0 мм, при задании температуры с точностью не менее ± 2 °С в области температур от комнатной до 400 °С (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид контейнера

В левой части контейнера располагается печь для нагрева топлива. Непосредственно возле электрода располагается медь-константановая термопара. В правой части контейнера располагается микрометрический винт с остро заточенным электродом.

Экспериментальные исследования электропроводности мазута проводились в следующей последовательности:

- контейнер с фторопласта заполнялся мазутом и герметически закрывался;
- с помощью микрометрического винта устанавливалось определённое геометрическое расстояние между электродами;
- на электроды подавалось от стабилизированного источника тока постоянное напряжение и, при фиксированной температуре, измерялась электропроводность;
- температурная зависимость тока через мазут определялась при подаче на электроды определённого постоянного стабилизированного напряжения.

В результате проведённых экспериментов установлено, что первоначальное электрическое сопротивление мазута при межэлектродном расстоянии равно 0,4 мм (при меньшем межэлектродном расстоянии возникали нестабильности электрического тока) было больше 10^8 Ома. Резкое изменение электрического сопротивления мазута происходило либо после подачи напряжения более 30 В и пропускании достаточно больших токов, либо при воздействии сильных импульсных магнитных полей.

При комнатной температуре на вольтамперных характеристиках мазута марки М 40 наблюдался участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС), то есть участок, на котором с увеличением напряжения ток уменьшался (рис. 2).

Характерной особенностью участков ОДС на вольтамперных характеристик было то, что они появлялись только при низких температурах (до 50-70°С). С увеличением температуры величина участка падения тока уменьшалась. Именно в этой области температур происходит резкое уменьшение вязкости мазута, что может обуславливать взаимную связь между этими явлениями.

На температурной зависимости электропроводности после обработки мазута электромагнитными полями наблюдались три максимума в области температур: 27 °С; 42 °С; 62 °С (рис. 3), что характерно для термостимулированной проводимости (ТСП) полупроводников [4].

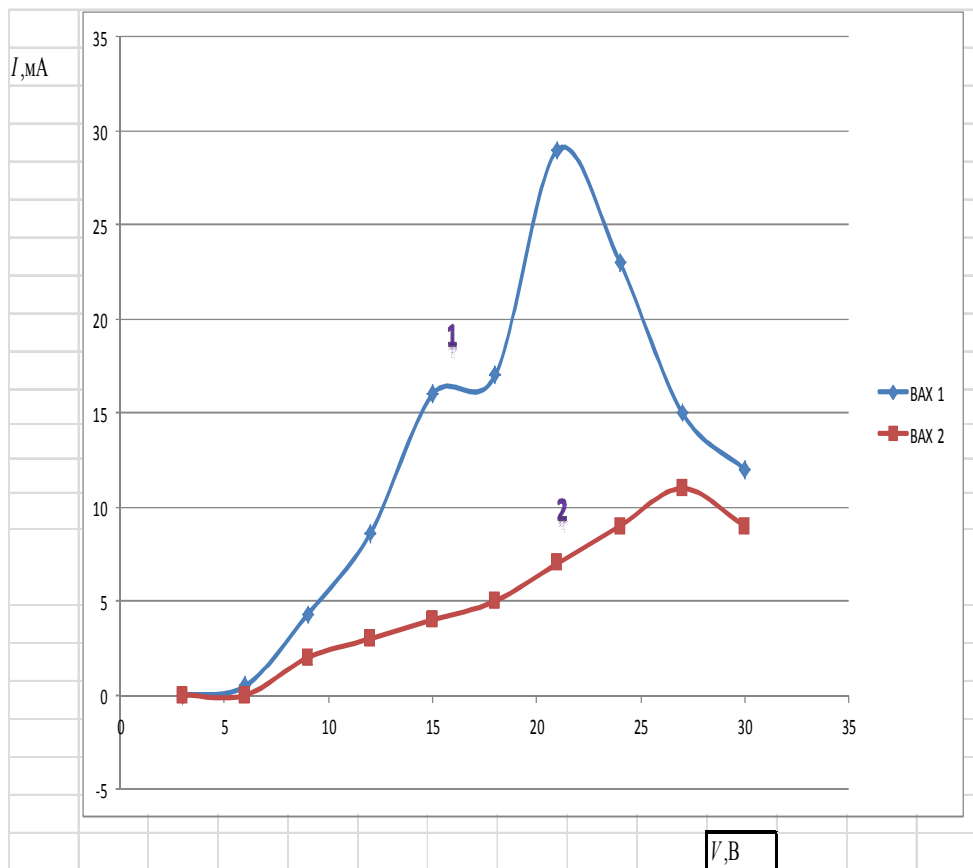


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики мазута при комнатной температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) и температуре $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2)

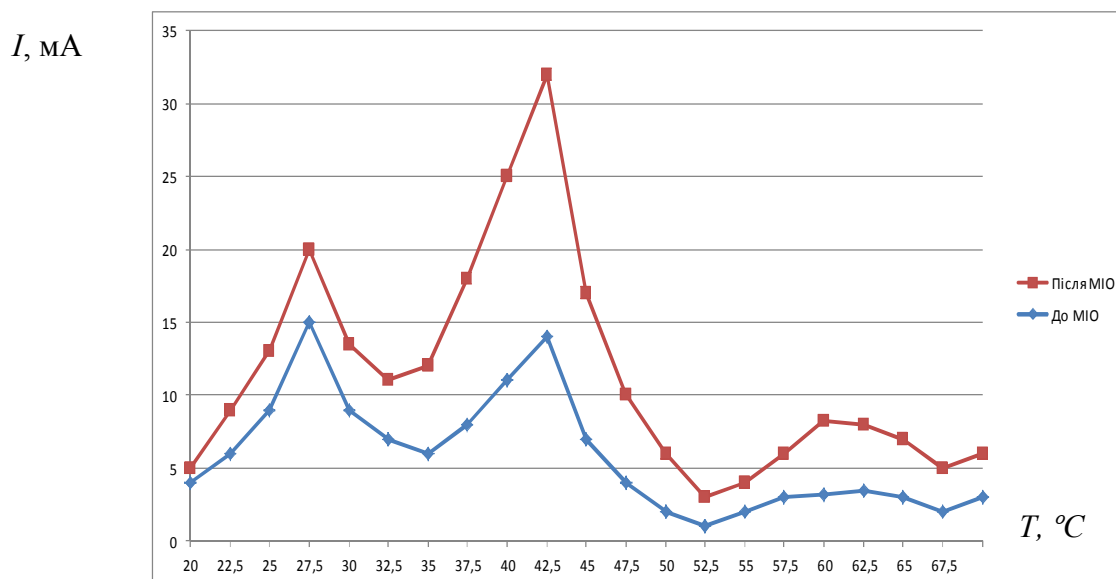


Рисунок 3 – Температурная зависимость тока через мазут марки М 40 до и после его обработки магнитными импульсами

Средний максимум обычно был существенно большим за остальные максимумы. Под воздействием проходящих токов через мазут или при воздействии импульсного магнитного поля величина максимумов (площади под этими максимумами на рисунке) могла изменяться, но температурное положение их оставалось примерно одинаковым. При дальнейшем увеличении температуры электрическое сопротивление мазута резко возрастало.



Механизм электропроводности мазута. Аналогичные вольтамперные характеристики с участками ОДС, а также ТСП нами наблюдались в различных твёрдых материалах: в моно- и поликристаллическом, синтетическом полупроводниковом алмазе, в окисных плёнках, изолирующих выпрямляющий переход у варикапах [4-7].

Величина максимумов (площадь под этими максимумами на рисунке) при ТСП характеризует величину неравновесного электрического заряда, который захватывается на ловушки. Температурное положение максимума электропроводности характеризует энергию активации неравновесных носителей заряда с данных ловушечных уровней.

Для отмеченных особенностей электропроводности синтетического полупроводникового, на основе его зонной схемы и решения уравнений Максвелла, нами был разработан механизм, учитывающий донорно-акцепторную рекомбинацию (ДАР) носителей заряда на ловушечных уровнях бора и азота.

Для тонких окисных плёнок использование зонной структуры, характерной для полупроводников, проблематично. Поэтому нами был предложен тот же механизм ДАР, но учитывающий не статистическое распределение ловушек в трёхмерном пространстве, а их распределение по обе стороны от изолирующей плёнки. Толщина изолирующей плёнки была сравнима с геометрическим расстоянием между примесями в синтетическом полупроводниковом алмазе, а поэтому между зарядами на примесях возникало кулоновское взаимодействие и, соответственно, была эффективной ДАР. В таком случае, как было показано нами, можно не использовать зонную структуру, характерную для полупроводников. Для рассмотрения электропроводности мазута при использовании механизма ДАР необходимо учитывать его особенности, как жидкого вещества. Носителями заряда в жидкости являются ионы, а поэтому электроны легко «прилипают» к нейтральным молекулам и не могут существовать в свободном состоянии. В жидкости заряды могут переноситься скоплением ионов, частицами и даже пузырьками.

Энергия ионизация зарядов с ловушек в жидкости, как следует из закона Кулона, облегчена по сравнению с газами за счёт большей диэлектрической проницаемости. Рекомбинация носителей заряда в жидкости затруднена, поскольку заряды взаимодействуют со средой, а именно, легко окружаются соседними молекулами, ориентированными соответствующими концами постоянных или индуцированных диполей к ионам.

Возникновению электропроводности органического топлива, как диэлектрика, может обеспечивать вода, растворенная в нём, которая облегчает ионизацию других примесей, также растворенных в топливе. Растворение в воде различных примесей с их последующей диссоциацией на ионы приводит к увеличению электропроводности топлива. Отсюда, в топливе, как и в других жидкостях, проводимость больше, чем в газах и твёрдых телах за счёт облегчённой ионизации и затруднённой рекомбинации.

Электропроводность вещества зависит не только от количества электрических зарядов, но и от их подвижности. За счёт значительно большей массы ионов, по сравнению с массой электронов, подвижность электрических зарядов в топливе невысокая ($10^{-7} \div 10^{-8} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$).

Выводы. Из сравнения экспериментальных результатов на мазуте и других твёрдых веществах можно заключить следующее о его электрофизических характеристиках:

1. Мазут относится к неупорядоченным материалам, электропроводность которого и, в частности, долговременная релаксация электропроводности, в значительной степени определяется ДАР между скоплениями различных молекул.

2. Концентрация неравновесного электрического заряда в донорно-акцепторных парах, определяемая по площади под максимумами на кривых ТСП, а также соответствующий коэффициент ДАР, достаточно большие. Энергия активации заряда, определяемая по температурному положению максимумов кривых ТСП, составляет порядка или меньше 0,1 эВ.



3. Примерное совпадение температур при которых, наблюдаются ОДС и максимумы кривых ТСП с температурой, при которой происходит резкое изменение вязкости мазута указывает на взаимосвязь механизмов их образования.

4. Дальнейшее изучение механизма электропроводности мазута должно оказать существенное влияние на выяснение механизма влияния импульсного магнитного поля, как на изменение вязкости мазута, так и на повышения других его эксплуатационных показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А. В. Возможности магнитно-импульсной обработки топлива // «Научная дискуссия: вопросы технических наук» [Материалы II международной заочной научно-практической конференции, (12 сентября 2012 г., Москва)] / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин – М. : Международный центр науки и образования, 2012. – С. 57-67.

2. Малыгин Б. В. Методы повышения экологической безопасности в процессе магнитной обработки углеводородных топлив для двигателей внутреннего сгорания / Б. В. Малыгин, Д. С. Погорлецкий, Г. Ю. Васильченко, А. А. Сапронов // Науковий вісник ХДМІ. – 2011. – № 2 (5). – С. 130-139.

3. Алексеев А. В. Разработка конструкции контейнера для исследования характеристик топлива в импульсном магнитном поле / А. В. Алексеев, В. А. Богданов, Д. С. Погорлецкий, А. Б. Малыгин // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции СЕУТТОО-2012. – Херсон : Видавництво ХГМА, 2012. – С. 222-223.

4. Богданов А. В. Приборы на основе полупроводниковых алмазов : монография / А. В. Богданов, И. М. Викулин. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1987. – Вып. 3 (1274). – 56 с.

5. Богданов А. В. Исследование отрицательного дифференциального сопротивления N-типа на обратной ВАХ варикапов / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, М. Ю. Коновалов, А. П. Бень, С. И. Хойна // «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)-2011» [Збірка матеріалів конференції у двох томах, (м. Херсон)]. – Херсон : Видівництво ХДМІ, 2011. – Т. 2. – С. 94-95.

6. Богданов А. В. Влияние параметров МИО на донорно-акцепторную рекомбинацию носителей заряда в неупорядоченных структурах / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, А. П. Бень, М. Ю. Коновалов // Науковий вісник ХДМІ. – 2011. – № 2 (5). – С. 93-101.

7. Богданов А.В. Электропроводность твёрдых тел по донорно-акцепторным парам / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин // Вестник Херсонского технического университета. – 2010. – № 1 (37). – С. 28-32.

Богданов О.В., Богданов В.О. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ МАЗУТУ

У статті експериментально досліджена електропровідність мазуту при різних температурах, зокрема, термічно стимульована провідність і при подачі різної напруги, зокрема, негативний диференціальний опір на вольт-амперних характеристиках. Запропоновано донорно-акцепторний механізм утворення отриманих експериментальних результатів.

Ключові слова: мазут, електропровідність, термічно стимульована провідність, вольт-амперні характеристики, магнітно-імпульсна обробка.

Bogdanov A.V., Bogdanov V.A. ELECTRIC FUEL OIL

The paper experimentally studied the electrical conductivity of fuel oil at different temperatures, in particular, thermally conductivity and fed at different voltages, in particular the negative differential resistance in the current-voltage characteristics. We propose a donor-acceptor mechanism of the experimental results.

Keywords: fuel oil, electrical conductivity, thermally stimulated conductivity, current-voltage characteristics, magnetic pulse treatment.



УДК 534.6:629.5.015.6:629.123

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМА, КОНТРОЛЬ ШУМА В РАБОЧИХ ЗОНАХ НА СУДАХ

Гусев В.Н.

Херсонская государственная морская академия

В работе показана физическая сторона шума (звука), которая характеризуется давлением, интенсивностью звука, частотой и другими параметрами. Проведены в режиме акустики на временной характеристике «медленно» замеры шума в машинном отделении пассажирского судна «Генерал Ватутин», находящегося на стоянке в порту г. Херсона при включенном дизель-генераторе.

Ключевые слова: шум, звук, интенсивность звука, давление, уровень шума (звука), частотная характеристика, гистограмма.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Колебательные движения воздуха, создаваемые различными устройствами, механизмами, живыми организмами, а также природными явлениями, вызывают звук. Неприятные и раздражающие звуки называются шумами.

Длительное действие повышенного шума воздействует на слух, вызывает у человека невроты, сердечно-сосудистые и другие заболевания, что служит причиной производственного травматизма и снижения производительности труда.

Акустические измерения дают возможность точно и с научных позиций анализировать и оценивать раздражающие и вредные звуки и шумы.

Акустические измерения также дают ясную и однозначную индикацию степени опасности и вредности звуков и шумов и, следовательно, способствуют заблаговременному принятию соответствующих контрмер.

В опубликованных статьях по акустическим измерениям в основном приводятся результаты измерений и сравнение полученных значений с нормативными документами. Мы в своей работе кроме проведенных акустических измерений на судне, решили раскрыть физический смысл основных свойств звука, физические характеристики шума (звука), привести функциональной схемы шумомера.

Таким образом, **целью данной работы** является раскрытие физического смысла основных свойств звука, физических характеристик шума (звука), рассмотрение функциональной схемы работы звукоизмерительной аппаратуры (шумомера), все это встречается в научной литературе очень редко, и как конечный вариант, провести контрольные акустические измерения на судне, сравнить полученные результаты с санитарными нормами и Кодексом ИМО по уровням шума на судах.

Физический смысл основных свойств звука, физических характеристик шума (звука). С физической стороны шум характеризуется звуковым давлением, интенсивностью звука, частотой и другими параметрами.

Разность между атмосферным давлением и давлением, которое создает любая звуковая волна распространяющаяся в пространстве на встречающиеся препятствия (в том числе и на наши барабанные перепонки) принято считать звуковым давлением, которое выражается в системе Си в паскалях Па (Н/м^2).

При распространении звуковых волн происходит перенос кинетической энергии, которая определяется интенсивностью звука, Н/м .

Частота звука характеризуется числом колебаний звуковой волны в единицу времени и измеряется в герцах (Гц).

В акустике принято измерять не абсолютные значения интенсивности звука или звукового давления, а их, относительные логарифмические уровни, взятые по отношению к пороговому значению и измеряют в децибелах (дБ).



Важним является объяснение, почему происходит такое отличие единиц измерения с позиции физики. Отметим, что прибором для измерения изменений атмосферного давления воздуха является барометр, но барометр не реагирует достаточно быстро и не регистрирует быстрые изменения давления, так что его нельзя применять для измерения звука. На основании опытных данных установлено, что в среднем самый слабый звук, обнаруживаемый нормальным слухом здорового человека (предел чувствительности, порог слышимости) равен приблизительно 20 мкПа. Более слабый звук услышать невозможно. Звуковое давление 20 Па считается болевым порогом, при котором интенсивность звука такова, что она может за короткое время вызвать повреждение органов слуха. Для сравнения скажем, что нормальное статическое атмосферное давление равно 100 кПа.

Из вышесказанного следует, что человеческий слух способен воспринимать звуки, обуславливающие изменения давления более чем в миллион раз больше 20 мкПа.

Следовательно, применение основных единиц давления, т.е. Па, в акустической практике сопровождалось бы необходимостью применения больших чисел. Чтобы избежать этот недостаток в акустике применена логарифмическая шкала [1].

Логарифмическую зависимость в акустике можно охарактеризовать следующем образом: субъективное восприятие силы звука, т.е. (абсолютная величина слухового ощущения) – громкость звука показывает, что увеличение громкости в два раза соответствует увеличению силы звука в 100 раз (звукового давления – в 10 раз), увеличение громкости в 3 раза соответствует увеличению силы звука уже в 10000 раз (звукового давления – в 100 раз), а увеличение громкости в 4 раза соответствует изменению силы звука в 100000000 раз (звукового давления – в 10000 раз).

Александр Бел открыл интересную особенность – нелинейность слуха, т.е. наша слуховая система реагирует на уровень звукового давления «логарифмически».

В качестве единицы измерения нашего восприятия изменения уровня (громкости) звука выбрана логарифмическая единица Бел (Б) – в честь Александра Бела.

Изменение уровня звука в один бел одинаково отражает и изменение силы звука, и изменение звукового давления. Отметим, что одному белу соответствует увеличению интенсивности звука на пороге слышимости в 10 раз (если интенсивность звука I больше

исходной в 10 раз, т.е. $\frac{I}{I_0} = 10$, то принято считать, что интенсивность звука I превышает исходную на 1 Б, при $\frac{I}{I_0} = 100$ превышает на 2 Б и т.д.).

Установлено, что орган слуха человека способен различать прирост звука на 0,1 Б, т.е. на 1 дБ, и поэтому уровень интенсивности звука L измеряют в децибелах дБ, который и принят в практике акустических измерений как основная единица.

Исходя из того, что нормальное статическое атмосферное давление равно 100 кПа, болевой порог равен 20 Па, а порог слышимости – около 20 мкПа, то можно эти величины представить в виде шкалы.

Эти же величины представляются в логарифмическом масштабе, как показано на рис. 1.

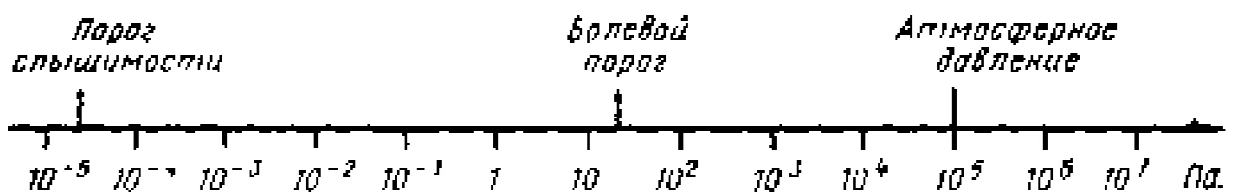


Рисунок 1 – Логарифмическая шкала давления



Логарифмический масштаб дает возможность лучше отразить огромный диапазон колебаний (10^6). Но поскольку оперировать с логарифмами не всегда удобно, целесообразно было принять масштаб, у которого отсчет начинается с нуля и соответствует порогу слышимости.

Таким образом, уровень интенсивности звука 0 дБ соответствует порогу слышимости.

Важной величиной, характеризующий звук, является частота. Установлено, что ухо человека может воспринимать колебания с частотами от 15 Гц до 15 кГц, т.е. в очень широком диапазоне колебаний, отношение которых составляет 1:1000. Поэтому для частот также используется логарифмическая шкала, например при графическом изображении спектров шума.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты, а именно – наибольшей чувствительностью на средних и высоких частотах (800 Гц – 4 кГц) и наименьшей – на низких (20 Гц – 100 Гц). Поэтому для физиологической оценки шума используют кривые равной громкости (рис. 2), полученные по результатам изучения свойств органов слуха. Которые позволяют оценивать звуки различной частоты по субъективному ощущению громкости, т.е. судить о том, какой из них сильнее или слабее.

Уровни громкости измеряются в фонах. На частоте 1000 Гц уровни громкости приняты равными уровням звукового давления.

Для иллюстративного примера приведем на рис. 2 так называемые кривые равной громкости (в фонах), которые характеризуют чувствительность уха [2].

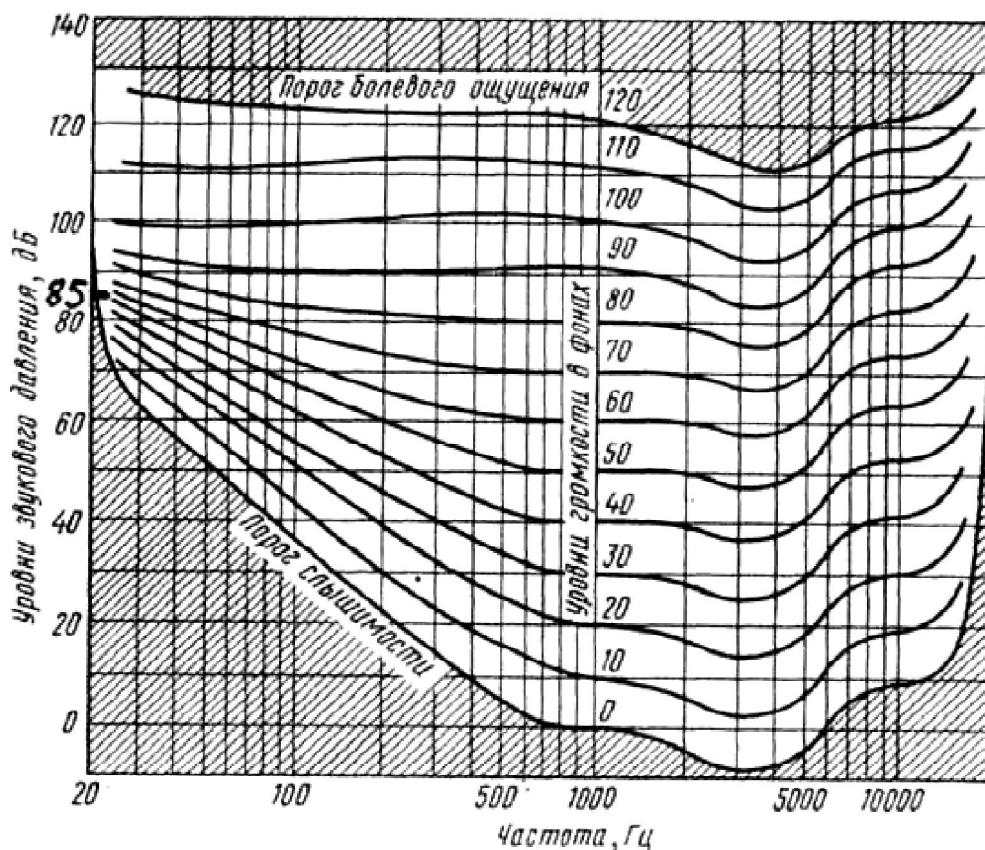


Рисунок 2 – Кривые равной громкости звука

На рис. 2 кривые показывают, что ухо лучше воспринимает дискантовые тоны, чем низкие, причем разница в восприятии будет тем больше, чем меньше уровни звука. При более высоких уровнях эта разница заметно сглаживается.



Для того, чтобы измерительный прибор имел характеристику, подобную слуховым органам, он должен уменьшать влияние низких частот. Для этого звук, измеряемый во всем частотном диапазоне, перед показывающим прибором должен проходить через соответствующий фильтр. При применении такого типа фильтра измеряемый уровень звука соответствует приблизительно восприятию его ухом. Измеренные величины обозначаются дБА, дБВ, дБС или дБД в зависимости от того, какой фильтр использовался «А», «В», «С» или «Д», т.е. при измерении шума необходимо придерживаться частотной коррекции определяемой международными рекомендациями и стандартами. Фильтр «А» используется для измерения низких уровней звукового давления, фильтр «В» используется для измерения в области средних уровней звукового давления, фильтр «С» используется для измерения в области высоких уровней звукового давления. Следует отметить, что в настоящее время имеется фильтр «Д» предназначенный для измерения шума самолета. Однако в большинстве практических областей предпочтение отдается фильтру «А». Затухание, вносимое фильтром «А» в области низких частот, больше, чем затухание, вносимое фильтром «В». В настоящее время фильтр «В» применяется редко, так как на практике было установлено, что уровни звука в дБА дают достаточно удовлетворительное представление о шуме при измерении на судах и других видах.

Таким образом, характеристика А, показывающая уровень звука в дБА (А обозначает автоматическую подстройку слухового органа человека на данную частоту) в основном используют для ориентировочной оценки шума.

Отметим, что шумы подразделяют на постоянные, уровни звука которых за 8-часовой рабочий день изменяются во времени не более чем на 5 дБА. и непостоянные (прерывистые, импульсные и колеблющиеся во времени), для которых это изменение более 5 дБА. Проводят измерения и кратковременных звуков, т.е. звуков длительностью меньше 1 с, которые называются импульсными. Импульсные звуки еще более затрудняют и усложняют оценку субъективной громкости, так как с уменьшением длительности звука также уменьшается чувствительность воспринимающего его слуха.

Измерение шума шумомером «АССИСТЕНТ», методика проведения измерений. Рассмотрев физический смысл основных свойств звука, физических характеристик шума (звука), перед тем как провести измерение, контроль шума на судне, перейдем к рассмотрению основных характеристик и принципа работы прибора измеряемого шум – шумомера.

Для измерения шума используют шумомер. Воспринимаемый шумомером звук преобразуется его микрофоном в пропорциональный электрический сигнал. Так как амплитуда этого сигнала весьма мала, еще до его подачи на современный цифровой индикатор необходимо соответствующее усиление. Усиленный предусмотренным на входе шумомера усилительным каскадом электрический сигнал может подвергаться частотной коррекции в блоке, содержащем стандартные корректирующие схемы. А, В, С и/или D, или фильтрации внешними полосовыми (например, октавными или третьоктавными) фильтрами. Усиленный соответствующим усилительным каскадом электрический сигнал затем подается на блок детектора и от его выхода после преобразования на цифровой индикатор. Цифровой индикатор показывает уровни звука или уровни звукового давления в дБ.

Так как шумомер должен быть прецизионным (высокоточным) измерительным прибором, то в его конструкции предусмотрена возможность повторной калибровки и проверки его параметров с целью обеспечения высокой точности и надежности результатов измерения.

При измерении звука с изменяющимся уровнем нужно, чтобы цифровой индикатор шумомера точно соответствовало этим изменениям. По этой причине международными рекомендациями и стандартами установлены две основные динамические характеристики шумомеров: «быстро» и «медленно». Однако слишком быстрые изменения уровня измеряемого звука могут быть причиной быстрых флуктуаций (колебаний),



т.е. случайных отклонений наблюдаемых физических величин от их средних значений. Поэтому при измерении предпочтительно установит шумомер в режим «медленно» и определить среднее значение цифрового индикатора.

Возможно измерение шумомером кратковременных и импульсных звуков. Измерения соответствия уровней шума в разных местах нахождения людей на судне проводятся согласно требованиям ГОСТ [3, 4], действующим санитарным нормам [5, 6] и резолюции Международной морской организации (ИМО) [7].

Для измерения уровней шума в соответствующих помещениях судна используется профессиональный прибор, соответствующий 1-му классу точности, отвечающий всем требованиям последних нормативных документов в области измерения и анализа параметров шума – «АССИСТЕНТ», серии 2013.

Прибор выполнен в виде малогабаритного устройства с автономным питанием. На верхней торцевой стенке корпуса блока измерительного прибора располагается разъем для подключения пульта управления с микрофоном при работе в качестве шумомера анализатора спектра. Пульт управления соединяется с блоком измерительного прибора кабелем соединительным предусилителя. Внешний вид измерительного прибора с микрофонной стойкой представлен на рис. 3.



Рисунок 3 – Внешний вид измерительного прибора с микрофонной стойкой

Прибор внесен в Реестр средств измерений Украины. Прибор позволяет проводить все виды измерений, предусмотренные проектами готовящихся нормативных документов. Прибор оснащен цветным OLED дисплеем высокого разрешения, обеспечивающий комфортное представление результатов от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$, имеет полный набор программ, flash – диск и кабель для работы с ПК. При входе в выбранный пункт начинается одновременное измерение всех параметров – все частотные коррекции, все временные характеристики (текущие, эквивалентные, пиковые, максимальные и минимальные уровни), октавный и третьоктавный спектры, статистические параметры.

Методика проведения измерений уровней шума должна соответствовать Кодексу по уровням шума на судах [6], согласно которому во время проведения измерений в соответствующем помещении должны находиться только моряки, требуемые для обеспечения работы судна, и лица, проводящие измерения. Замеры уровней звукового давления производятся в децибелах с использованием взвешивающего по характеристике



А фильтра (дБА) и, если необходимо, также в октавных полосах частот в диапазоне 31,5–8 кГц для определения индекса предельного значения ISO шума (NR).

В машинных помещениях (отделениях) измерения проводятся в районе основных рабочих мест, в которых находятся моряки, особое внимание уделяется местам установки телефонов и местам, в которых важное значение имеет ведение переговоров и прослушивание звуковых сигналов. Замеры шума должны производиться, как правило, на расстоянии 1 м от работающих механизмов. Измерения должны производиться как минимум через каждые 3 м вокруг таких источников шума, как: – главные турбины и двигатели на каждом ярусе; – главный редуктор; – турбонагнетатели; – сепараторы; – электрические генераторы; – площадка перед фронтом котла; – дутьевые и/или вытяжные котельные вентиляторы; – компрессоры; – грузовые насосы (включая приводящие их в действие двигатели или турбины).

Шумомер следует держать на расстоянии вытянутой руки или, предпочтительнее, закрепить его на треножке или другой прочной опоре, не нарушающей звуковое поле. Во всяком случае, рекомендуется применение гибкого удлинительного стержня. Еще более совершенным с точки зрения уменьшения ошибок из-за присутствия оператора является крепление микрофона на расстоянии от шумомера и их взаимное соединение соответствующим микрофонным удлинительным кабелем.

Сотрудники и курсанты учебно-научной лаборатории при кафедре управления судном и безопасностью жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии участвуют в проведении контроля шума на судах находящиеся в эксплуатации в порту или в море с моряками на борту, во время стоянки.

Результаты измерений. Приведем результаты измерения шума шумомером «Ассистент», в режиме акустика на временной характеристике «медленно» в машинном отделении пассажирского судна «Генерал Ватутин» рис. 4, находящегося на стоянке в порту г. Херсона, при включенном дизель-генераторе.

Условия, существовавшие во время проведения измерений, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Условия проведения измерений

<i>Осадка носом</i>	2,9 м
<i>Осадка кормой</i>	2,9 м
<i>Глубина под килем</i>	1,4 м
<i>Погодные условия</i>	
<i>Сила ветра</i>	10 м/с (северо-восток)
<i>Количество работающих вспомогательных дизелей</i>	1



Рисунок 4 – Пассажирское судно «Генерал Ватутин»



Результаты измерений приведены в табл. 2. В этой же табл. 2 для сравнения полученных результатов уровней звуковых давлений приведены требуемые нормы указанные в СанПиН 2.5.2.047-96 и ГОСТ 12.1.003-83 в тех же октавных полосах частот.

Таблица 2 – Уровни звукового давления в машинном отделении

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот, Гц									Уровни звука, дБА		
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq	Ls max	Li max
88,5	90,8	89,5	101,6	102,6	100,3	101,7	97,5	92,2	106,9	107,4	110,6
СанПиН 2.5.2.047-96											
115	115	111	106	103	100	98	96	94	105		
ГОСТ 12.1.003-83											
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80		

Максимальное и минимальное значение уровня звукового давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 8 кГц представлены на рис. 5.

Параметр	Значение, дБ	Min, дБ	Max, дБ
31.5 Hz	88,1	86,5	90,1
63 Hz	91,1	89,9	91,7
125 Hz	89,5	89,0	90,0
250 Hz	101,7	101,3	102,1
500 Hz	102,7	102,2	103,0
1000 Hz	100,3	100,0	100,6
2000 Hz	101,2	101,0	102,8
4000 Hz	97,5	97,0	98,1
8000 Hz	92,3	91,8	92,7

Рисунок 5 – Значения давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 8 кГц

По значениям давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 80 кГц построена гистограмма, которая представлена на рис. 6.

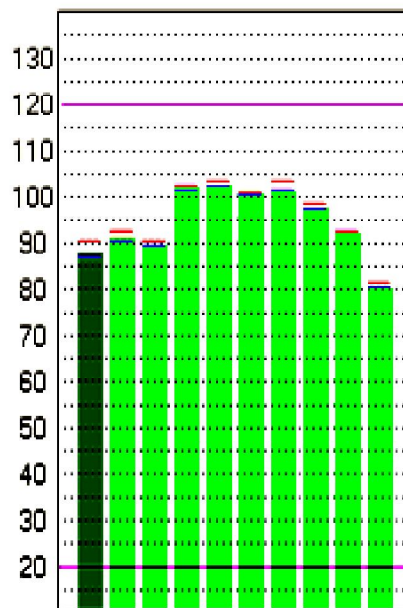


Рисунок 6– Значения давления в номинальных среднегеометрических полосах от 31,5 Гц до 80 кГц

В результате анализа уровней шума установлено, что характер шума, создаваемый дизель-генератором, постоянный, с максимумом излучения в октавной полосе 500 Гц составляет 102,7 дБ.



Кроме измерений звукового давления были проведены замеры уровня шума с частотной характеристикой А и разными временными характеристиками: эквивалентный уровень звука L_{at} , уровень звука с временной характеристикой «медленно» L_{as} , уровень звука с временной характеристикой «быстро» L_{af} , «импульс» L_{ai} значения которых представлены на рис. 7 и 8. На основании рис. 7 построена гистограмма замеров (рис. 8).

Параметр	Значение, дБ	Min, дБ	Max, дБ
L_{Aeq}	106,9	106,3	107,0
L_{As}	106,7	106,5	107,4
L_{Af}	106,5	105,8	108,5
L_{Ai}	107,0	106,6	110,6
L_{Ar}	106,9		
L_{EX}	124,7		

Рисунок 7 – Замеры уровня шума с разными временными характеристиками

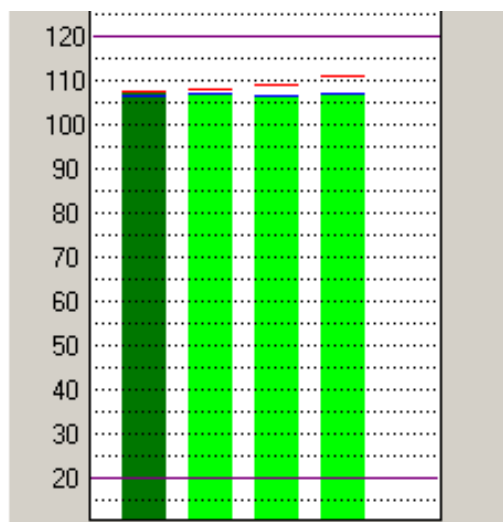


Рисунок 8 – Гистограмма замеров

На гистограмме – графически представлены уровни область значений измеряемых величин звукового давления с частотной характеристикой А и разными временными характеристиками, при Max, дБ. Выделенное на гистограмме специальным цветом область значения, это измеряемая величина эквивалентного уровня звука L_{at} .

Выводы и перспективы использования. В заключении отметим, что проведенные измерения шума в машинном отделении на пассажирском судне «Генерал Ватутин» находящегося на стоянке в порту, при включенном дизель-генераторе показали, что уровни звукового давления, создающиеся дизель-генератором в машинном отделении, превышают требования ГОСТ в октавных полосах от 125 Гц до 8 кГц. Санитарные нормы [5] менее жесткие и превышение норм шума наблюдаются, начиная с октавной полосы 1 кГц до 4 кГц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюль и Кьер. Измерение звука. М. : Брюль и Кьер, 2001. – 33 с.
2. Орлов Г. Г. Охрана труда в строительстве : учеб. для строит. специальностей вузов / Г. Г. Орлов. – М. : Высш. шк., 1984. – 343 с.



3. Шум. Метод контроля на морских и речных судах : ГОСТ 12.1.020-79. – [Действующий с 01.09.1988]. – СССР, 1979/2010. – 8 с.
4. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003-83. – [Действующий с 01.07.1984]. – СССР, 1983. – 10 с.
5. Уровни шума на морских судах : СН 2.5.2.047-96 – [Действующий с 21.02.1996]. – М., 1996. – 10 с.
6. Санитарные нормы шума на морских судах : СанПиН 2498-81 (ДНАОП 003-3.10-81), 1981.
7. Кодекс по уровням шума на судах : Резолюция А.486(ХІІ) ИМО, 1981. – 33 с.

Гусев В.М. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМУ, КОНТРОЛЬ ШУМУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ НА СУДАХ

У роботі показана фізична сторона шуму (звуку), яка характеризується тиском, інтенсивністю звуку, частотою й іншими параметрами. Проведені в режимі акустики на часовій характеристиці «повільно» виміри шуму в машинному відділенні пасажирського судна «Генерал Ватутін», що перебував на стоянці в порту м. Херсона при включеному дизель-генераторі.

Ключові слова: шум, звук, інтенсивність звуку, тиск, рівень шуму (звуку), частотна характеристика, гістограма.

Gusev V. N. PHYSICAL CHARACTERISTICS OF NOISE, THE NOISE CONTROL IN WORKING ZONES ON SHIPS

In work the physical party of noise (sound) which is characterized by pressure, is shown by intensity of a sound, frequency and other parameters are showed. Noise gauging in an engine room of passenger ship «General Vatutin» being on parking in port of Kherson are spent in a mode acoustics on the time characteristic «slowly» at the included diesel engine-generator.

Keywords: noise, a sound, intensity of a sound, pressure, noise level (sound), the frequency characteristic, the histogram.

Статтю прийнято
до редакції 22.11.2013



КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ И НА СУДАХ

Евдокимова В.А., Маслов В.А., Товстокорый О.Н., Подобеда В.В.

Херсонская государственная морская академия

В работе проведены измерения электромагнитного излучения, создаваемого видеодисплейными терминалами в производственной рабочей зоне и в рулевой рубке на пассажирском каботажном судне «Генерал Ватутин». Контроль электромагнитного излучения проведен с помощью прибора, соответствующий 1-му классу – трехкомпонентного ВЕ-метра-АТ-003.

Ключевые слова: напряженность магнитного поля, напряженность электромагнитного поля, трехкомпонентный измеритель.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Электромагнитное загрязнение окружающей среды стало объективной реальностью. Источники электромагнитного поля вошли в повседневную жизнь. Человек подвергается воздействию электромагнитного излучения на работе, в электротранспорте, в быту. Все больше становится источников электромагнитных полей двойного назначения, которые используются и в профессиональной деятельности и в быту. Это персональные компьютеры, мобильные телефоны, электробытовые приборы. Длительное действие электромагнитного излучения (ЭМИ) негативно влияет на нервную систему, вызывает быструю утомляемость, снижение работоспособности, раздражительность, головную боль, ослабление памяти и внимания, что является причиной снижения производительности труда и повышает вероятность возникновения несчастных случаев. Специфические условия труда и быта моряков диктуют повышенные требования к среде их обитания на судах. К числу неблагоприятных факторов судовой среды относятся электромагнитные поля. Потому актуальность обеспечения электромагнитной безопасности на флоте несомненна, а решение задачи защиты экипажа от электромагнитного излучения является решением задачи обеспечения безопасности мореплавания.

Анализ последних исследований и публикаций и выделение нерешенных задач проблемы. На экипаж судов воздействуют электромагнитные поля радиочастотного диапазона, промышленной частоты 50 Гц, постоянные магнитные поля, электромагнитные поля персональных компьютеров, ослабленное и искаженное магнитное поле Земли. Наиболее разработаны вопросы защиты от ЭМИ радиочастотного диапазона. Однако требуют оценки ЭМИ средства морской радиосвязи, навигации и персональных компьютеров нового поколения, установленные на судах в последние годы. Таким образом, дальнейшее изучение действия электромагнитного излучения и усовершенствование способов его устранения, являются актуальной задачей [1].

Формулировка целей статьи. Целью данной работы является контроль электромагнитного излучения видеодисплейных терминалов (ВДТ) в производственной рабочей зоне и на судах с помощью профессионального прибора – ВЕ-метра-АТ-003 и сравнение полученных результатов с нормативными документами.

Изложение материалов исследования. Спектр электромагнитного излучения составляют: радиоволны, инфракрасное излучение, световое излучение, рентгеновское излучение, гамма излучение. Радиоволны представляют собой электромагнитные волны, длина которых в пределах 10^3 - 10^8 м на частоте 10^5 - 10^{11} Гц. Пример радиоволн: радиосвязь, телевидение, радиолокация. Инфракрасное (частота – $3 \cdot 10^{11}$ - $4 \cdot 10^{14}$ Гц, длина волн $8 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-3}$ м), световое, включая ультрафиолетовое (частота – $8 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{15}$ Гц, длина волн $10 \cdot 10^{-8}$ - $4 \cdot 10^{-7}$ м), излучения составляют оптическую область спектра электромагнитных волн. Инфракрасное излучение дают все тела при любой температуре, например человек излучает электромагнитные волны длиной $9 \cdot 10^{-6}$ м, ультрафиолетовое –



излучается всеми твердыми телами, у которых $T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также светящимися парами ртути. Рентгеновское излучение составляют электромагнитные волны с длиной от 50 нм до 10^{-3} нм, гамма излучение составляют электромагнитные волны с длиной волны меньше 10^{-2} нм.

На рис. 1 представлена шкала электромагнитных излучений.

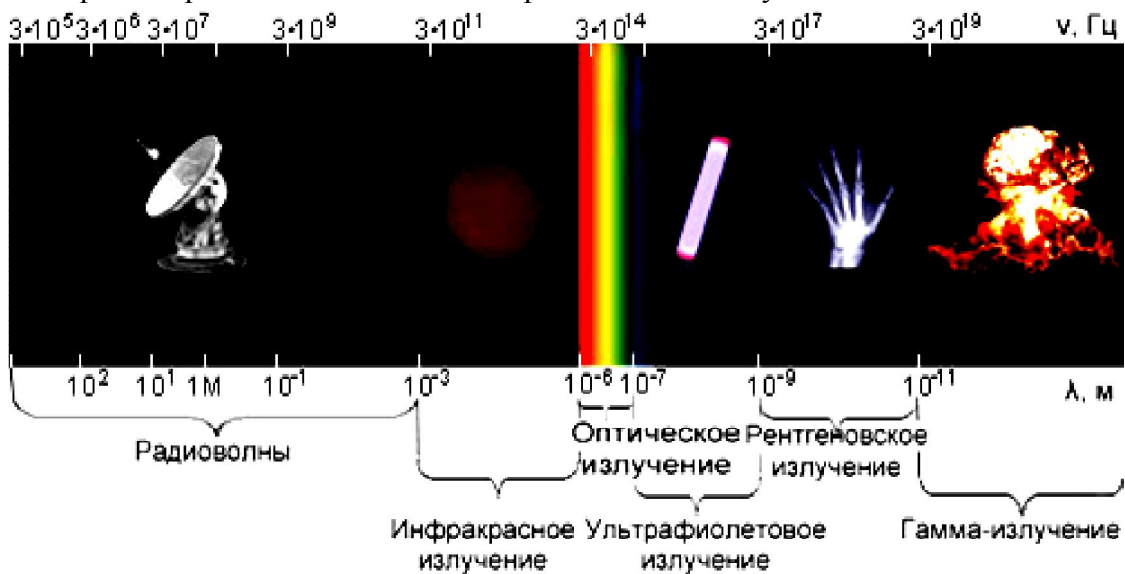


Рисунок 1 – Шкала электромагнитных излучений

В работе проведено измерение параметров электрического и магнитного полей видеодисплейных терминалов. Для проведения измерений используется профессиональный прибор, соответствующий 1-му классу точности, отвечающий всем требованиям последних нормативных документов в области электромагнитной безопасности ВДТ – трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-003.

Прибор выполнен в виде малогабаритного устройства с автономным питанием. На верхней торцевой стенке корпуса блока измерительного прибора располагается разъем для подключения антенного блока.

Внешний вид измерительного прибора представлен на рис. 2. Прибор позволяет проводить измерения среднеквадратических значений напряженности электрического поля и среднеквадратических значений напряженности магнитного поля в диапазоне измерений на частотах от 5 Гц-2 кГц; 50 Гц; 2кГц-400кГц. Прибор на момент проведения измерений имеет действующее свидетельство о государственной поверке.



Рисунок 2 – Внешний вид измерителя ВЕ-метр-АТ-003



Измерения параметров электрического и магнитного полей ВДГ проводятся согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [2].

Измерение уровней переменных и магнитных полей, статических электрических полей на рабочем месте, оборудованном ПЭВМ, производились на расстоянии 50 см от экрана на трех уровнях, на высоте 0,5 м, 1,0 м и 1,5 м. Для оценки электромагнитного излучения руководствовались временными допустимыми уровнями электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах, табл. 1 [2].

Таблица 1 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне 5 Гц – 2кГц	25 В/м
	в диапазоне 2кГц – 400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне 5 Гц – 2кГц	250 нТл
	в диапазоне 2кГц – 400кГц	25 нТл

Для проведения измерений ВЕ-метр-АТ-003 (для примера) было выбрано помещение с расположенными в нем четырьмя компьютерами, три из них стационарные ПЭВМ. Схема точек, в которых проводились измерения параметров электрического и магнитного полей в рабочей зоне помещения представлена на рис. 3.

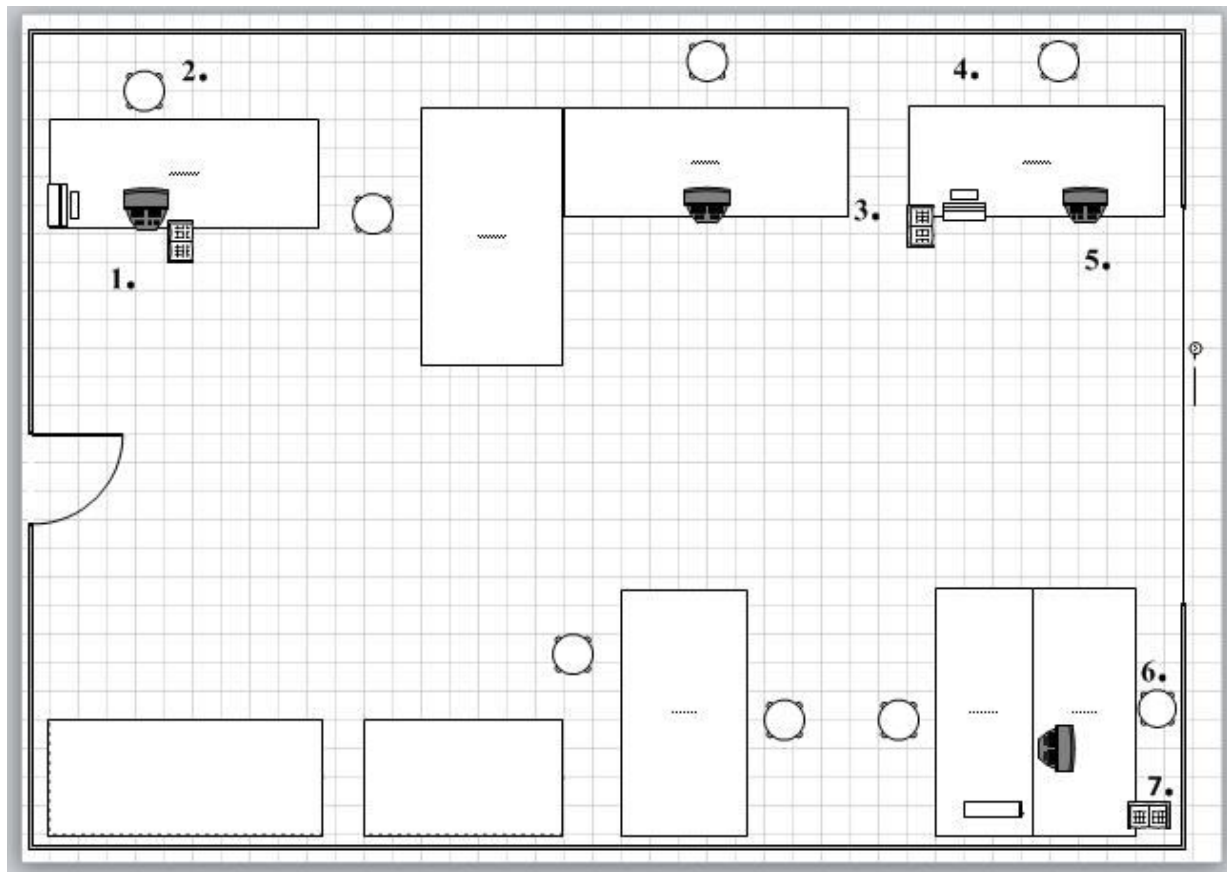


Рисунок 3 – Схема расположения точек измерения

Результаты полученных измерений и предельно допустимые уровни (ПДУ) представлены в табл. 2, где V_{1-50} , E_{1-50} – индукция магнитного и напряженность электрического полей в частотном поддиапазоне от 5Гц-2кГц; V_{II} , E_{II} – индукция магнитного и напряженность электрического полей в частотном поддиапазоне от 2кГц-400кГц.



Таблиця 2 – Результати інструментальних вимірювань параметрів електромагнітного поля (ЕМП) персональних електронно-вчислительних машин (ПЭВМ) на робочем місці

№ зони	Індукція МП	ПДУ	Індукція МП	ПДУ	Напряженість ЕП	ПДУ	Напряженість ЕП	ПДУ
	B_{1-50} , нТл	нТл	B_{II} , нТл	нТл	E_{1-50} , В/м	В/м	E_{II} , В/м	В/м
1	318	250	1,97	2,5	122	25	0,667	2,5
2	290	250	1,89	2,5	146,3	25	0,579	2,5
3	261	250	1,89	2,5	562,1	25	3,28	2,5
4	322	250	1,87	2,5	394,5	25	2,08	2,5
5	244	250	1,77	2,5	76,4	25	0,546	2,5
6	296	250	1,7	2,5	244,9	25	1,24	2,5
7	274	250	1,97	2,5	44,2	25	0,428	2,5

Согласно полученным данным, наблюдается превышение допустимых уровней напряженности магнитного и электрического полей в диапазоне 5Гц-2кГц, в то время как значение напряженности магнитного и электрического полей во втором поддиапазоне от 2кГц-400кГц в пределах нормы, кроме т. 3, где превышение нормы составляет 0,78 В/м.

Кроме иллюстрации проведенного измерения ЭМП в помещении были проведены исследования ЭМП, создаваемого ВДТ в рулевой рубке на пассажирском каботажном судне «Генерал Ватутин» (рис. 4). Параметры магнитного поля определялись в пространстве помещений на расстоянии 0,2 – 2,5 м от источника излучения и на уровне 1,8 м от поверхности палубы. Для измерения электромагнитного поля использовался измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-003.



Рисунок 4 – ВДТ в рулевой рубке на пассажирском каботажном судне «Генерал Ватутин»

Для оценки электромагнитного излучения руководствовались базовыми нормативными документами в области электромагнитной безопасности на судах – санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [3].

Результаты измерений магнитной индукции B и напряженности электрического поля E представлены в табл. 3.



Таблиця 3 – Результати измерений параметров електромагнитного поля ВДТ в рулевой рубке судна

	<i>Измеряемые параметры</i>			
	<i>B₁₋₅₀, нТл</i>	<i>B_Г, нТл</i>	<i>E₁₋₅₀, В/м</i>	<i>E_Г, В/м</i>
Комплекс оборудования	68	2,8	1,2	0,607

Согласно полученным данным, в рулевой рубке наблюдается превышение допустимого уровня напряженности магнитной индукции ВДТ во втором поддиапазоне от 2кГц – 400кГц на 0,3нТл, что свидетельствует о нерациональном размещении ВДТ в непосредственной близости с другими приборами, при этом создаются помехи в работе оборудования и ЭМИ на рабочих местах существенно возрастают.

Выводы и перспективы использования. Проведен контроль электромагнитного излучения видеодисплейных терминалов с помощью трехкомпонентного ВЕ-метра-АТ-003. Согласно проведенных измерений, в рабочей зоне наблюдается превышение допустимых уровней напряженности магнитного и электрического полей в диапазоне 5Гц-2кГц, в то время как значение напряженности магнитного и электрического полей в диапазоне от 2кГц-400кГц в пределах нормы. Проведены исследования электромагнитной обстановки в рулевой рубке судна «Генерал Ватутин». Согласно полученным данным, наблюдается превышение допустимого уровня напряженности магнитной индукции ВДТ во втором поддиапазоне от 2кГц-400кГц на 0,3нТл, что свидетельствует о нерациональном размещении ВДТ в непосредственной близости с другими приборами, при этом создаются помехи в работе оборудования и ЭМИ на рабочих местах существенно возрастают.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимохова Г. Н. Разработка и обеспечение требований электромагнитной безопасности экипажа судов : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук ; спец. 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Г. Н. Тимохова. – Санкт-Петербург, 2005. – 26 с.
2. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы : СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. – [Действующий с 30.06.2003]. – РФ, 2003. – 36 с.
3. Электромагнитные поля в производственных условиях : СанПиН 2.2.4.1191-03 – [Действующий с 01.05.2003]. – РФ, 2003. – 42 с.

Євдокимова В.А., Маслов В.О., Товстокорій О.М., Подобєда В.В. КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ВИРОБНИЧІЙ РОБОЧІЙ ЗОНІ І НА СУДНАХ

У роботі проведені вимірювання електромагнітного випромінювання, що створюється відео-дисплейними терміналами у виробничій робочій зоні і в рульовій рубці на пасажирському каботажному судні «Генерал Ватутін». Контроль електромагнітного випромінювання проведений за допомогою трьохкомпонентного ВЕ-метра-АТ-003.

Ключові слова: напруженість магнітного поля, напруженість електромагнітного поля, трикомпонентний вимірювач.

Ievdokimova V.A., Maslov V.A., Tovstokorii O.N., Podobeda V.V. CONTROL OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN PRODUCTIVE WORK AREA AND ON THE SHIPS

In this article measurements of the electromagnetic radiation produced by means of video display terminals in the production working area and in the wheelhouse in the passenger coaster «General Vatutin» are made. Control of electromagnetic radiation electron-personal computers with the three-meter-BE-AT-003 are made.

Keywords: magnetic field, electromagnetic field, the three-meter.



УДК 536.4:614.841.2:629.123

ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ЧАСТИЦЫ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА

Калинчак В.В.

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,

Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.

Херсонская государственная морская академия

Черненко А.С.

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

В работе рассмотрено влияние поглощенного теплового излучения углеродной частицы на ее критические условия самопроизвольного воспламенения и погасания. Проведен анализ временных зависимостей температуры, диаметра и плотности углеродной частицы при поглощении теплового излучения. Показано, что частицы углерода (сажа) поглощая тепловое излучение сами разогреваются до высокой температуры, что может привести к их устойчивому горению, а попадая, например, в парогазовую смесь легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), могут вызвать ее возгорание. Сравнение со стационарной зависимостью диаметра частицы от температуры частицы позволяет прогнозировать устойчивые режимы горения.

Ключевые слова: тепловое излучение, углеродная частица, поглощение, возгорание, воспламенение, погасание.

Введение. Одной из актуальной проблемой обеспечения пожаровзрывобезопасности в рабочей зоне судна является устранение возможных причин зажигания парогазовых смесей легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) углеродными частицами (частицами сажи), которые находятся при комнатной температуре, в частности накалёнными частицами углерода (частицами сажи). Известно, что частицы сажи поглощая тепловое излучение, например от разогретого металла сами разогреваются до высокой температуры и могут быть очагом пожара, т.е. попадая затем в парогазовую смесь (ЛВЖ), могут вызвать её возгорание.

В данной работе проводится анализ малоизученного вопроса о воспламенении и горении углеродной частицы в результате поглощения теплового излучения в воздухе комнатной температуре.

Целью данной работы является проведение анализа воспламенения, горения самопроизвольного погасания углеродной частицы в результате поглощения теплового излучения в воздухе.

Постановка задачи. Известно, что углеродные частицы в воздухе комнатной температуры нельзя перевести на квазистационарный высокоскоростной режим тепломассообмена. Как отмечалось в [1], в определенных границах исходных параметров системы «частица – газообразная среда» переход на высокоскоростной режим окисления достигается путем увеличения концентрации окислителя и начальной температуры частицы выше критического значения.

При окислении пористой углеродной частицы в сухом воздухе протекают преимущественно параллельные экзотермические гетерогенные реакции с кислородом воздуха: $C + O_2 = CO_2$ {1}; $2C + O_2 = 2CO$ {2}.

Анализ экспериментальных данных по реагированию углерода с кислородом [2] показал, что энергии активации и предэкспоненциальные множителя для реакций {1} и {2} можно записать как:

$$k_{0i} = k_* \exp(E_i/RT_*), \quad E_2 = 1,1E_1, \quad (1)$$

где $k_* = 100$ м/с и $T_* = 2600$ К.



В результате реакций {1} и {2} происходит уменьшение со временем диаметра d за счет поверхностных реакций и плотности ρ_C пористой частицы и за счет реагирования внутри пор, согласно уравнениям [1]:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = -\frac{2M_C}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{\rho_{gs}}{\rho_C}C_{O_2s}; \quad d(t=0) = d_b, \quad (2)$$

$$\frac{1}{6}d\frac{\partial \rho_C}{\partial t} = -\frac{M_C}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{k_v}{k_1 + k_2}\rho_{gs}C_{O_2s}; \quad \rho_C(t=0) = \rho_{Cb} \quad (3)$$

$$k_v = \frac{2D_v}{d}(Se_v cth Se_v - 1), \quad Se_v = \sqrt{\frac{F_v d^2(k_1 + k_2)}{4D_v}}, \quad \rho_{gs} = \rho_{g0} \frac{T_0}{T},$$

$$k_1 = k_{01} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad k_2 = k_{02} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right),$$

где k_1, k_2 – константы химических реакций {1} и {2}, м/с; k_v – константа внутреннего реагирования, м/с; C_{O_2s} – относительная массовая концентрация кислорода на поверхности частицы; D_v – коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пор, м²/с; F_v – удельная поверхность пор, м⁻¹; Se_v – число Семенова, определяющее относительную роль химического реагирования на поверхности пор к массопереносу кислорода внутри пор частицы; ρ_{gs} – плотность газа у поверхности частицы, кг/м³; d_b – начальный диаметр частицы, м; ρ_{Cb} – начальная плотность частицы.

Изменение средней по всему объему температуры пористой углеродной частицы определяется тепловыделением в результате протекания химических реакций q_{ch} , теплообменом частицы с газом q_g и стенками реакционной установки q_w и поглощённым тепловым излучением $q_{h,ads}$:

$$\frac{c_C \rho_C d}{6} \frac{\partial T}{\partial t} = q_{eff}, \quad T(t=0) = T_b, \quad (4)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_g - q_w + q_{h,ads},$$

где c_C – удельная теплоёмкость частицы; T_b – начальная температура частицы.

Плотность химического тепловыделения q_{ch} в результате поверхностного и внутреннего реагирования определяется тепловыми эффектами и скоростями химических реакций на поверхности и в объеме частицы:

$$q_{ch} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right) \rho_{gs} C_{O_2s},$$

где Q_1, Q_2 – тепловые эффекты химических реакций {1} и {2}, рассчитанные на единицу массы кислорода, Дж/кгО₂.

Плотность поглощенного теплового излучения определяется интенсивностью излучения I , коэффициентом поглощения K_α :



$$q_{h,ads} = \frac{1}{4} K_{\alpha} I,$$

где множитель $1/4$ является отношение площади миделевого сечения к общей поверхности частицы.

Плотность теплообмена излучением частицы со стенками q_w описывается законами Кирхгофа и Стефана-Больцмана:

$$q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4),$$

где ε – коэффициент черноты частицы; T_w – температура стенок, К.

Теплообмен газа с нагретой поверхностью частицы происходит за счет теплопроводности, естественной и вынужденной конвекции и стефановского течения, что учитывается приведенной пленкой:

$$q_g = \alpha(T - T_g) + U_s \rho_{gs} c_g T_*,$$

$$\alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d}, \lambda_g = \lambda_{g0} \left(\frac{T}{T_0} \right)^n, T_* = \frac{T + T_g}{2}, Nu = 2 + 0,16 Re^{2/3}.$$

Здесь T_g – температура окружающего газа, К; α – коэффициент теплообмена частицы с газом, Вт/(м²·К); λ_g – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К); Nu – число Нуссельта, U_s – скорость стефановского течения вблизи поверхности частицы, м/с.

Стефановское течение увеличивает теплоотдачу частицы за счет появления дополнительных масс газов и определяется скоростью химического превращения углерода W_C :

$$U_s \rho_{gs} = W_C = \frac{M_C}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left(\frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) \rho_{gs} C_{O_{2s}}.$$

В тоже время, стефановское течение для случая окисления углеродной частицы ухудшает массоперенос кислорода к поверхности частицы, где концентрация кислорода приближенно определяется согласно выражению [3]:

$$C_{O_{2s}} = C_{O_{2\infty}} \frac{1}{1 + Se}, \quad (5)$$

$$Se_{s1} = \frac{k_1 \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, Se_{s2} = \frac{k_2 \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, Se_{sv} = \frac{k_v \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, Se_{sf} = \frac{U_{sk} \rho_{gs}}{\beta \rho_g};$$

$$U_{sk} = \frac{M_C}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left(\frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) C_{O_{2\infty}}, \beta = \frac{D_g Nu}{d} = \frac{\alpha}{\rho_g c_g}, D_g = a_g,$$

$$a_g = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g}, c_g = c_{g0} + \Omega(T_* - T_0), \rho_g = \rho_{g0} \frac{T_0}{T_*}.$$

Здесь U_{sk} – скорость стефановского течения на поверхности углеродной частицы при протекании химических реакций в кинетической области; $C_{O_{2\infty}}$ – относительная массовая концентрация кислорода в газе на удалении от частицы; β – коэффициент



массопереноса кислорода в газе, м/с; c_g , ρ_g – удельная теплоемкость и плотность газа внутри приведенной пленки.

Числа Семенова Se_{s1} , Se_{s2} , Se_{sv} , Se_{sf} определяют роль k_1 , k_2 , k_v , U_{sk} по отношению к коэффициенту массопереноса окислителя к поверхности частицы.

Концентрации углекислого и угарного газов у поверхности частицы $Z_{CO_2,s}$ и $Z_{CO,s}$, соответственно, определяются через концентрацию кислорода [5]:

$$Z_{CO_2,s} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} k_1 \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \left(\frac{1}{\beta + U_{s0}} \right) Z_{O_2,s}, \quad (6)$$

$$Z_{CO,s} = \frac{2M_{CO}}{M_{O_2}} \frac{k_2}{(\beta + U_{s0})} \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) Z_{O_2,s}. \quad (7)$$

Для случая горизонтального движения углеродной частицы в газовой смеси изменение ее скорости определяется:

$$\frac{dU}{dt} = -18 \frac{\rho_g}{\rho} \frac{v_g^2}{d^3} \operatorname{Re} \left(1 + \frac{\operatorname{Re}^{2/3}}{6} \right), \quad U(t=0) = U_b, \quad (8)$$

где v_g – кинематическая вязкость газа.

Анализ влияния мощности поглощенного теплового излучения. Рассмотрим одиночную пористую углеродную частицу, которая поглощает лазерное излучение. Расчеты, для примера, проводились для частицы сажи при следующих параметрах: $Q_1 = 12,343$ МДж/кг O_2 , $Q_2 = 6,844$ МДж/кг O_2 ; $E_1 = 167000$ Дж/моль [2]; $D_v = 7,5 \cdot 10^{-8}$ м 2 /с [4], $F_v = 2 \cdot 10^5$ м $^{-1}$. Постоянные: $\rho_{g0} = 0,277$ кг/м 3 ; $\lambda_{g0} = 8,19 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); $C_{g0} = 1110$ Дж/(кг·К); $T_0 = 1273$ К; $C_c = 780$ Дж/(кг·К); $\rho_{cb} = 525$ кг/м 3 ; $U_b = 0$ м/с; $\rho_{g0} = 0,277$; $\varepsilon = 0,78$; $n = 0,75$; $\rho_{g0} = 0,277$; $K_\alpha = 0,35$. Используя (1), было получено $E_2 = 183700$ Дж/моль, $k_{01} = 22,7 \cdot 10^4$ м/с, $k_{02} = 49,3 \cdot 10^4$ м/с.

На рис. 1 представлены результаты решения системы (2) – (4), (8) в виде временных зависимостей температуры, диаметра, временной производной температуры и плотности пористой частицы при разных ее начальных температурах для случая ее вынужденного воспламенения при поглощении теплового излучения, использованы параметры: $d_b = 190$ мкм, $T_g = T_w = 293$ К, $C_{0_2\infty} = 0,23$, $U_b = 0$ м/с, $T_b = 293$ К.

1) $q_{h,ads} = 0,2 \cdot 10^6$ Вт/м 2 , 2) $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6$ Вт/м 2 . о – эксперимент Букатого и Суторихина [5].

Анализ показал, что углеродная частица в воздухе комнатной температуры (рис. 1, кривая 1) самопроизвольно не может перейти на высокотемпературные режимы окисления. Для возникновения горения необходимо направить на частицу излучение с интенсивностью выше некоторого критического значения (рис. 1, кривые 2).

Период индукции t_{ind} и время начала горения определялось условием:

$$\frac{c_c \rho_c d}{6q_{ch}} \frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{t=t_{ind}} = 1 - \frac{q_g + q_w}{q_{ch}} = 0.05.$$

Выбор этого условия за окончание периода индукции обусловлено достижением температуры частицы значения достаточно близкого к стационарному для текущего диаметра. Это согласуется с экспериментальным нахождением начала горения по моменту достижения постоянной яркости частицы [6]. Для рассматриваемого случая поглощения



теплогового излучения этот момент совпадает с максимальной температурой горения углеродной частицы (точка m).

Уменьшение диаметра и плотности частицы в процессе горения приводит к медленному падению квазистационарной температуры горения. С уменьшением диаметра углеродной частицы возрастает молекулярно-конвективный теплообмен единицы поверхности за счет увеличения коэффициента теплообмена. И в этом случае химическое тепловыделение за счет увеличения коэффициента массопереноса кислорода к единице поверхности частицы возрастает в меньшей степени.

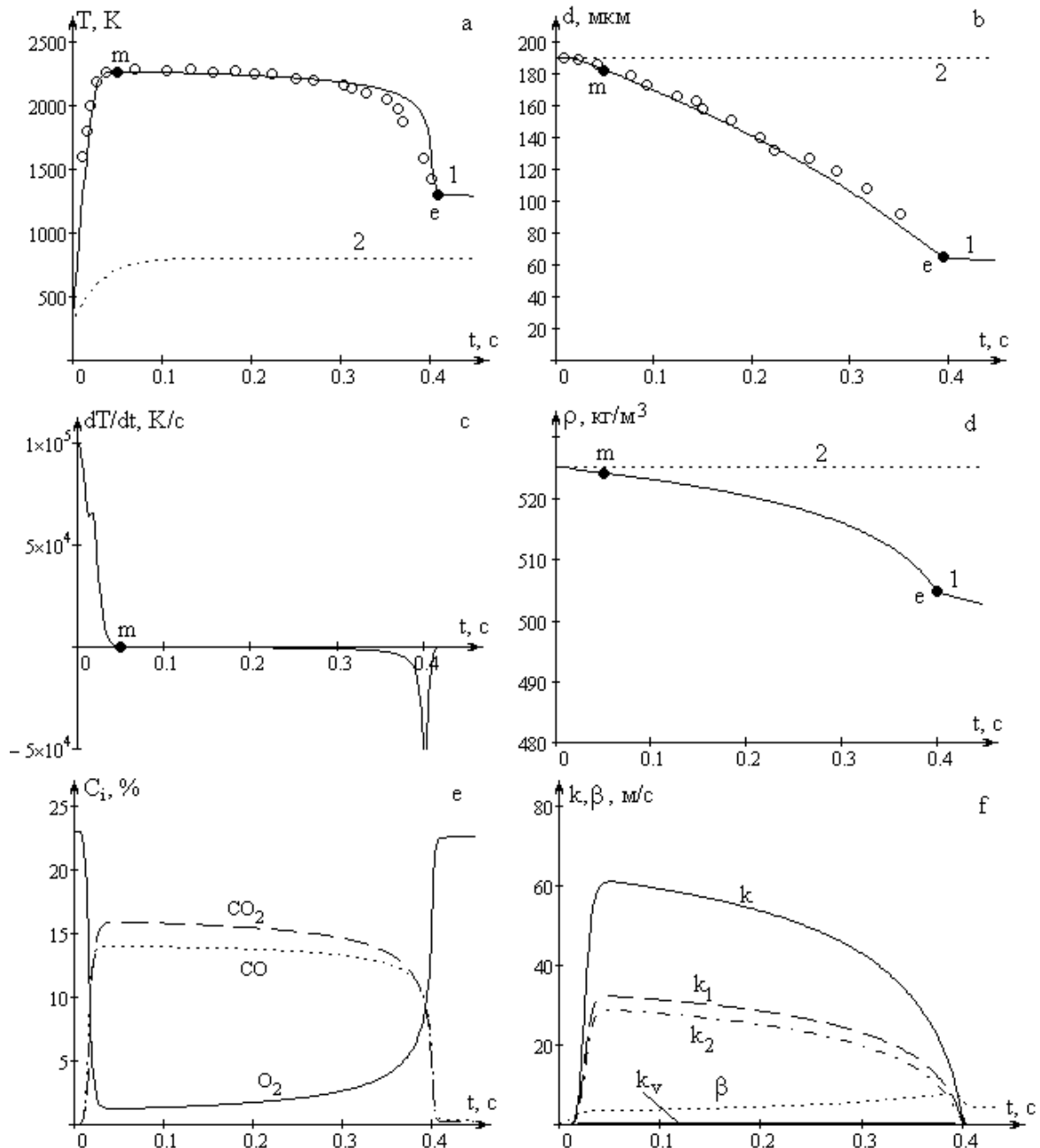


Рисунок 1 – Временные зависимости: а) температуры, б) диаметра сажиистой частицы, в) временной производной температуры, д) плотности частицы, е) концентраций газообразных компонентов, ф) констант химических реакций

При достижении критических значений d_e и ρ_e резко уменьшалась температура частицы, и пористая углеродная частица самопроизвольно погасала. Длительность стадии от начала квазистационарного высокотемпературного окисления (точка m) до момента



самопроизвольного погасания (т.е, минимум на временной производной температуры определяется как:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_e < 0, \quad \left. \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \right|_e = 0, \quad \left. \frac{\partial^3 T}{\partial t^3} \right|_e > 0,$$

время горения t_{bur} .

Времена горения частиц с диаметром более 100 мкм превышают характерные времена зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ.

На стадии горения общее число Семенова монотонно уменьшается. Самопроизвольное погасание частицы происходит практически в кинетическом режиме ($Se < 0,25$, рис. 1f). При полученных высоких температурах образование оксида CO и диоксида CO₂ углерода на поверхности частицы идет с соизмеримыми скоростями (рис. 1e).

Из-за относительно малого вклада в общее тепловыделение реагирования внутри пор частицы при высоких температурах, температура горения пористой частицы слабо зависит от пористости частицы. Общее тепловыделение на поверхности частицы в режиме высокотемпературного окисления более чем в 8 раз превышает тепловыделение внутри частицы. Дополнительное исследование временных зависимостей (рис. 1) показало, что число Семенова Se_v на протяжении всего процесса изменяется от 10⁴ до 10 (при $F_v = 2 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$). Это позволяет представить константу внутреннего реагирования k_v в виде:

$$k_v \approx \sqrt{F_v D_v (k_1 + k_2)},$$

что означает независимость ее от размера частицы.

В этом случае из условия стационарности $q_{eff} = 0$, которое можно представить в виде:

$$\begin{aligned} & (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) C_{O_2 \infty} \rho_{gs} \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) (1 + Se)^{-1} = \\ & = \frac{1}{Se} (k_1 + k_2 + k_v + U_{sk}) \rho_{gs} c_g (T - T_g) + \frac{1}{2} U_s c_g \rho_{gs} (T + T_g) (1 + Se)^{-1} + q_w - q_{h,abs}. \end{aligned}$$

Нетрудно получить зависимость диаметра частицы углерода от ее стационарной температуры, описывающую критические и устойчивые режимы тепломассообмена, в виде зависимостей (рис. 2):

$$d = \frac{\lambda_g Nu}{q_{ch,m}} \cdot \frac{T - T_g}{\left(A^2 + \sqrt{A^2 - A_g A_w} \right)}, \quad (9)$$

$$q_{ch,m} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} C_{O_2 \infty}, \quad A_g = \frac{c_g \rho_{gs} (k_1 + k_2 + k_v) (T - T_g)}{q_{ch,m}},$$

$$A_w = \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) - \frac{1}{4} K_\alpha I}{q_{ch,m}}, \quad A_{st} = \frac{1}{2} \frac{U_{sk} \rho_{gs} c_g (T + T_g)}{q_{ch,m}}, \quad A = \frac{1}{2} (1 - A_g - A_w - A_{st}).$$

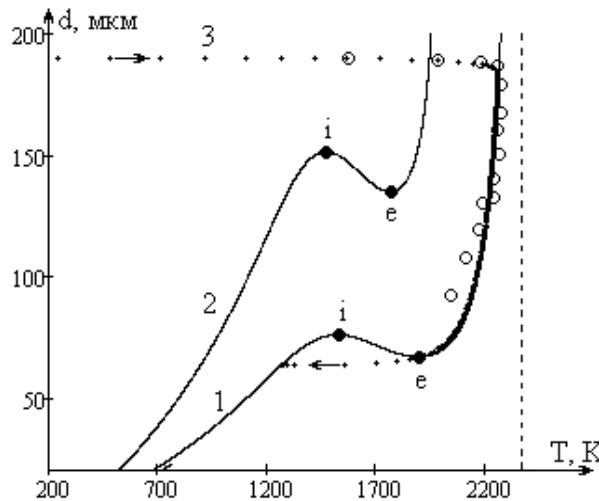


Рисунок 2 – Стационарные температурные зависимости диаметра частицы в воздухе комнатной температуры $T_g = T_w = 293\text{ K}$, $C_{0, \infty} = 0,23$ при мощности поглощенного теплового излучения:

1 – стационарная зависимость (6), $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$, 2 – стационарная зависимость (6), $q_{h,ads} = 0,7 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$, 3 – нестационарная зависимость при $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2$ (см. рис. 1); о – эксперимент Букатого и Суторихина [5], $I = 1,6 \cdot 10^7\text{ Вт/м}^2$, $K_\alpha = 0,35$

Величины A_g , A_w и A_{st} определяют роль различных механизмов теплообмена частицы с окружающими телами (теплообмен с окружающим газом молекулярно-конвективным путем, теплообмен излучением со стенками и теплообмен за счет стефановского течения) по отношению к химическому тепловыделению.

Критические параметры, характеризующие самопроизвольные переходы с низкотемпературных на высокотемпературные режимы тепломассообмена (точки *i* и *e*), определяются системой:

$$\begin{cases} q_{eff} = 0 \\ \frac{\partial q_{eff}}{\partial T} = 0 \end{cases}$$

Изменение диаметра частицы в стационарном состоянии приводит к изменению ее стационарной температуры. Для сохранения условия стационарности необходимо, чтобы выполнялось равенство:

$$\frac{\partial q_{eff}}{\partial T} \partial T + \frac{\partial q_{eff}}{\partial d} \partial d = 0 \text{ или } \frac{\partial d}{\partial T} = - \frac{\partial q_{eff} / \partial T}{\partial q_{eff} / \partial d}$$

То есть в критических точках самовоспламенения и погасания $\partial d / \partial T|_{i,e} = 0$. Это дает возможность при изучении критических переходов на высокотемпературные режимы окисления анализировать условия потери стационарности путем исследования зависимости диаметра частицы от ее стационарной температуры.

Сравнение нестационарных и стационарных зависимостей диаметра частицы от ее температуры (рис. 2) дает возможность для заданной интенсивности теплового излучения объяснить и определить критическое значение диаметра при самопроизвольном воспламенении и погасании частицы по зависимостям (9). Самовоспламенение углеродной частицы при данных условиях возможно при диаметре частицы $d > d_i$. Диаметр в точке *e* на стационарной зависимости (9) может служить для оценки диаметра частицы при ее самопроизвольном погасании.



Уменьшение мощности поглощенного излучения существенно отражается на температурах горения. Так ее уменьшение в два раза понижает температуру горения около 300 К. Понижается и температура низкотемпературного окисления (часть зависимости левее точки i). При этом происходит возрастание и минимального размера частицы, которая может самопроизвольно воспламениться, а также диаметра погасания. Различие между ними с уменьшением поглощенного излучения уменьшается. В итоге при некотором значении $q_{h,ads}$ происходит вырождение критических условий.

Влияние концентрации кислорода на критические условия самовоспламенения удобно определить, проанализировав зависимость концентрации кислорода от стационарной температуры (рис. 3), полученной из (4):

$$C_{O_2} = \frac{(\beta \rho_{gs} c_g (T - T_g) + q_w - q_{h,abs})(1 + Se)}{\left(Q_1 k_1 + Q_2 k_2 - \frac{M_c}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) c_g T^* \right) \rho_{gs} \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right)}$$

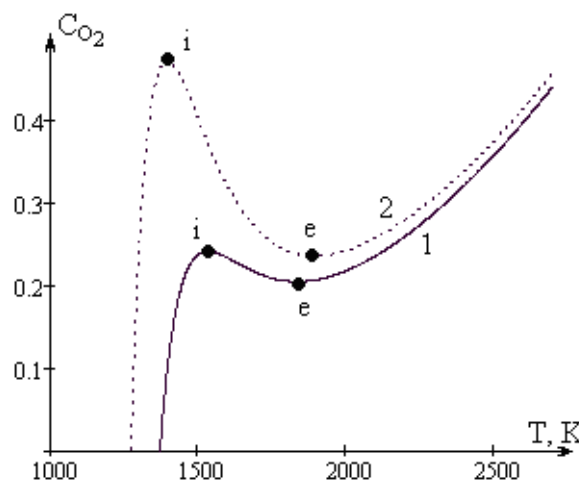


Рисунок 3 – Стационарные температурные зависимости концентрации кислорода в газе комнатной температуры $T_g = T_w = 293$ К для частицы диаметром 76 мкм при мощности поглощенного теплового излучения: 1) $q_{h,ads} = 1,4 \cdot 10^6$ Вт/м², 2) $q_{h,ads} = 1,2 \cdot 10^6$ Вт/м²

Аналогично, как и на зависимости диаметра частицы от ее температуры, критические условия самовоспламенения и погасания соответствуют экстремумам на данной зависимости (рис. 3) условиями:

$$\left. \frac{\partial C_{O_2}}{\partial T} \right|_{i,e} = 0.$$

Стоит отметить сильную зависимость критического значения концентрации кислорода от мощности поглощенного излучения.

Выводы. Поглощение теплового излучения способно привести к устойчивому горению углеродной частицы достаточно длительное время, на протяжении которого возможно возникновение зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ. Показана возможность использования стационарных зависимостей диаметра частицы и концентрации кислорода от температуры частицы для прогнозирования устойчивых режимов горения, а также критических условий самопроизвольного воспламенения и погасания углеродных частиц. Превышение времен горения углеродных частиц при поглощении ей теплового излучения над временами зажигания паровоздушных смесей ЛВЖ, говорит о их высокой пожарной опасности. Поэтому необходимы дальнейшие исследования критических условий самовоспламенения таких частиц.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин В. В. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры / В. В. Калинин, А. С. Черненко // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 2. – С. 80-88.
2. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / под ред. В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отд-ние, 1986. – 312 с.
3. Калинин В. В. Влияние температуры и диаметра пористых углеродных частиц на кинетику химических реакций и тепломассообмен с воздухом / В. В. Калинин, О. Н. Зуй, С. Г. Орловская // Теплофизика высоких температур. – 2005. – Т. 43, № 5. – С. 780-788.
4. Курятников В. В. Роль поверхностных свойств диспергированного угля в процессах его воспламенения / В. В. Курятников // Физика горения и взрыва. – 1983. – Т.19, № 5. – С. 18-21.
5. Букатый В. И. Высокотемпературное горение углеродных частиц в поле интенсивного лазерного излучения / В. И. Букатый, И. А. Суторихин // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 3. – С. 9-11.
6. Бабий В. И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В. И. Бабий, Ю. Ф. Куваев. – М., 1986. – 289 с.

Калинчак В.В., Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Черненко А.С. ВПЛИВ ПОГЛИНЕНОГО ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ ЧАСТКИ НА ПОЖЕЖНУ НЕБЕЗПЕКУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ СУДНА

У роботі розглянутий вплив поглиненого теплового випромінювання вуглецевої частки на її критичні умови мимовільного займання й загасання. Проведений аналіз тимчасових залежностей температури, діаметра й щільності вуглецевої частки при поглинанні теплового випромінювання. Показано, що частки вуглецю (сажа) поглинаючи теплове випромінювання самі розігріваються до високої температури, що може привести до їхнього стійкого горіння, а потрапляючи, наприклад, у парогазову суміш легкозаймистої рідини, можуть викликати її загорання. Порівняння зі стаціонарною залежністю діаметра частки від температури частки дозволяє прогнозувати стійкі режими горіння.

Ключові слова: теплове випромінювання, вуглецева частка, поглинання, загорання, займання, загасання.

Kalinchak V.V., Selivanov S.E., Trigub S.N., Chernenko A.S. INFLUENCE OF THE CARBON PARTICLE ABSORBED THERMAL RADIATION TO THE FIRE EMERGENCY IN THE SHIP'S WORKING AREA

This work considers influence of the carbon particle absorbed thermal radiation on its critical self-ignition and self-quenching conditions. The analysis of the temperature time dependency, diameter and carbon particle density at absorption of thermal radiation was held. It is proved that carbon particles (soot) at absorption of thermal radiation heat up by themselves to the high temperatures which can lead to their steady combustion. When, for instance, carbon particles get into steam-gas mixture of highly inflammable liquid (HIL) an ignition can occur. Comparison with the particle diameter time-independent behavior from particle temperature allows making predictions of burning steady modes.

Keywords: thermal radiation, carbon particle, absorption, ignition, combustion, quenching.

Статтю прийнято
до редакції 22.11.2013



ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИЗ ПЕНОСТЕКЛА

*Короленко А.В., Букетов А.В., Малыгин Б.В., Борисенко Е.И.
Херсонская государственная морская академия*

В работе проведены исследования о возможности экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла; дана общая характеристика электромагнитного излучения, приведены наиболее интенсивные источники низкочастотного, высокочастотного и сверхвысокочастотного электромагнитного поля на судах; рассмотрены получение и физические свойства пеностекла; для исследования экранирующих свойств пеностекла и его физических характеристик использовали генераторы Г4-201, R&S SMR60; определены коэффициенты отражения пеностекла анализатором спектра С4-98; построены графики изменений значений коэффициента стоячих волн в зависимости от модуля коэффициента отражения; показана возможность экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, рабочая зона, электронная техника, защитный экран, пеностекло.

Введение. Электромагнитное излучение, вид энергии, существующий в форме волн широкого диапазона частот. Примерами электромагнитного излучения являются видимый свет, радиоволны, рентгеновские и жесткое гамма-излучение, инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Электромагнитные волны создаются за счет электрических и магнитных вибраций, возникающих в атомах. Эти волны образуют особый электромагнитный спектр и как любые волны подвергаются отражению, рефракции, интерференции, дифракции, а также поляризации. Однако, помимо волновой природы, электромагнитное излучение имеет также квантовую природу, и некоторые его свойства, например, поглощение или испускание света, объясняются только через понятие кванта (фотона). Свойства электромагнитных волн различны. И зависят эти свойства от длины волны излучения. Чем больше длина волны, тем меньше частота излучения. Поэтому то, что принято называть «длинноволновым», называют иногда и «низкочастотным». Это одно и то же. Третьим синонимом служит показатель энергии. Чем выше частота излучения, тем больше его энергия. С повышением энергии связано вредное влияние излучения на живые организмы. Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человеком (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности. Электромагнитное излучение увидеть невозможно, а представить не каждому под силу, и потому нормальный человек его почти не опасается. По тяжести влияния электромагнитное излучение может не восприниматься человеком вообще или же привести к полному истощению с функциональным изменением деятельности мозга и смертельному исходу. Исследования показали, что продолжительное влияние электромагнитного излучения, даже относительно слабого уровня, может вызвать раковые заболевания, потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, импотенцию и даже повысить склонность к самоубийству.

Электромагнитные излучения являются одним из распространенных неблагоприятных факторов судовой среды. Наиболее интенсивными источниками низкочастотного электромагнитного поля на судах являются элементы судовой электросети: кабели, силовые щиты и мощные распределительные и регулирующие устройства. Уровень электромагнитного поля, создаваемого такими устройствами, определяется амплитудой токов, протекающих в электрических цепях, а потребляемые токи определяются нагрузкой, которая изменяется в процессе эксплуатации судна.



В рулевой и штурманской рубке условия труда характеризуются воздействием электромагнитного поля. Судоводители от 5 до 15 % рабочего времени работают с радиолокационными станциями, являющимися источником высокочастотных и сверхвысокочастотных излучений. Таким образом, на экипаж судов воздействуют электромагнитные излучения радиочастотного диапазона, промышленной частоты 50 Гц, постоянные магнитные поля, электромагнитные поля бортовых компьютеров, ослабленное и искаженное магнитное поле Земли.

Актуальность исследования. Определение основных судовых источников электрических и магнитных полей частотой 50 Гц, исследование их воздействия на членов экипажа в условиях морского плавания, поиск эффективных методов, способов и средств оценки этого воздействия, создание надёжной защиты является для морских судов актуальной научно-технической задачей, требующей тщательного изучения и выработки оптимального решения. Особенную важность эта проблема приобрела на морских судах, поскольку члены экипажей постоянно в течение многомесечных рейсов подвергаются интенсивному воздействию электромагнитных полей электрического, электронного и радионавигационного комплекующего оборудования. К тому же, об актуальности проведения работ, направленных, в конечном счёте, на создание и обеспечение безопасной электромагнитной обстановки на борту судна, свидетельствуют материалы Международного Кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ).

Целью работы является проведение исследований о возможности экранирования электромагнитных излучений от электронной техники обслуживающего персонала на судне экраном из пеностекла.

Изложение материала. Одним из способов создания благоприятной электромагнитной обстановки объекта является экранирование электромагнитных волн. Экранирование – это локализация электромагнитной энергии в пределах определенного пространства путем преграждения ее распространения. Применение качественных экранов позволяет решать задачи персонала от повышенного уровня электромагнитных полей и обеспечение благоприятной экологической обстановки вокруг работающих электроустановок и других устройств. Под экранированием в общем случае понимается как защита приборов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. В любом случае, эффективность экранирования – это степень ослабления составляющих поля (электрической или магнитной), определяемая как отношение действующих значений напряженности полей в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана.

Для защиты от полей электромагнитного излучения многие исследователи предлагают изготавливать экраны из различных материалов.

Различных материалов сегодня выпускают столько, что, кажется, невозможно придумать что-то новое. Новинкой становится разве что хорошо забытое старое. Так произошло и с пеностеклом – уникальным и универсальным материалом.

В последнее время многие авторы отмечают наиболее перспективную защиту от электромагнитных полей веществами, которым при получении в их структуре с определенной периодичностью задают различные диэлектрические проницаемости [1, 2]. К периодическим структурам относятся также и пеноматериалы на основе пеностекла с упорядоченной структурой расположения пор.

Пеностекла, используемые для защиты от полей электромагнитного излучения, привлекают к себе и возможностью защиты от широкого диапазона частот электромагнитного излучения от низкого до сверхвысокочастотного, устойчивостью к природным условиям, а также установлением необходимых форм и размеров при получении.



Чтобы понять почему выбрано пеностекло, рассмотрим производство пеностекла, его структуру и физические свойства.

В настоящее время основной технологией производства пеностекла является так называемая «порошковая»: тонкоизмельчённое силикатное стекло (частицы 2-10 мкм) смешивается с газообразователем (обычно – углеродом), получившаяся однородная механическая смесь (шихта) в формах, либо на конвейерной ленте поступает в специальную туннельную печь. В результате нагрева до 800-900 °С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных CO_2 и CO , которые и вспенивают стекломассу. Механизм реакции газо- и пенообразования достаточно сложен и не ограничивается только реакцией окисления углерода кислородом воздуха, более важную роль играют окислительно-восстановительные процессы взаимодействия углерода с компонентами размягчённого стекла. Применяют с этой целью отходы обычного стекла или легко спекающиеся горные породы с повышенным содержанием щелочей – трахит, сиенит, нефелин, обсидиан, вулканический туф. В качестве газообразователей применяют каменноугольный кокс, антрацит, известняк, мрамор. Углеродсодержащие газообразователи создают в пеностекле замкнутые поры, а карбонаты – сообщающиеся [3]. Вспенивание так называемого «жидкого стекла» происходит при температурах около 100-200 °С в результате бурного удаления воды из становящегося вязким раствором. Продукт вспенивания растворимого стекла абсолютно не стоек к действию даже холодной воды, в отличие от пеностекла, химическая стойкость которого сопоставима с исходным листовым или тарным стеклом.

Пеностекло выпускают в форме блоков, плит и гранул. Плотность пеностекла – 110-200 кг/м³. Сорбционная влажность пеностекла – 0,2-0,5 %. Теплопроводность пеностекла – 0,04-0,08 Вт/(м·К) (при +10 °С) Паропроницаемость пеностекла – 0-0,005 мг/(м.ч.Па). Предел прочности на сжатие – 0,7-4 МПа. Предел прочности на изгиб – 0,4-0,6 МПа. Температура начала деформации пеностекла – 450 °С. Водопоглощение пеностекла 0-5 % от объёма. Эффективный диапазон температур: от –260 °С до + 500 °С [4].

По химической структуре пеностекло – аморфное тело, вспененное силикатное стекло, расплав высших оксидов кремния, кальция, натрия, алюминия и магния. Никаких других химических веществ или органических соединений в нем нет. А высшие оксиды, как известно, особо устойчивы к химически и биологически активным (агрессивным) средам.

В зависимости от рецептуры и технологии изготовления пеностекло может иметь закрыто- или открытопористую структуру, применяться в качестве теплоизоляторов.

Наряду с отличными теплоизоляционными свойствами и полной экологической и гигиенической безопасностью, пеностекло имеет высокую прочность, безусадочность, низкую плотность, долговечность, высокую морозостойкость и негорючесть, удобство обработки и простота монтажа, способность сохранять эти показатели на протяжении длительного времени постоянными. Материал стоек ко всем обычно применяемым кислотам и их парам, не пропускает воду и водяной пар, не поддерживает горения, не выделяет дыма и токсичных веществ.

Таким образом, пеностекло (вспененное стекло, ячеистое стекло) представляет собой вспененную стекломассу.

Основными параметрами пеностекла, которые влияют на защиту от воздействия полей электромагнитных излучений, являются: диэлектрические проницаемости стекла и содержимого пор, пористость системы, диаметр пор. Все указанные параметры – регулируемые и прогнозируемые при синтезе пеностекла.

Во многих исследованиях отмечалось влияние толщины пеностекла на поглощение полей, а исследований по распространению полей электромагнитных излучений практически не отмечено.



Стекло и поры в пеностекле образуют границы переходов для полей электромагнитных излучений: «стекло-пора» и «пора-стекло». Особо важным в исследовании является граница «стекло-пора», имеющая сферическую поверхность. На такой поверхности создаются углы падения на пору от 0 до 90° и соответственно, возможно проявление эффекта полного внутреннего отражения. Поэтому, на границе раздела «стекло-пора» всегда будут существовать области частичного и полного отражения.

Результаты проведенных исследований. В работе проводилось измерение отражательных свойств пеностекол от электромагнитного излучения.

В качестве генераторов использовали: Г4-201 (частота $f = 0,1 \div 1280$ МГц) и R&S SMR60 (частота $f = 10$ МГц \div 60 ГГц). С помощью указанных генераторов были изучены защитные свойства пеностекол при частотах f : 50 МГц; 460 МГц; 30 ГГц, 53,5 ГГц.

В исследованиях применялся анализатор спектра С4-98 имеющий следующие основные технические характеристики: рабочий частотный диапазон находится в пределах от 100 Гц до 178 ГГц; основная погрешность измерения частоты входного синусоидального сигнала в частотном диапазоне $0,01 \div 1,45$ ГГц составляет $\pm (10^{-2} \cdot f + 10)$, в частотном диапазоне $1,45 \div 178,4$ ГГц – $\pm 10^{-2} \cdot f$, где f – частота входного сигнала.

С увеличением частоты f электромагнитных излучений смещение электронов и ионов под действием поля протекает очень быстро (10^{-15} с и 10^{-13} с соответственно), поэтому эти виды поляризации не приводят к поглощению энергии поля.

На рис. 1 приведена схема отражения лучей при проведении исследований.

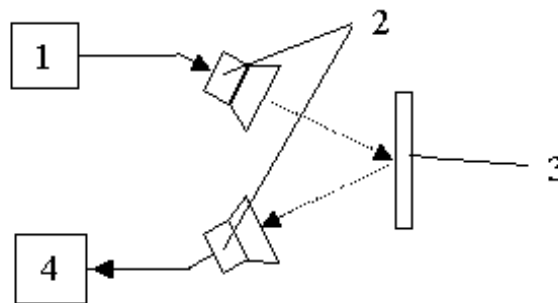


Рисунок 1 – Схема определения коэффициента отражения:

1 – генератор; 2 – антенны; 3 – пеностекло; 4 – анализатор спектра С4-98

По общепринятой методике определения коэффициента отражения, основанной на измерении интенсивностей падающей и отраженной волны электромагнитных излучений получили следующие экспериментальные коэффициенты отражения k_o , табл. 1.

В качестве пеноматериалов использовали пеностекла: 1 – беспримесное пеностекло; 2 – беспримесное пеностекло выдержанное в азотной кислоте в течение 24 ч (с целью определения защитных свойств исследуемых пеностекол в агрессивных средах); 3 – пеностекло с примесью меди; 4 – пеностекло с примесью титана; 5 – пеностекло с примесью графита. Пористость указанных пеностекол составляет $\Pi = 0,8$.

Таблица 1 – Коэффициенты отражения k_o

Измеряемая величина	Состав пеностекла				
	1	2	3	4	5
k_o	0,65	0,65	0,95	0,94	0,97

Экспериментально полученные коэффициенты отражения k_o показали, что наибольшей отражательной способностью обладают пеностекла с примесями меди и титана в виде соединений и углерода.



Это связано с уменьшением диэлектрических потерь при прохождении волны в пеностеклах составов 3 – 5. Пеностеклы составов 1 и 2 также отражают электромагнитные излучения, но с более низкими значениями коэффициентов отражения по сравнению с другими составами.

Рассмотрим, что происходит при падении на пеностекло электромагнитного излучения с длиной волны λ соизмеримой и кратной размерам пор. Для изучения возьмем два поля электромагнитных излучений с разными углами падения на поверхность. На рис. 2 эти поля обозначены как: 1 – поле нормально падающее, 2 – поле, падающее под углом к поверхности.

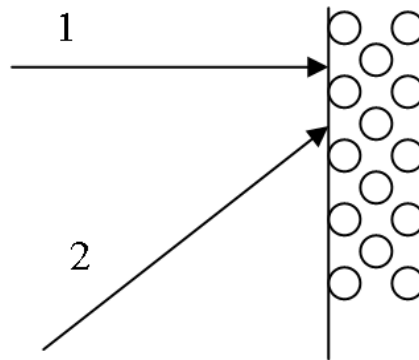


Рисунок 2 – Падение электромагнитного излучения на пеностекло

При нормальном падении электромагнитного излучения на поверхность пеностекла в порах возникает частный случай интерференции волн – появляются стоячие волны, которые образуются вследствие сложения падающей и отраженной волн.

При этом попадании электромагнитного луча в пору происходит его отражение от границы пора-материал. Отраженный луч накладывается на падающий луч; если лучи отражаются по нормали от поверхности внутри поры, то образуется стоячая волна, не переносящая энергию в материал.

Стоячие волны будут присутствовать и при падении электромагнитного излучения под углом к поверхности, распространяющееся по материалу к поверхности поры, всегда будет иметь нормально падающие лучи.

Между коэффициентом стоячих волн K и модулем коэффициента отражения $|R|$ существует следующее соотношение [5]:

$$K = \frac{1 + |R|}{1 - |R|}.$$

Построенные по указанной формуле графики изменений значений коэффициента стоячих волн K в зависимости от модуля коэффициента отражения $|R|$, который является функцией угла падения и частоты поля электромагнитного излучения на поверхности пеностекла, показали, что наименьшими значениями K при частоте $f = 53,5$ ГГц и углу падения $i = 0^\circ$ обладают исследуемые образцы с примесью соединений титана (рис. 3) $K = 249,00$ отн. ед. и с примесью углерода (рис. 4) $K = 165,66$ отн. ед. Увеличение коэффициента стоячих волн происходило с увеличением падающей частоты поля ЭМИ, а также – при уменьшении значений угла падения излучения.

Установлено, что для пеностекел составов 1 – 3 коэффициент стоячих волн K при таких же условиях значительно ниже.

Для обеспечения защиты обслуживающего персонала электронной техники на судне от электромагнитных излучений были разработаны защитные экраны из пеностекла. Необходимые формы и размеры защитных экранов устанавливаются при изготовлении пеностекла с учетом форм электронных приборов или монтажной платы.

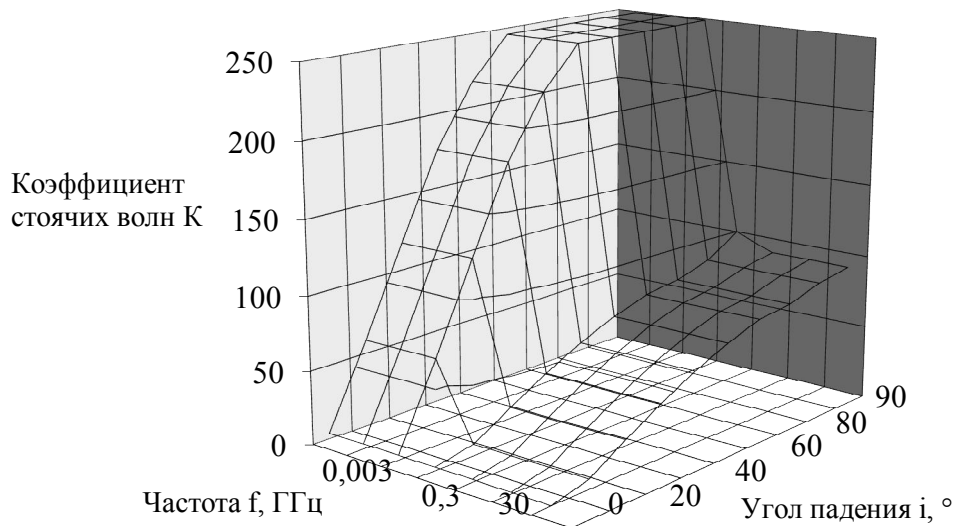


Рисунок 3 – Коэффициент стоячих волн K для пеностекла с примесью титана

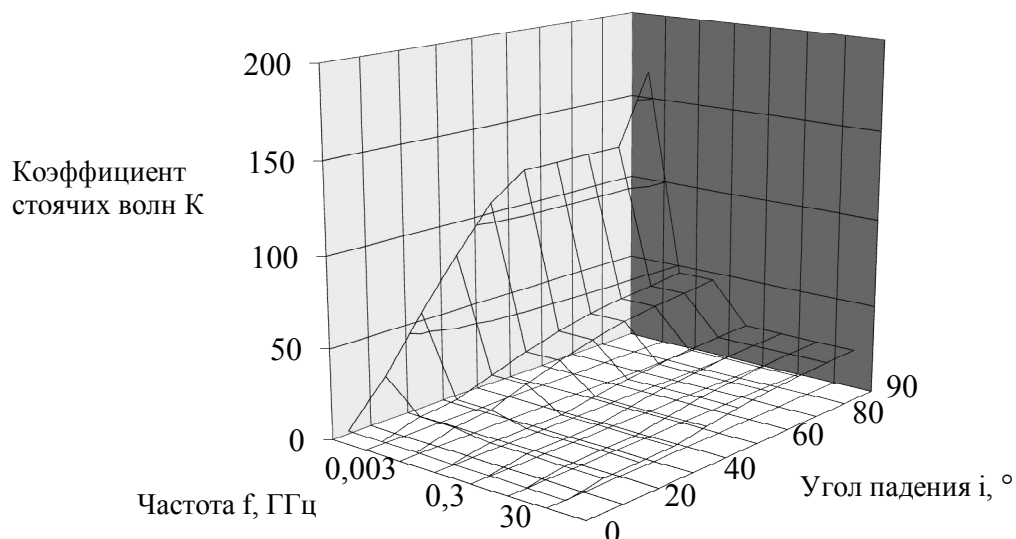


Рисунок 4 – Коэффициент стоячих волн K для пеностекла с примесью графита

В зависимости от размеров приборов, которые подлежат защите, экраны крепили к электронным приборам двумя способами:

- посредством силиката натрия (при площади поверхности электронных элементов $S < 100 \text{ мм}^2$);
- с использованием крепежных изделий (при площади приборов $S > 100 \text{ мм}^2$) (рис. 5).

Были разработаны следующие виды защиты обслуживающего персонала электронной техники на судне от ЭМИ на основе защитных экранов:

- защита одного дискретного электронного изделия;
- защита монтажной платы с установленными на ней электронными элементами;
- защита всего прибора.

В заключении отметим, что аналитическая оценка эффективности экранирования, скажем для плоскопараллельного бесконечного экрана, в общем случае сложна, то может быть использован более простой, приближенный анализ, основанный на представлении эффективности экрана как сумма отдельных составляющих:



$$K = K_{\text{погл}} + K_{\text{отр}} + K_{\text{н.отр}}$$

где $K_{\text{погл}}$ – эффективность экранирования вследствие поглощения экраном электрической энергии, $K_{\text{отр}}$ – эффективность экранирования за счет отражения электромагнитной волны экраном, $K_{\text{н.отр}}$ – поправочный коэффициент учитывающий многократные внутренние переотражения волны от поверхностей экрана.

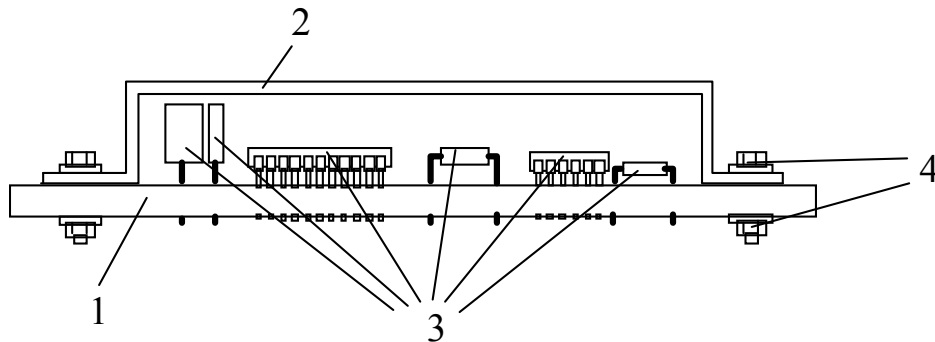


Рисунок 5 – Схема установки пеностекла на монтажную плату: 1 – монтажная плата; 2 – пеностекло; 3 – маскируемые объекты; 4 – крепежные изделия

Если потеря энергии волны в экране, то есть ее поглощение, превосходит 10 дБ, то последним коэффициентом в приведенном выражении можно пренебречь. Эффективность экранирования вследствие поглощения энергии в толще экрана можно рассчитать из простого соотношения, полученного на основе представления электрической и магнитной составляющей поля в материале, на поверхности которого выполняются граничные условия Леонтовича.

Выводы. В результате исследований установлено, что экраны, изготовленные из пеностекла составов: беспримесное пеностекло; беспримесное пеностекло выдержанное в азотной кислоте в течение 24 ч (с целью определения защитных свойств исследуемых пеностекел в агрессивных средах); пеностекло с примесью меди; пеностекло с примесью титана; пеностекло с примесью графита полностью защищают обслуживающий персонал электронной техники на судне от воздействия электромагнитного излучения. Дальнейшие исследования будут направлены на защиту от широкого диапазона частот электромагнитного излучения: от низкого до сверхвысокочастотного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лящук О. Б. Теоретичне дослідження прямої задачі відбивання надвисокочастотних електромагнітних хвиль від діелектричної пластини з розшаруванням / О. Б. Лящук // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона. – 1998. – № 4. – С. 36-39.
2. Лящук О.Б. Радіохвильовий неруйнівний контроль захисних діелектричних покриттів і композитних матеріалів / О. Б. Лящук // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – № 4. – С. 46-50.
3. Демидович Б. К. Пеностекло / Б. К. Демидович. – Минск : Наука и техника, 1975. – 248 с.
4. Стандарт СТБ 1322-2002. Блоки теплоизоляционные из пеностекла : Технические условия. [Введен в действие (вступление в силу) 01.01.2003].
5. Туманов Ю. Н. Низкотемпературная плазма и высокочастотные электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики / Ю. Н. Туманов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.



Короленко О.В., Букетов А.В., Малигін Б.В., Борисенко К.І. ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В РОБОЧІЙ ЗОНІ СУДНА З ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ З ПІНОСКЛА

У роботі проведені дослідження можливості екранування електромагнітних випромінювань від електронної техніки обслуговуючого персоналу на судні екраном з піноскла; дана загальна характеристика електромагнітного випромінювання, наведені найбільш інтенсивні джерела низькочастотного, високочастотного і надвисокочастотного електромагнітного поля на судах; розглянуті отримання та фізичні властивості піноскла; для дослідження екрануючих властивостей піноскла і його фізичних характеристик використовували генератори Г4-201, R & S SMR60; визначені коефіцієнти відображення піноскла аналізатором спектру С4-98; побудовані графіки змін значень коефіцієнта стоячих хвиль в залежності від модуля коефіцієнта відображення; показана можливість екранування електромагнітних випромінювань від електронної техніки обслуговуючого персоналу на судні екраном з піноскла.

Ключові слова: електромагнітні випромінювання, робоча зона, електронна техніка, захисний екран, піноскло.

Korolenko A.V., Buketov A.V., Maligin B.V., Borisenko K. I. ELECTROMAGNETIC SHIELDING RADIATION IN THE WORKING AREA SHIP USING SHIELD FROM FOAMGLASS

In this article contains a study on the possibility of shielding electromagnetic radiation from electronic engineering attendants on board foam glass screen; over views characteristic of electromagnetic radiation are the most intense sources low-frequency, high-frequency and microwave electromagnetic field courts; considered getting and physical properties of the foam glass, and for the study of shielding properties of foamed glass and its physical characteristics used generator G4-201, R & S SMR60; defined reflection coefficients foam glass spectrum analyzer C4-98, the graphs of changes in the standing wave depending on the modulus of the reflection coefficient, the possibility of shielding electromagnetic radiation from electronic equipment maintenance personnel to vessel foam glass screen.

Keywords: electromagnetic radiation, work area, electronic equipment, protective screens foam glass.

Статтю прийнято
до редакції 24.11.2013



УДК 620.197:629.12(4)

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРПУСОВ СУДОВ ОТ КОРРОЗИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Леонов В.Е., Рублёв И.И.

Херсонская государственная морская академия

В статье выполнен анализ существующих методов защиты металлических корпусов судов, разработано новое техническое решение по эффективному наполнителю, обладающего большей устойчивостью к коррозионной деструкции по сравнению со стандартными защитными покрытиями. Разработан и протестирован новый экологически безопасный для морской, окружающей среды наполнитель. Приведены практические способы использования данного покрытия, которое по сравнению с существующим стандартным покрытием обладает эластичностью. Данное покрытие не имеет аналогов в мире и обладает низкой стоимостью, поскольку в состав его входят отходы промышленности и сельского хозяйства. Покрытие, обладая высокой адгезией, способно удерживаться на металлической поверхности при различных параметрах внешней среды, что подтверждается проведенными экспериментами, описанными в данной статье.

Ключевые слова: наполнитель, защитное покрытие, компонент наполнителя, сырая резина, агрессивная среда, коррозия, корпус, судно.

Введение. Металл защищают от коррозии напылением или покрытием на его поверхность специального материала. В зависимости от типа защитной пленки покрытия подразделяют на лакокрасочные, оксидные металлические, неметаллические, плакированные, металлизационные. Данная проблема приобрела особую актуальность в стране с промышленно развитым и большим металлофондом и в последние годы в связи со все более детальным использованием в промышленности качественных материалов, в агрессивных средах, при высоких температурах, давлениях, что приводит к коррозионному растрескиванию, межкристаллитной коррозии, питтингам, а в конечном счете к потерям металла.

Актуальность исследования. Эффективность нового покрытия оценивается в целом, как комплекс функциональных качеств противокоррозионных, противообрастающих, декоративных, износоустойчивых на время всего срока службы данного состава. Точнее, решающим фактором определения первого или второго варианта покрытия есть его долговечность. Помимо этого учитывается, что ресурс затрат на восстановление этого покрытия часто превышает ресурс затрат на его первое нанесение, а качество покрытия после восстановления ниже первоначального.

Для исключения спорных вопросов между проектировщиками и эксплуатационниками следует разделять понятия «долговечность» и «гарантийный срок службы». Стандарт ISO 12944-1 (ЛАКИ И КРАСКИ. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий) определяет эти понятия следующим образом:

«Долговечность – ожидаемый срок службы системы защитных покрытий до первого полного ремонтного восстановления. Это понятие технического характера, которое помогает владельцу обоснованно планировать техническое обслуживание окрашенного объекта». Гарантийный срок службы – понятие юридического характера, имеющее законную силу и являющееся предметом контракта между заказчиком и исполнителем окрасочных работ. Это понятие определяет длительность эксплуатации окрашенного объекта, в течение которой исполнитель несет юридическую и финансовую ответственность за обеспечение защитных и/или декоративных качеств системы покрытия по конкретным параметрам, например, сохранность покрытия на определенной площади, сопротивления, цвета, блеска».

Если стоит задача получить высококачественное покрытие, то нецелесообразно экономить на подготовке поверхности под окраску, хотя качественная дробеструйная



обработка стоит дорого – в среднем расходы составляют 60-70 % от общих расходов по нанесению покрытия, включая стоимость материалов [5].

Необходимо учесть, что затраты на качественное восстановление покрытия обычно превышают затраты на его первое нанесение, а качество восстановленного покрытия заведомо ниже чем нанесенного впервые. При использовании катодной защиты электродный потенциал в морской воде меняют подключением электрического тока от любого источника. Анод изготавливается из различных материалов: графит, алюминий и его сплавы, свинцово-серебряные сплавы, платина и крепятся к судна на корпус через диэлектрик. Недостатком является разрушение анода, которое приводит к загрязнению морской среды токсичными веществами.

В процессе эксплуатации судов корпус их покрывается слоем продуктов биообрастания. Необходимо отметить, что продукты биообрастания корпусов судов ускоряют процессы коррозии [3, 4].

Постановка задачи. Заменить дорогостоящую и экологически опасную процедуру покраски корпусов судов на эффективные способы защиты. Экономически проще наносить качественные покрытия, пользуясь высококачественными эластичными материалами. Периодические междудоковые расходы при этом будут меньше, за счет увеличения периода перекрашивания.

Задачей данного исследования является создание покрытия способного сохранять целостную структуру, предотвращающую доступ агрессивной морской среды к поверхности металла. В общей стоимости окрашивания объекта и эксплуатационных затрат весьма большую роль играет качество покрасочного материала и относительно небольшую роль – ее цена. Например, стоимость качественной окраски с предварительной дробеструйной обработкой составляет от 30 до 50 USD за 1 м^2 , в том числе стоимость хорошей краски, расходуемой на 1 м^2 составляет в среднем около 4 USD, это около 10 % от стоимости окраски. Использование дешевой краски невысокого качества позволит снизить общие расходы на 4-6 %, но приведет к необходимости более раннего возобновления покрытия, что обойдется много дороже.

Покрытие должно содержать экологически безопасные материалы, которые не загрязняют морскую среду, поэтому **целью эксперимента** есть создание экологически безопасного и экономически обоснованного покрытия. Поскольку в настоящее время основным средством противокоррозионной защиты корпусов судов являются лакокрасочные покрытия, то вполне понятно, насколько важны и актуальны вопросы применения эффективных, безопасных лакокрасочных материалов и качественного их нанесения [1].

Качество покрытия оценивается как весь комплекс функциональных качеств – противокоррозионных, противообрастающих, декоративных, износостойких на всё время эксплуатации покрытия. Таким образом, решающим фактором выбора того или иного варианта покрытия является его долговечность.

Методика эксперимента. Для исследований выбраны образцы материала, изготовленные из прокатной листовой стали марки Ст-20, предварительно механически очищены от следов грязи, ржавчины, жира. Для определения веса были использованы лабораторные электронные весы марки VTU-210 Axis 3 класса точности с абсолютной погрешностью 0.005 г.

Взвешивание проводилось с дальнейшим расчетом абсолютной и относительной погрешности. Результаты приведены в работе [2].

Исследование коррозии проводилось весовым методом. Стандартный образец № 1 был механически очищен, обезжирен и покрыт железным суриком после просушки покрыт алкидной эмалью ПФ-115.

Второй образец очищен, обезжирен и покрыт гомогенной смесью в составе сырой резины и наполнителя растительного происхождения в соотношении 1:1 по весовому эквиваленту. Покрытие производилось в три слоя с интервалом просушки 3-5 минут.



Третий образец был очищен, обезжирен и покрыт гомогенной смесью в составе сырой резины и наполнителя растительного происхождения в соотношении 1:1 и после просушки покрыт алкидной эмалью.

Исследование образцов проводилось на воздухе при температуре 21 °С в течении трёх недель, в морской воде при температуре воды 20 °С при концентрации 39 ppm, (для условий Средиземного моря) в течении двух месяцев, в морской воде при температуре воды 46 °С в течении двух недель, в морской воде при температуре воды 4 °С в течении одной недели и на воздухе при температуре 35 °С под воздействием прямых солнечных лучей полтора месяца. До экспериментов и после проводились фотоснимки поверхностей образцов на наличие трещин и образования зон дислокации при помощи микроскопа.

Анализ поверхности стандартного и экспериментального образцов произведён бинокулярным микроскопом 40-1000x 9011 80 00 00 XSM-20. Результаты подготовки стандартных и экспериментальных образцов, взвешивания компонентов наполнителя приведены в работе [3].

Результаты взвешивания металлических образцов, покрытых композитной добавкой – смесь сырой резины и наполнителя приведены в работе [2].

Микрофотографии образцов после испытаний на воздухе представлены на рис. 1. Снимки сделаны с кратностью увеличения 40х. Образцы после испытаний в морской воде приведены на рис. 2. Образцы после последних испытаний приведены на рис. 3.

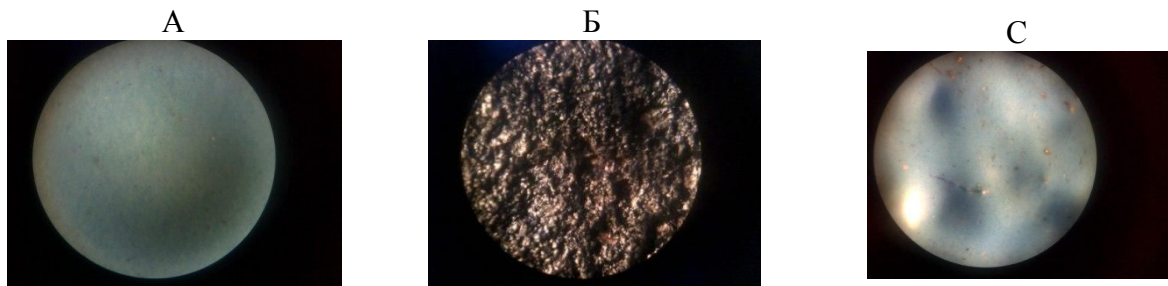


Рисунок 1 – Микрофотографии: А – стандартный образец № 1, Б – экспериментальный образец № 2, В – экспериментальный образец № 3

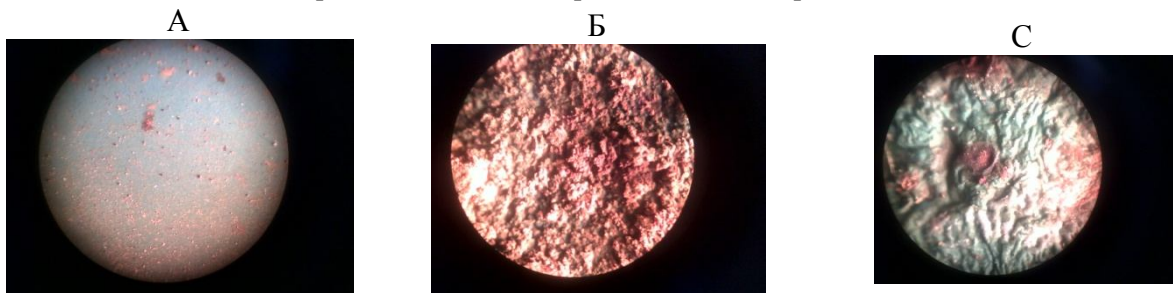


Рисунок 2 – Микрофотографии: А – стандартный образец № 1, Б – экспериментальный образец № 2, В – экспериментальный образец № 3

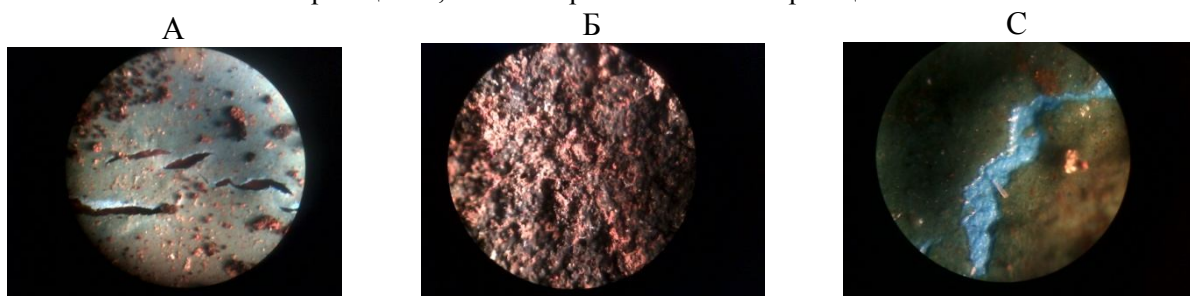


Рисунок 3 – Микрофотографии: А – стандартный образец № 1, Б – экспериментальный образец № 2, В – экспериментальный образец № 3



Выводы:

1. Разработана методика нанесения новых покрытий на металлические поверхности.
2. Приготовлены стандартные опытные образцы покрытий для металлов, обработанных традиционным и новым наполнителем.
3. Новое покрытие способно сохранять целостную структуру при различных параметрах внешней среды при длительном сроке эксплуатации.
4. Срок службы основного металла, покрытого новым композиционным материалом, на 75 % выше, чем образец покрытый традиционным наполнителем.

Перспектива дальнейшего исследования данного покрытия заключается в тестировании его на внутренних поверхностях корпуса судна, балластных танков, цистерн для льяльных и сточных вод. При защите металлических поверхностей, используемых при различных атмосферных и специальных условиях в особо агрессивных средах. Вследствие высокой эластичности покрытие нужно исследовать в области упругих элементов, а также узлов, работающих в условиях вибрации, тряски а также подвергающихся воздействию прямых солнечных лучей при длительном использовании. Состав данного покрытия при различных условиях может быть изменен, подбором более оптимальных к данной среде составов. Вариация составов будет исследована в будущем. Рекомендации по практической реализации данного научного направления будут использованы на судах морского флота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды : монография / [Дмитриев В. И., Леонов В. Е., Химич П. Г., Ходаковский В. Ф., Куликова Л. Б.] ; под ред. В. И. Дмитриева, В. Е. Леонова. – Херсон : Издательство ХГМА, 2012. – 397 с.
2. Леонов В. Е. Исследование и разработка стойких экологически безопасных покрытий корпусов судов / В. Е. Леонов, И. И. Рубльов // «Fundamental and applied sciences today» [Материалы международной научно-практической конференции, (North Charleston, SC, USA)]. –USA, North Charleston, 2013. – Vol. 2. – P. 197-199.
3. Леонов В. Е. Методика исследования и разработки стойких экологически безопасных покрытий корпусов судов / В. Е. Леонов, И. И. Рублєв // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування [Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, (м. Херсон)]. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – С. 87-91.
4. Леонов В. Е. Основы экологии и охрана окружающей среды : монография / В. Е. Леонов, В. Ф. Ходаковский, Л. Б. Куликова ; под редакцией В. Е. Леонова. – Херсон : Издательство ХГМИ, 2010. – 352 с.
5. Степанов А. М. Актуальность и экономические аспекты проблемы коррозии и защиты металлических сооружений / А. М. Степанов, Н. С. Себелев, П. С. Воробьев [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pkraska.ru/articles/view/korroziya>.
6. Гуревич Е. С. Защита от обрастания / Е. С. Гуревич – М. : Наука, 1989. – 432 с.
7. Разработка новых композиционных материалов : Кн. 2 : Анализ степени воздействия ионизирующих излучений различного спектрального состава на жизнеспособность подводной флоры и фауны. Ч. 3 : Экспериментальные исследования степени воздействия ионизирующих излучений на подводную микрофлору. – Тверь : ТГТУ, 1999. – 239 с.



Леонов В.Є., Рубльов І.І. РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО НАПОВНЮВАЧА ДЛЯ ЗАХИСТУ КОРПУСІВ СУДЕН ВІД КОРОЗІЙНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ

У статті виконаний аналіз існуючих методів захисту металевих корпусів, призначене нове технічне рішення для ефективного наповнювача, яке має більший опір корозійної деструкції в порівнянні з звичайними захисними покриттями. Розроблений та випробуваний новий екологічно безпечний для морського середовища наповнювач. Практичне застосування цього покриття, яке в порівнянні з поточним стандартом покриття більш еластичне. Це покриття не має існуючих аналогів і має відносно низьку вартість, оскільки в частину матеріалу входить компонент рослинного походження, з відходів виробництва сільськогосподарської продукції. Покриття, що володіє високою здатністю до адгезії тримається на поверхні металу з різними параметрами навколишнього середовища, про що свідчать експерименти, описані у цій статті.

Ключові слова: наповнювач, захисне покриття, компонент наповнювача, сира гума, агресивне середовище, корозія, корпус, судно.

Leonov V.E., Rublev I.I. DEVELOPING EFFECTIVE PROTECTION FOR FILLING HULL VESSELS FROM THE DESTRUCTION OF CORROSION

In the article the analysis of existing methods for protecting metal hulls , designed a new technical solution for the effective filler having greater resistance to corrosive degradation in comparison with the conventional protective coatings. Developed and tested a new environmentally safe for marine , environmental filler. The practical uses of this coating , which is compared with the current standard coating is elastic . This coverage does not have any existing analogues and has a relatively low cost as part of the material of plant origin, and is a waste in the production of agricultural products. Cover having a high adhesion ability to hold onto the metal surface with various parameters of the environment , as evidenced by the above experiments described in this article.

Keywords: filler protective coating, filler component, crude rubber, aggressive environment, corrosion, corps, ship.

Статтю прийнято
до редакції 30.10.2013



УДК 621.315.592

МЕТОД ДИФФУЗИИ ПРИМЕСЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАКАНСИОННОГО СОСТАВА В МОНОКРИСТАЛЛАХ ПИН GaAs

Лебедь О.Н.

Херсонская государственная морская академия

В данной работе исследовались диффузионные профили элементов 6 группы периодической таблицы Менделеева в монокристаллах полуизолирующего нелегированного GaAs. Рассмотрен механизм формирования и распределения легирующей примеси и проанализировано формирование вакансионного состава монокристаллов при термообработке с учетом отклонения состава от стехиометрического и дислокационной структуры. Показаны возможности управления структурными и электрофизическими параметрами монокристаллов GaAs.

Ключевые слова: арсенид галлия, сера, селен, диффузия, электрофизические параметры, структурные параметры, стехиометрия, вакансионный состав, дислокации.

Введение. Развитие интегральной и силовой электроники на основе арсенида галлия предъявляет все возрастающие требования к структурным и электрофизическим параметрам подложек для интегральных схем, СВЧ приборов. Промышленное использование GaAs требует улучшения его структуры и воспроизводимости свойств при технологических процессах.

Как известно, серийно выпускаемые пластины арсенида галлия, не всегда отвечают требованиям для новых разработок полупроводниковых приборов. Выращенные монокристаллы GaAs имеют характерные W- и V-образные распределения плотности дислокаций, механических напряжений, собственных точечных дефектов по диаметру, и, как следствие, неоднородное распределение удельного сопротивления, люминесцентных и других электрофизических характеристик. Причины, вызывающие неоднородное распределение структурных и электрофизических параметров по диаметру монокристалла определяются, главным образом, процессами посткристаллизационного охлаждения, в результате возникновения осевого и радиального градиентов температур [1]. В виду этого, представляется достаточно сложно управлять структурой кристалла и давать воспроизводимые результаты для создания дискретных и интегральных полупроводниковых приборов.

Актуальность. Одним из известных методов управления и повышения однородности распределения параметров монокристаллов GaAs, является поиск режимов термообработки (ТО) уже изготовленных подложек. Нужно отметить, что ТО также является необходимым технологическим этапом при изготовлении полупроводниковых приборов [2, 3]. При этом процессы ТО способны изменить физические свойства монокристаллов полупроводников, в частности и ПИН GaAs. Формирование электрофизических параметров монокристаллов нелегированного GaAs – очень сильно зависят от СТД [1]. Подвижность СТД в GaAs и, соответственно, процессы их взаимодействия протекают с достаточно высокой скоростью уже при сравнительно невысоких температурах – (300-400) °С. Это приводит к существенному изменению концентрации этих дефектов и создает трудности в фиксации и идентификации заданного высокотемпературного состояния монокристалла.

Для разработки технологических методов управления структурой монокристаллов арсенида галлия нужно рассмотреть механизмы ответственные за изменения параметров материала при ТО. Одним из основных механизмов ответственных за изменение структурных и электрофизических параметров монокристаллов является изменение их вакансионного состава при ТО, который в свою очередь зависит от исходной структуры полупроводника [1-3].

Целью данной работы является определение изменения вакансионного состава монокристаллов ПИН GaAs при ТО с учетом дислокационной структуры и отклонения состава от стехиометрического, для разработок технологических методов управления



и воспроизведения структурных и электрофизических параметров, основанной на диффузии элементов 6 группы.

Методика исследований. Мы предлагаем для идентификации вакансионного состава монокристаллов арсенида галлия при ТО проводить диффузию примесей и по изменению диффузионных профилей от теоретических судить о преимущественной генерации вакансий в той либо другой подрешетке.

В виду того, что основными СТД в GaAs являются дефекты подрешетки мышьяка, то ТО монокристаллов проводилась при одновременной диффузии элементов 6 группы (сера, селен), которые преимущественно замещают атомы в анионной подрешетке.

Для ТО использовались монокристаллы ПИН GaAs, выращенные методом Чохральского из-под слоя флюса в направлении (100). Диффузия проводилась при температуре 850 °С в течение шести часов в образцы с удельным сопротивлением $\rho = (6 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6)$ Ом·м и плотностью дислокаций $N_d = (1 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^{10}) \text{ м}^{-2}$. При исследовании процессов диффузии серы, в откачанную ампулу помещалась навеска серы массой $2 \cdot 10^{-5}$ кг. В процессах, связанных с диффузией селена, диффузия проводилась из термически напыленного на поверхность образца слоя Se толщиной 10^{-6} м, что обеспечивало условия диффузии из постоянного источника примеси. Образовавшиеся поверхностные слои Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 после диффузии S и Se удаляли в полирующем травителе состава $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} (3:1:1)$.

Распределение примеси у поверхности образцов при диффузии исследовали послойным травлением по методу анодного окисления с дополнительным освещением, по методике описанной в [4].

Были подобраны монокристаллы с различным исходным соотношением концентраций вакансий галлия $N_{V_{Ga}}$ и вакансий мышьяка $N_{V_{As}}$.

Критерием стехиометричности структуры монокристаллов принято считать отношение концентраций вакансий мышьяка и вакансий галлия:

$$z = (N_{V_{As}}/N_{V_{Ga}}). \quad (1)$$

Под стехиометрическим составом структуры кристаллов в работе [5] является равенство концентраций вакансий в подрешетках галлия и мышьяка ($[N_{V_{As}}] = [N_{V_{Ga}}]$). В [6] принято условие $[N_{V_{As}}] + [N_{V_{Ga}}] \cong [N_{AsI}] + [N_{GaI}]$ (при этом $z \approx 10$).

В настоящей работе под стехиометрическим составом монокристаллов будем считать состав с $z = (N_{V_{As}}/N_{V_{Ga}}) = 10$.

По отношению к стехиометрическому составу выделены две группы монокристаллов: 1 группа – монокристаллы с избытком галлия ($z > 10$) и 2 группа – монокристаллы с избытком мышьяка ($z < 10$).

Результаты исследований. В соединениях АЗВ5 диффузия является более сложным процессом, чем в элементарных полупроводниках: германия и кремния. Сложности в основном вызываются тем, что при нагреве происходит диссоциация соединений и при температурах диффузии более летучий компонент (с большим парциальным давлением паров) испаряется, а также тем, что элементы 3 и 5 групп являются химически более активными по отношению к диффундирующим примесям, чем элементарные полупроводники 4 группы.

Диффузия в полупроводниках, в частности в GaAs, является нестационарным процессом, и концентрация примеси зависит от времени прохождения процесса диффузии, и от положения атомов примеси в кристалле.

Нестационарный процесс диффузии примеси в полупроводниках описывается 1 законом Фика, определяющим плотность потока компонента [7]. В одномерном случае:

$$j = -\frac{D \partial N(x,t)}{\partial x}, \quad (2)$$

где j – плотность потока компонента, D – коэффициент диффузии, N – концентрация



примеси, x – расстояние от поверхности образца.

А также 2-ым законом Фика, определяющим концентрацию легирующей примеси:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x,t)}{\partial x^2}, \quad (3)$$

где t – время текущего процесса диффузии.

Как видно, в обоих выражениях присутствует коэффициент диффузии, описывающий следующей температурной зависимостью [8]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right), \quad (4)$$

где R – постоянная Больцмана, T – температура процесса, выраженная в градусах кельвина, D_0 – предэкспоненциальный (частотный) множитель, связанный с частотой смены позиций атомами и с изменением энтропии в системе, ΔE – энергия активации процесса диффузии, в величину которой входит энергия перехода атома в активированное состояние и энергия образования структурных дефектов, участвующих в процессе диффузии. Решая уравнения (3), согласно [7, 9], получим закон распределения примеси в монокристалле:

$$N(x) = N_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right), \quad (5)$$

где $N(x)$ – концентрация примеси на расстоянии x от поверхности образца, N_0 – концентрация примеси на поверхности образца, $\operatorname{erf} y$ – функция ошибок Гаусса.

На основе экспериментальных данных нами получены диффузионные профили селена и серы в приповерхностной области образцов с разным соотношением концентраций вакансий галлия и мышьяка. У образцов с избытком мышьяка можно выделить 2 участка концентрационных кривых (рис. 1). Участок 2 – описывается erf -функцией, согласно выражению 1, а участок 1 – имеет существенные отклонения от нее.

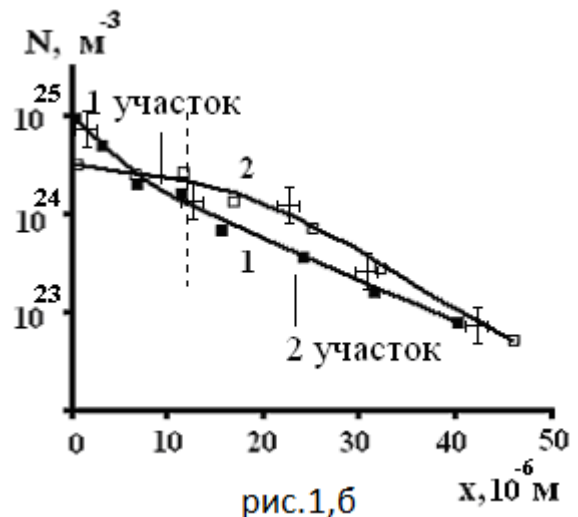
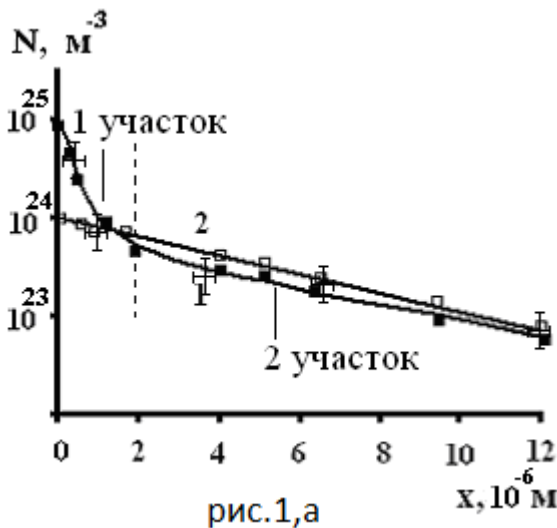


Рисунок 1 – Распределение концентрации примеси N в диффузионной зоне образцов с различной стехиометрией, $N_d = 5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$; а – Se, б – S: 1 – монокристаллы с избытком мышьяка, $z = 1,2$; 2 – монокристаллы с избытком галлия, $z = 25$

Коэффициент диффузии можно найти по наклону прямых, построенных в координатах $\lg N(x^2)$ (рис. 2), согласно [5]:



$$D = \frac{0,108x^2}{t \lg N} \quad (6)$$

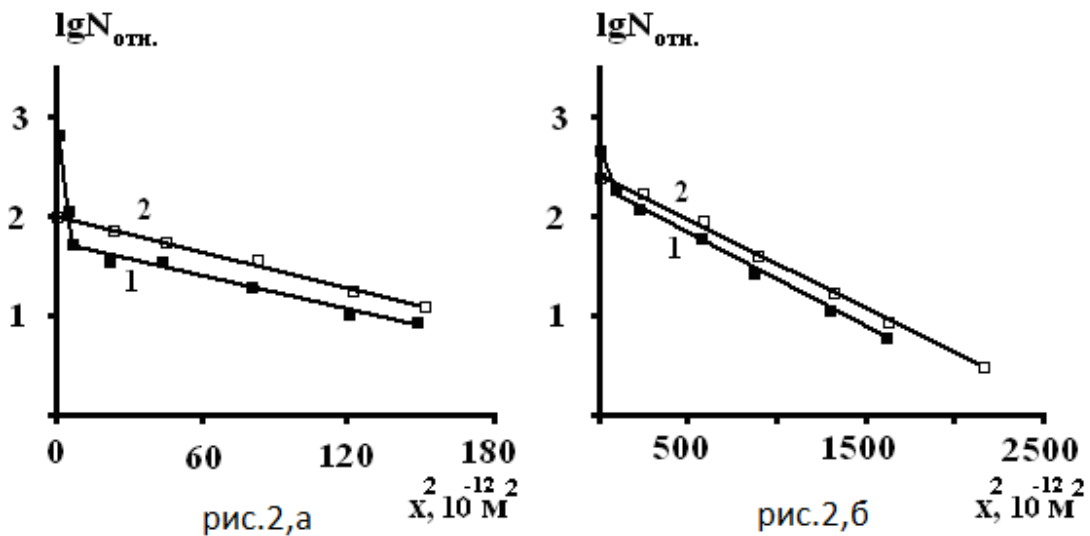


Рисунок 2 – Зависимости $\lg N$ от x^2 ; а – Se, б – S: 1 – монокристаллы с избытком мышьяка, $z = 1,2$; 2 – монокристаллы с избытком галлия, $z = 25$

Рассчитанные нами коэффициенты диффузии D_1 (участок 1) и D_2 (участок 2) для разных образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов диффузии

Примесь	Образцы с избытком галлия $D \cdot 10^{-18} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$	Образцы с избытком мышьяка $D_1 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}, D_2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$	
Селен	0,12-0,41	0,61-3,12	0,34-0,46
Сера	5,8-6,2	0,92-2,68	6,1-6,4

У образцов с избытком галлия (рис.1), профиль распределения примеси N близок к *erf*-функции. Найденные на основании графиков $\lg N(x^2)$ (рис. 2) значения коэффициентов диффузии атомов серы и селена по порядку величины совпадают с данными, известными из литературы [1, 5, 7, 9] (табл. 1).

Как видно, в монокристаллах с избытком мышьяка существуют два участка, где наблюдаются различные коэффициенты диффузии, в отличие от образцов с избытком галлия.

Исследования зависимости коэффициента диффузии от вакансионного состава z и плотности дислокаций N_d (рис. 3) демонстрируют его изменения только для кристаллов с избытком мышьяка, причем только на первом участке.

Значения D_1 в образцах с одинаковым исходным вакансионным составом ($z = 12$) для обоих элементов увеличивались с ростом плотности дислокаций (рис. 3а). При изменении N_d от 10^8 м^{-2} до 10^{10} м^{-2} D_1S и D_1Se увеличивались в 2 раза.

На рис. 3б представлена зависимость относительного изменения коэффициента диффузии D/D_0 , для образцов с близкими значениями плотности дислокаций, от соотношения концентраций вакансий галлия и мышьяка. В качестве D_0 – выбрано наименьшее из значений коэффициента диффузии на участке 1 при $z = 10$ для данных монокристаллов.

Участок 1 на рис. 1 обусловлен более медленной диффузией, чем на участке 2. Мы полагаем, что отклонение диффузионных профилей селена и серы от *erf*-функции, в образцах с избытком мышьяка в отличие от образцов с избытком галлия, где такое отклонение не наблюдается, свидетельствует о влиянии на диффузию вакансионного состава монокристаллов. Кроме того, зависимость коэффициента D_1 от N_d (рис. 3а)



свидетельствует об участии в диффузионном процессе дислокаций.

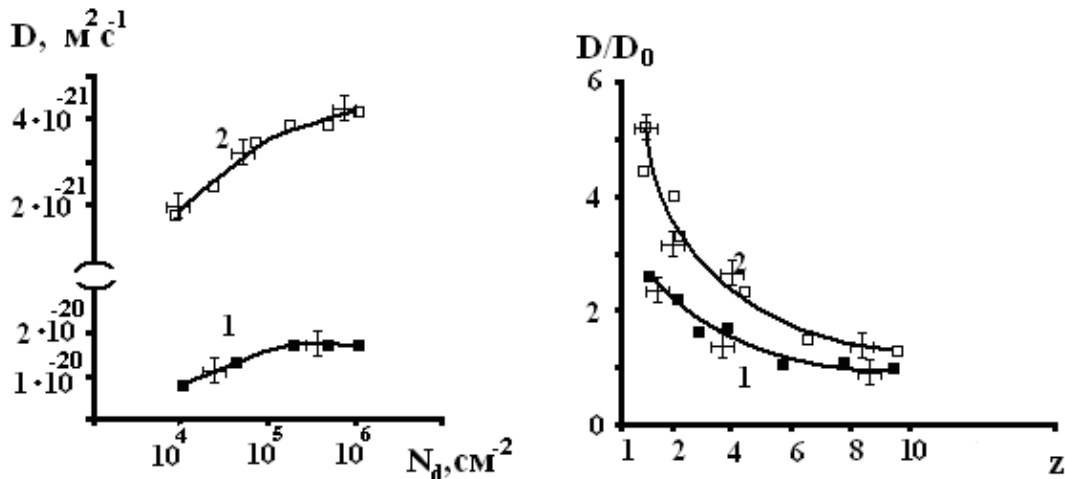


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента диффузии D от плотности дислокаций при $z = 12$ (а) и относительного изменения коэффициента диффузии D/D_0 от вакансионного состава при $N_d = (4,3 \pm 0,5) \cdot 10^9 \text{ м}^{-2}$ (б): 1 – S, 2 – Se

Следует предположить, что в кристаллах с избытком мышьяка, когда сток мышьяка на поверхность ограничен слоем Ga_2Se_3 или Ga_2S_3 , наряду с поверхностью существенную роль начинают играть дислокации. В результате имеет место вторичная диффузия примеси от поверхности по вакансиям, источником которых являются дислокации.

Причина, по которой сток As на дислокации оказывает влияние на диффузию атомов S и Se в кристаллах с исходным избытком мышьяка и не влияет на нее в образцах с избытком галлия, может быть, по нашим наблюдениям, обусловлена следующим. В околослокационных атмосферах (атмосферы Котрела [10]) в неотожженных монокристаллах с избытком мышьяка – преобладают вакансии галлия, а в монокристаллах с избытком галлия – вакансии мышьяка. Известно [5], что при высоких температурах – V_{Ga} имеют отрицательный электрический заряд, а V_{As} и атомы междоузельного мышьяка (As_i) – положительный. Градиентное электрическое поле способствует движению As_i (As_i является доминирующим точечным дефектом в кристаллах, где $N_{V_{\text{Ga}}} > N_{V_{\text{As}}}$) к дислокациям, если в составе их атмосфер преобладают V_{Ga} , и препятствует ему, если преобладают V_{As} . Следовательно, захват мышьяка дислокациями зависит от вакансионного состава монокристалла.

Выводы. На основе диффузии элементов 6 группы периодической таблицы Менделеева показана зависимость формирования вакансионного состава монокристаллов ПИН GaAs при ТО в зависимости от дислокационной структуры и отклонения состава от стехиометрического.

В монокристаллах с избытком мышьяка, в результате действия дислокационных стоков, происходит более существенная генерация вакансий мышьяка связанная с зарядовым состоянием STD при высоких температурах.

Диффузионные профили показанные в работе и зависимость коэффициентов диффузии от стехиометрии и плотности дислокаций могут быть использованы для разработок технологических методов управления и определения структурными и электрофизическими параметрами ПИН GaAs.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мильвидский М. Г. Физико-химические основы получения разлагающихся полупроводниковых соединений / М. Г. Мильвидский, О. В. Пелевин, Б. А. Сахаров. – М. : Металлургия, 1974. – 392 с.



2. Chen N. F. Stoichiometric defects in semi-insulating GaAs / N. F. Chen, H. He, Y. Wang, L. Lin // J. Crystal Growth.– 1997. – V. 173. – P. 325-329.
3. Бублик В. Т. Изучение влияния различных режимов термического отжига на образование микродефектов в монокристаллах нелегированного GaAs, выращенного по методу Чохральского / В. Т. Бублик, М. И. Воронова, А. В. Марков, К. Д. Щербачёв // Кристаллография. – 2000. – Т. 45, № 5. – С. 893-898.
4. Сорокин И. Н. Зарубежная электронная техника / И. Н. Сорокин, В. З. Петрова, Ю. Д. Чистяков. – 1979. – № 14. – 64 с.
5. Шишияну Ф. С. Диффузия и деградация в полупроводниковых материалах и приборах / Ф. С. Шишияну. – Кишинёв : Штиинца, 1978. – 230 с.
6. Коваленко В. Ф. Определение вакансионного состава монокристаллов полуизолирующего нелегированного арсенида галлия / В. Ф. Коваленко, М. Б. Литвинова, В. А. Краснов // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 2002. – Вып. 37. – С. 198-204.
7. Крапухин В. В. Физико-технические технологии полупроводниковых материалов / В. В. Крапухин, И. А. Соколов, Г. Д. Кузнецов. – М. : Металлургия, 1982. – 352 с.
8. Болтакс Б. И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках / Б. И. Болтакс. – Л. : Наука, 1972. – 451 с.
9. Соколов И. А. Расчеты процессов полупроводниковой технологии / И. А. Соколов. – М. : Металлургия, 1994. – 176 с.
10. Коттрел А. Х. Теория дислокаций / А. Х. Коттрел ; пер. с англ. – М. : Мир, 1969. – 67 с.

Лебедь О.М. МЕТОД ДИФУЗИЇ ДОМІШОК ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАКАНСІЙНОГО СКЛАДУ В МОНОКРИСТАЛАХ NiN GaAs

У даній роботі досліджувались дифузійні профілі елементів 6 групи періодичної таблиці Менделєєва в монокристалах напівізолюючого нелегованого GaAs. Розглянутий механізм формування і розподілу легуючої домішки та проаналізовано формування вакансійного складу монокристалів при термообробці з урахуванням відхилення складу від стехіометричного і дислокаційної структури. Показані можливості управління структурними та електрофізичними параметрами монокристалів GaAs.

Ключові слова: арсенід галію, сірка, селен, дифузія, електрофізичні параметри, структурні параметри, стехіометрія, вакансійний склад, дислокації.

Lebed' O.N. METHOD OF DIFFUSION OF IMPURITY FOR DEFINITION OF VAKANSIONNY STRUCTURE IN MONOCRYSTALS SIN GaAs

In this work diffusive profiles of elements 6 of group of periodic table of Mendeleev in monocrystals of semi-insulating not alloyed GaAs were investigated. The mechanism of formation and distribution of alloying impurity is considered and formation of vacancy structure of monocrystals at heat treatment taking into account a structure deviation from stoichiometry and dislocation structure is analysed. Possibilities of management are shown by structural and electrophysical parameters of monocrystals of GaAs.

Keywords: gallium arsenide, sulfur, selenium, diffusion, electrophysical parameters, structural parameters, stoichiometry, vacancy structure, dislocations.

Статтю прийнято
до редакції 27.06.2013



УДК 661.769

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІДРОХВИЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ОСОБЛИВОСТІ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Настасенко В.О.

Херсонська державна морська академія

Розглянуті основні різновиди сучасних гідрохвильових електростанцій, які можуть суттєво зменшити витрати традиційних палив для вироблення електричної енергії. Показано, що серед існуючих різновидів найбільш перспективними є гідрохвильові електростанції маятникового типу, що потребує для них розробки правил охорони праці, для яких в даній роботі виділені основні початкові положення.

Ключові слова: економія палива, гідрохвильова енергетика, електрогенератори маятникового типу

Вступ. Аналіз стану проблеми та постановка завдання. На сучасному етапі розвитку електроенергетики, найбільшу частку складає теплова, що працює на базі традиційних видів палив – продуктів нафти і газу, які є вичерпними, тому актуальним є питання використання нетрадиційних джерел енергії, в першу чергу найбільш поширених – сонячної та вітрової. Однак гідрохвильовій енергетиці при цьому приділяється недостатня увага, хоч потенціал енергії хвиль, за рахунок щільності води, значно більший, у порівнянні зі щільністю потоків для вітрової енергетики, а дія сонячної енергетики обмежена світлим часом доби і зменшується у хмарну погоду. Тому необхідне усунення недоліку недостатнього використання гідрохвильової енергетики, для чого потрібен більш ретельний її аналіз.

Таким чином, **головною метою виконуваної роботи** є аналіз перспектив розвитку гідрохвильової енергетики та умов охорони праці при її використанні.

Складність рішення поставленої задачі полягає в тому, що для гідрохвильової енергетики є свої особливості і обмеження. При цьому **наукову новизну даної роботи** складає пошук найбільш ефективних шляхів розвитку і використання гідрохвильової енергетики, а також виявлення особливостей охорони праці та безпеки умов її експлуатації. Вирішення даних задач має велике теоретичне і практичне значення, оскільки гальмування розвитку гідрохвильової енергетики у порівнянні з іншими видами нетрадиційної енергетики, повинно бути усунене. При цьому розгляд даних питань слід провести, як для України, так і для світового рівня.

Аналіз базових варіантів гідрохвильових енергетичних установок та умов, що впливають на охорону праці і безпеку їх використання. В океані утворюється багато видів хвиль. Однак, для вироблення корисної енергії заслуговують на увагу лише 3 їх типи [1]: 1) приливні хвилі, 2) вітрові хвилі, 3) брижі. До них слід додати 4-й тип – післяштормові хвилі, оскільки вони діють ще деякий час після того, як ущух вітер, що їх здіймав.

Оскільки приливні хвилі утворюють енергетичний потенціал, тільки відносно попереднього рівня води, який для внутрішніх морів, до яких відноситься Чорне море, є незначним, тому цей різновид гідрохвильової енергетики в даній роботі не розглядається. Не розглядаються також брижі, оскільки їх енергетичний потенціал занадто малий для істотного вироблення електричної енергії.

Основна увага в даній роботі приділена вітровим і післяштормовим хвилям, які утворюються на морі більш часто, ніж інші, є відносно регулярними і мають велику руйнівну силу, тобто несуть в собі значну енергію. На сучасному рівні розвитку науки і техніки, вони є найбільш доступними для створення гідрохвильової енергетики, в якій можна виділити 3 основні напрямки, що пов'язані з трьома основними видами енергії даних хвиль, а саме [2]:

1. Потенційної енергії E_g підйому хвиль на висоту h_g .



2. Кінетичної енергії E_v поступального руху хвиль з лінійною швидкістю v_x .
3. Кінетичної енергії E_ω кругового руху крапель води у тілі хвилі з кутовою швидкістю ω .

На рис. 1 показана геометрична схема морської вітрової хвилі на глибокій воді та складових чинників h_e , v_x , ω утворення основних видів її енергії.

Вітрова та післяштормова морська хвиля має довжину λ – горизонтальну відстань між двома послідовно розташованими гребнями або підшвами хвилі, та висоту h_e – відстань від вершини гребеня до підшови хвилі, яка дорівнює її подвоєній амплітуді a . Хвилі на глибокій воді – це найбільш загальний тип хвиль, які існують за умови, що середня глибина моря D в цьому місці перевищує величину половини довжини хвилі $\lambda/2$.

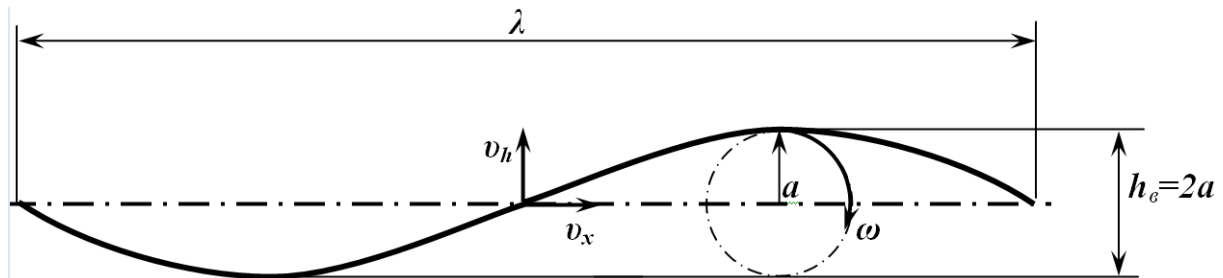


Рисунок 1 – Геометричні характеристики вітрової морської хвилі та складові чинники h_e , v_x , ω утворення основних видів її енергії

Енергетичний потенціал коливання морських хвиль потребує перетворення в механічну енергію, яка буде зручною для подальшого використання. Найбільш доцільним можна вважати перетворення усіх трьох перелічених вище видів енергії вітрових та післяштормових морських хвиль в механічну енергію обертання ротора електрогенератора, яка далі стає електричною, найбільш зручною для перетворювань у інші види робіт і енергії, а також для передачі їх на великі відстані.

Однак технічні рішення, які одночасно реалізують усі 3 види енергії хвиль, поки що не знайдені, тому подальший аналіз виконаний для окремих видів.

Для відбору гідрохвильовими енергетичними установками першого виду енергії – потенційної E_g від підйому хвиль на висоту h_e , можливе використання пристроїв, типу «контурного плоту Коккерелля» [1], принципова схема якого показана на рис. 2.

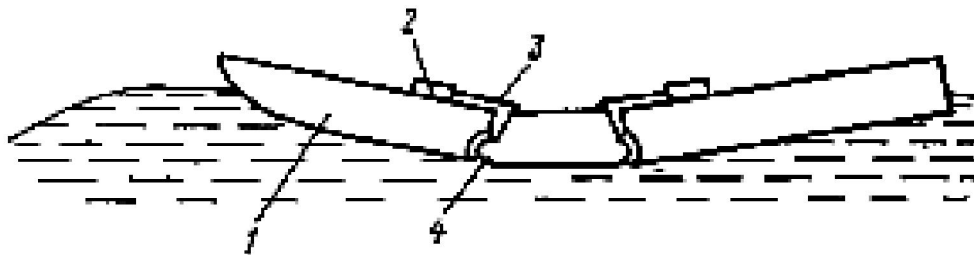


Рисунок 2 – Принципова схема виконання контурного плоту Коккерелля: 1 – секція, що коливається; 2 – перетворювач; 3 – тяга; 4 – шарнір

Контурний пліт Коккерелля встановлюється перпендикулярно до фронту дії хвилі і повторює її профіль. Модель цього гідрохвильового перетворювача в 1/10 величини, була випробовувана в 1977 році в протоці Солент в Англії, поблизу м. Саутгемптона [1]. Контурний пліт Коккерелля є багатоланковою (мінімум – трьох) системою з шарнірно сполучених секцій, які послідовно одна за одною підіймаються або опускаються хвилями і через тяги, наприклад, кривошипно-шатунного типу, перетворюють відносний рух секцій плоту в обертальний рух ротора електрогенератора. Для підвищення ефективності роботи електрогенератора, частота обертання його ротора може бути збільшена за рахунок використання між його валом і корінним валом кривошипу проміжних мультиплікаторів або підвищувальних пар зубчатих передач.



Ретельні лабораторні випробування моделі такого плоту в масштабі 1/10 показали [1], що його ефективність складає близько 45 %. Перевагою плоту є можливість використання вже розроблених секцій понтонного, або корабельного типу для прибережних електростанцій, що спрощує його проектування і виготовлення і дозволяє підняти зайнятість у уже існуючій суднобудівельній промисловості.

Однак недоліками використання даної гідрохвильової системи, є:

- 1) відносна складність виконання;
- 2) зменшення жорсткості корпусу на шарнірах, що створює додаткову небезпеку експлуатації системи, особливо у шторм;
- 3) ускладнення за рахунок шатунних тяг та перетворювачів їх руху, для яких радіус кривошипу треба постійно змінювати в автоматичному режимі, в залежності від параметрів хвиль, які діють на шарнірні секції корпусу;
- 4) при незмінному радіусі кривошипу, сектор коливального руху секцій змінюється відповідно параметрів хвиль, тому виникає зворотно-коливальний рух кривошипа, який фактично стає качалкою, що потребує виконання додаткових муфт обгону для вилучення реверсу ротора електрогенератора, а це відповідно ускладнює систему і збільшує небезпеку її пошкодження, особливо при дії потужних хвиль.
- 5) використання зубчатих передач при різких ударах хвиль може призвести до поломок зубців, що відповідно збільшить небезпеку відмов системи в цілому, а у разі заклинювання зубчатих коліс їх уламками – до підвищення тертя поверхонь цими уламками і збільшення загрози виникнення пожежі.

Фактично повторюють принципи дії плоту Коккерелля сучасні гідрохвильові станції (рис. 3), які розробляє компанія Columbia Power Technologies, США [3], Однак їх існування теж можливе, лише до першого сильного шторму.

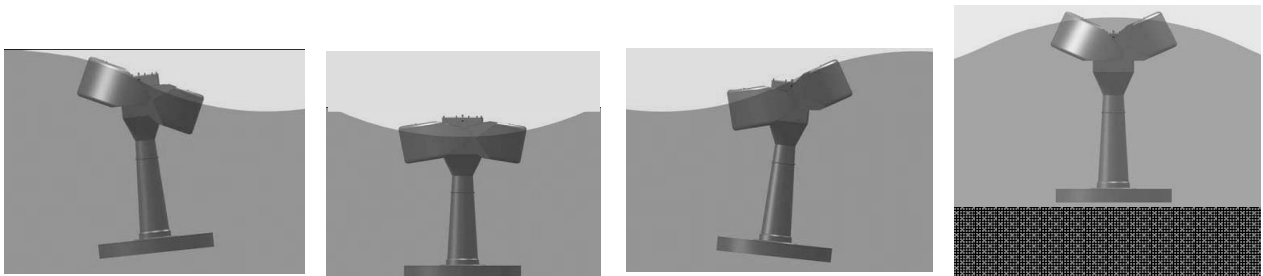


Рисунок 3 – Гідрохвильова станція компанії Columbia Power Technologies і фази її дії

Інші гідрохвильові енергетичні установки для відбору потенційної енергії E_g від підйому хвиль на висоту h_w , наприклад, пневмобуї Мацуди та інших розробників [1], є більш складними, ніж контурний пліт Коккерелля, тому мають менший ккд та надійність, і в даній роботі не розглядаються.

Для відбору гідрохвильовими енергетичними установками другого виду енергії – кінетичної E_v від поступального руху хвиль зі швидкістю v_x , можливе використання пристроїв на базі вертикально підвішених пластин, нахил яких хвилями, у першій прибережній станції, побудованій ще в 1899 році в Ошен-Грові, що на 110 км південніше від Нью-Йорка, перетворювався у поступальний механічний рух поршнів, що перекачували воду [1].

Оскільки отримувана при цьому енергія не є електричною, тому дана система далі не розглядається, але розглядається аналогічного принципу дії коливальна електромеханічна система [1], принципова схема якої показана на рис. 4.

Приймачем енергії морських хвиль служить тонка плоска плита (пластина) 1, на яку діють хвилі при їх поступальному русі. При періодичному тиску хвиль плита здійснює коливання відносно горизонтальної осі 2, яка може обертатися в підшипниках 3. Це коливання за допомогою штанги 4 передається закріпленій на ній зверху перемичці 5 з трансформаторного заліза, яка має два магніти 6, що адекватні ротору або якорю звичайного генератора. Нерухома частина адекватна статору генератора і складається



з П-подібного магнітопроводу 7, зібраного з тонких смужок трансформаторного заліза, застосування якого зменшує втрати на вихрові струми. На вертикальних стрижнях магнітопроводу насаджені дві котушки 8 з витками товстого мідного ізольованого дроту, які сполучені між собою послідовно і підключені на загальне навантаження. Вся конструкція зв'язана зварною рамою 9 зі сталевих профілів, на якій закріплені два підшипники ковзання, що підтримують вісь, а рама закрита захисною обшивкою.

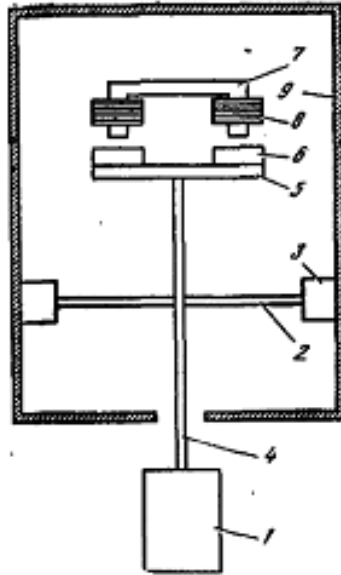


Рисунок 4 – Принципова схема перетворювача кінетичної енергії морських хвиль в електричну при коливанні вертикальної пластини і пов'язаних з нею магнітів відносно замкнутих контурів провідників

Під ударами хвиль плита періодично здійснює коливання і через штангу передає його закріпленим на ній зверху магнітам, рух яких відносно котушок змінює магнітний потік, що перетинає витки обмоток збудження обох котушок і, згідно закону електромагнітної індукції, в їх ланцюгах виникає електрорушійна сила, що утворює електричний струм.

У виконанні, як гідрохвильова електростанція, ця система кріпиться на узбережжі, але під дією потужних хвиль вона може бути зруйнована.

Відома також гідрохвильова енергетична установка, яка дозволяє відбирати обидва види енергії руху хвиль – потенційну E_g і кінетичну E_v . Нею є створений професором Единбурзького університету Стефаном Солтером перетворювач, названий на честь її творця «качка Солтера» [1]. Технічна назва такого класу перетворювачів – крило, що коливається на хвилях, їх принципова схема показана на рис. 5.

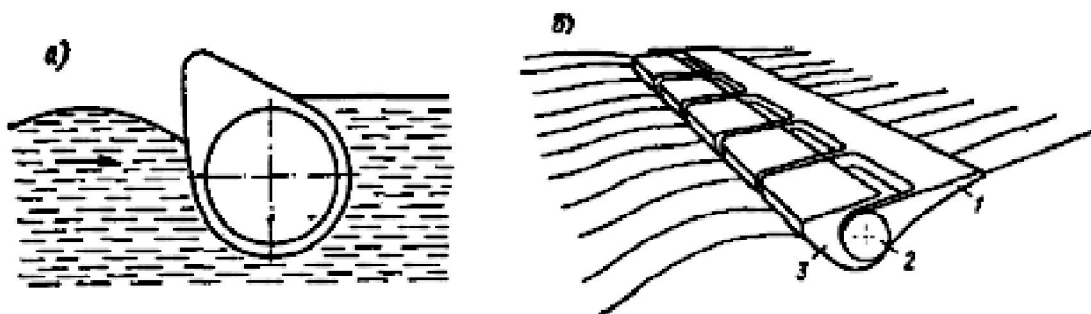


Рисунок 5 – «Качка» Солтера: а) – схема перетворення енергії хвилі; б) – варіант конструкції перетворювача, де: 1 – плавуча платформа; 2 – циліндрична опора з розміщеними в ній приводами і електрогенераторами; 3 – поплавок асиметричної форми



Форма цих перетворювачів підібрана так, щоб забезпечити максимальне добування потужності з вертикального і горизонтального руху морських хвиль, за рахунок чого їх ккд на резонансних частотах може досягати 90 % без урахування ккд електрогенераторів. Хвилі, що набігають на «качку» спереду (рис. 5), примушують її коливатися відносно лінії горизонту. Циліндрична форма протилежної поверхні «качки» забезпечує відсутність розповсюдження хвилі поза неї при коливаннях її навколо власної осі. Найбільша потужність може бути знята з вісі коливальної системи з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімум відведення енергії поза «качки». Відбираючи і пропускаючи через себе лише незначну частину повної енергії хвиль (приблизно 20 % [2], оскільки основну її частину складає енергія E_{ω} кругового руху крапель води у хвилі зі швидкістю ω , див. рис. 1), цей пристрій має високу ефективність перетворення в широкому діапазоні частот збуджуючих коливань, які створені хвилями [1].

Спочатку Солтером був створений макет вузькосмугової по частоті коливання хвиль «качки». У хвильовому басейні вона поглинала до 90 % суми енергій E_g і E_o руху хвиль. Перші випробування в умовах, близьких до морських, були проведені в травні 1977 року на озері Лох-Несс (Шотландія) [1], тоді 50-метрова низка з «качок» 20-метрової висоти загальною масою 16 т була спущена на воду і випробовувалася протягом 4-х місяців за різних хвильових умов. У грудні того ж року ця модель в 1/10 майбутньої довжини океанського перетворювача була знову спущена на воду і дала перший струм. Протягом 3-х місяців одного з найсуворіших зимових періодів, модель першої англійської гідрохвильової електростанції працювала з середнім ккд, близьким до 50 %, який є більшим, ніж у плотів Коккерелля.

Подальші розробки Солтера були направлені на те, щоб забезпечити кожній «качці» здатність протистояти ударам максимальних хвиль моря і створити низку з перетворювачів, що заякорена, у формі достатньо гнучкої лінії [1]. Передбачалось, що характерний розмір реальної «качки» буде приблизно дорівнювати $0,1\lambda$, що для 100-метрових атлантичних хвиль становить 10 м. Низку з «качок» протяжністю декілька кілометрів передбачалося встановити в районі з найбільш інтенсивним хвилюванням моря західніше Гебридських островів. Потужність всієї станції мала бути приблизно 100 мВт, однак небезпека від пошкодження системи великими хвилями не була усунута і вона не була впроваджена.

Окрім цього, іншими найбільш істотними недоліками для «качок» Солтера є:

1. Значне коливання потужності в залежності від параметрів хвиль.
2. Необхідність передачі і перетворення повільного коливального руху на привод генератора, для чого потрібне використання проміжних мультиплікаторів або підвищувальних зубчатих передач.
3. Необхідність використання муфт обгону для вилучення реверсу електрогенераторів.
4. Необхідність зняття потужності з пристрою, що плаває на значній глибині (тому в умовах морських приливів його треба віддаляти на значну відстань від узбережжя) і має велику протяжність, що становить небезпеку його розриву потужними хвилями.
5. Необхідність відстеження і зміни напрямку низки, для отримання високого ккд перетворень, внаслідок високої чутливості системи до кута β напрямку руху хвиль, яка має залежність $\eta = \cos \beta$.
6. Ускладнення при виготовленні, збірці і монтажі «качки», в наслідок складності криволінійної форми її поверхні.

Для відбору гідрохвильовими енергетичними установками третього виду енергії – кінетичної E_{ω} кругового руху крапель води у тілі хвилі з кутовою швидкістю ω [2], можливе використання приводу на базі барабанних коліс, наприклад за заявкою на патент Російської Федерації [4], показаних на рис. 6.

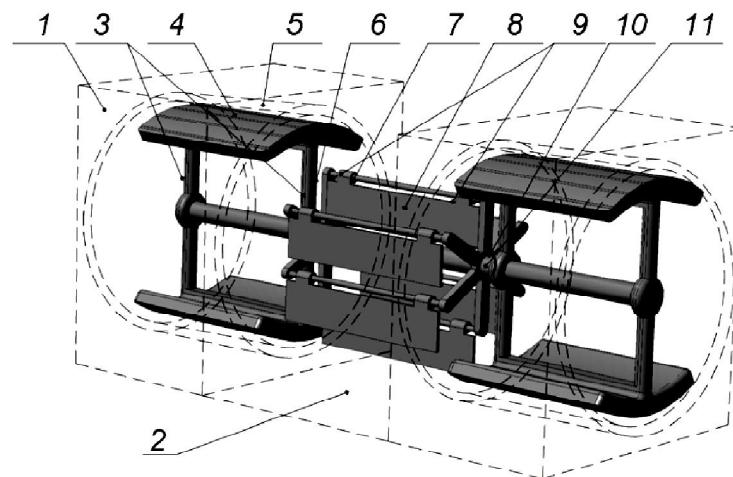


Рисунок 6 – Принципова схема гідрохвильової енергетичної установки з приводом барабанного типу

Така система має герметичні корпуси 1 для горизонтальної установки в них електрогенераторів і пройму 2 для проходу між ними хвиль. Електрогенератор має якор, або ротор зі стійками 3 і системою магнітів, або електромагнітів 4 збудження магнітного поля, який введений в статор 5 з системою обмоток котушок збудження електричного струму. Приводом для кругового руху роторів є барабан, утворений П-подібними рамами 6, у яких на горизонтальних периферійних поперечинах 7 встановлені поворотні лопатні 8 на шарнірних навісах 9. Корпуси 1 мають отвори 10 з водонепроникними ущільненнями для вводу кінців валу барабану, які з'єднані муфтами 11 з валами роторів. При обертанні барабанів хвилями вільно підвішені лопатні не створюють опору руху води в нижній його частині, а створюють опір лише у верхній його частині, за рахунок упору вільно підвішених лопатній у стійки рам.

Найбільш небезпечним в усіх розглянутих вище виконаннях гідрохвильових електрогенераторів є використання зовнішніх пристроїв для перетворення енергії хвиль, оскільки для них існує велика ймовірність пошкодження великими хвилями. Тому використання таких гідрохвильових установок признано недоцільним, а для усунення цих недоліків потрібен пошук нових технічних рішень.

Нові варіанти виконання суднових гідрохвильових енергетичних установок та безпека їх використання

Новий напрямок розвитку гідрохвильової енергетики пов'язаний з системами електрогенераторів маятникового типу за патентами Російської Федерації на винаходи [5, 6], схема яких показана на рис. 7.

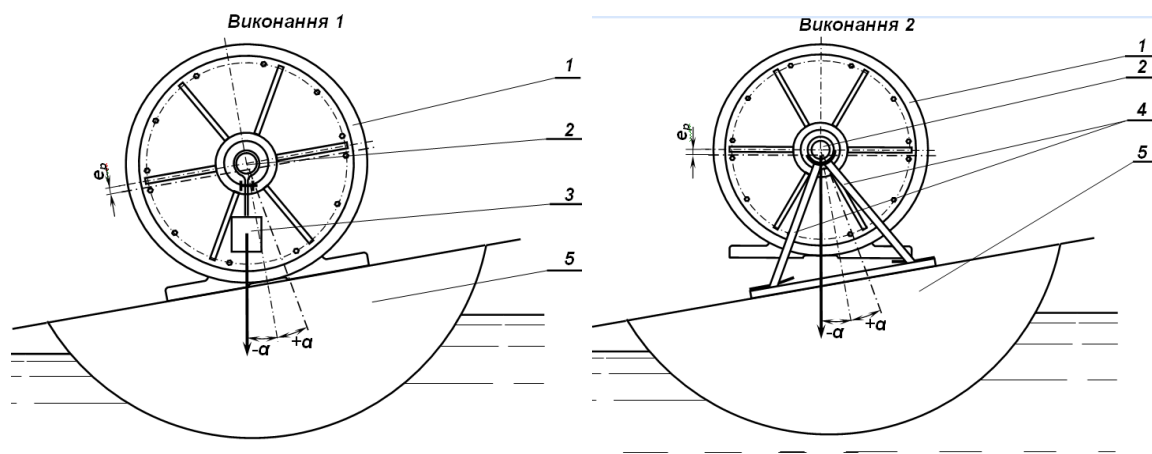


Рисунок 7 – Принципові схеми гідрохвильових електрогенераторів маятникового типу



Якщо в існуючих електрогенераторах 1 ротор 2 виконують статично збалансованим, то у новій системі на нього надягають вантаж 3 (виконання 1), або генератор 1 встановлюють ротором 2 на опори 4, з вільним підвісом статора (виконання 2), який статично невірноважений за рахунок зміщення e_p центру його маси відносно осі підвісу ротора, що забезпечує ротору або статору строгу орієнтацію до центру Землі. При встановленні таких систем на плаваючий засіб 5, який коливається хвилями на кут $\pm\alpha$, статор і ротор генератора здійснюють аналогічні коливання відносно один одного, що веде до вироблення ними електричного струму. Такі системи генераторів можуть встановлюватися у трюмі корпусу плаваючого засобу один за одним рядами та шеренгами.

За заявкою на патент Російської Федерації на винахід [7], можливе збільшення кількості обертів роторів за одне коливання системи (рис. 8, виконання 1). Генератори 1, що мають статор 2 і ротор 3, можуть бути встановлені на опорах 4 з віссю 5 на кінцівках 6, зі зміщенням осі 7 ротора відносно осі 5 проміжних зубчатих коліс 8, які введені в зачеплення з шестернею 9 на валу ротора і з внутрішнім зубчатим вінцем 10 на корпусі статора. При цьому ексцентриситет осі підвісу і центру маси генератора забезпечує йому стійку орієнтацію до центру Землі і вироблення електричного струму за розглянутим вище принципом. Окрім збільшення частоти обертання і ексцентриситету, перевагою нової системи є примусове протилежне обертання ротора і статора, що забезпечує їй чутливість, при нахилі хвилями на кут $\alpha \leq 1^\circ$.

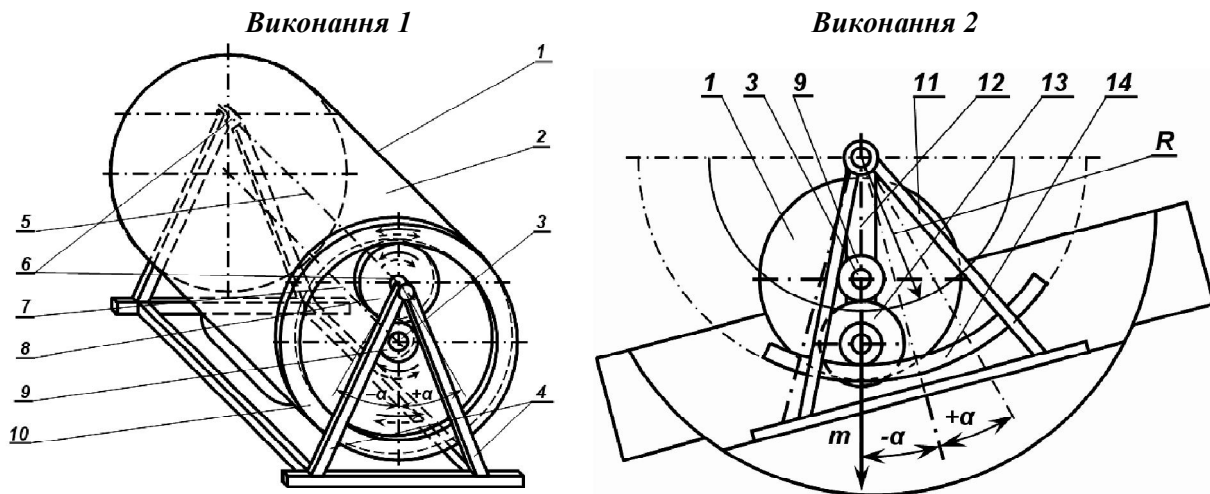


Рисунок 8 – Принципові схеми маятникових гідрохвильових електрогенераторів з проміжними зубчастими колесами

Ще більший ефект можливий при підвішуванні електрогенератора 1 на збільшеній висоті стійках 11 на стрижні 12 (рис. 8, виконання 2), а для збільшення частоти обертання ротора 3, його шестерня 9 через блок зубчатих коліс 13 введена в зачеплення з сектором 14 з внутрішнім зубчатим вінцем, закріпленим на стійках. При цьому суттєво збільшується радіус R (ексцентриситет) коливання центру мас m системи, яку складає електрогенератор зі стрижнями та зубчастими колесами.

Енергетичний потенціал E такої системи в межах кутів коливання хвилями $\pm\alpha = 10^\circ$ зростає прямопропорційно від росту радіусу R і маси m , а від кута α – в межах залежності:

$$E = gmR(1 - \cos \alpha), (\text{Дж}),$$

де g – прискорення вільного падіння.

Наприклад, при середній масі системи $m = 10$ т, радіусі $R = 27$ м, мінімальному куту $\alpha = 1^\circ$ і максимальному куту $\alpha = 10^\circ$, енергетичний потенціал 1-го генератора становитиме:

$$E_{\min} = 9,8 \cdot 10 \cdot 27 \cdot (1 - \cos 1^\circ) \approx 0,4 (\text{кДж}),$$



$$E_{\max} = 9,8 \cdot 10 \cdot 27 \cdot (1 - \cos 10^\circ) \approx 40 \text{ (кДж)}.$$

З урахуванням мінімального періоду коливання корпусу плаваючого засобу $\tau_{\min} = 2$ с при $\alpha = 1^\circ$, і максимального $\tau_{\max} = 6$ с при $\alpha = 10^\circ$, потужність, яку може розвивати кожен такий генератор, становитиме від 0,2, до 6,7 кВт/год, а при розміщенні на гідрохвильовій станції з корпусом, довжиною 120 м та шириною 16 м, згідно показаної на рис. 9 схеми, 48 генераторів 1 і 144 генераторів 2 з вантажами 3 і 4, її загальна потужність становитиме від 32 до 1000 кВт/год. При цьому донна секція з остовом, поперечні і верхні палубні перегородки забезпечують корпусу необхідну міцність і жорсткість, а ходовий електродвигун з приводом ходового гвинта – можливість відведення плаваючого засобу в укриття при сильному штормі, відвід на берег виробленої електроенергії забезпечується кабелем з котушкою.

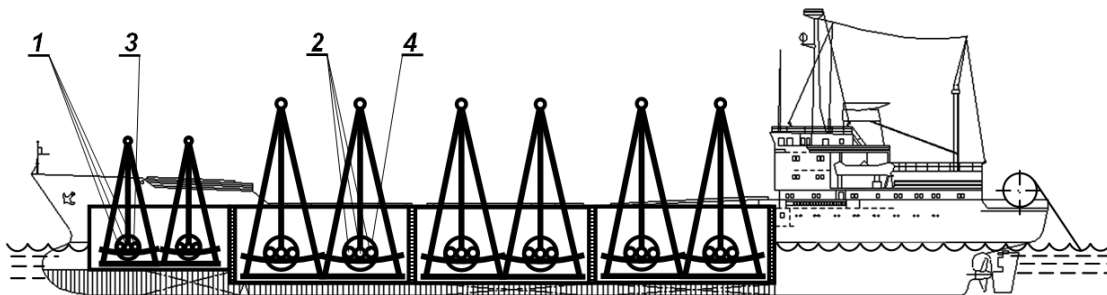


Рисунок 9 – Плаваюча прибережна електростанція з гідрохвильовими генераторами маятнікового типу

Утримання станції можливе за рахунок якорів, а маневрування – за рахунок підрульних пристроїв. Таким чином, найбільш доцільне розміщення таких гідрохвильових станцій у місцях, де мінімальна висота хвиль становить 1,5 м, що реально можливо в 40-х широтах океанів. Їх переваги у порівнянні з «плотами Коккерелля» та «качками Солтера» – маневреність відносно фронту підходу хвиль і можливість укриття в бухтах і портах при наближенні сильного шторму за рахунок власних підрульних та ходових електродвигунів. Продовжна орієнтація генераторів – поперек корпусу судна, оскільки подолання хвиль носом до фронту їх підходу є більш безпечним при ході судна.

Така система усуває недоліки розглянутих на рис 2-5 гідрохвильових систем: корпус судна не має суттєвих змін відносно базового виконання і залишається жорстким, відсутні шарнірні з'єднання, тяги і кривошипи, спрощена орієнтація корпусу до фронту підходу хвиль, що підвищує безпеку експлуатації. Системи перетворень коливального руху хвиль в обертальний рух роторів генераторів і вироблення ними електричної енергії, спрощені до рівня використання вже існуючих електрогенераторів. Відсутні також зовнішні елементи для сприйняття руху хвиль, що усуває можливість їх пошкодження хвилями. Загальний ккд даних систем є найбільшим з усіх раніше впроваджених [1], оскільки його обмеження пов'язані лише з косинусом φ електрогенераторів, який становить величину 0,75...0,85 та ккд двох зубчатих передач, який становить величину 0,97...0,98 і двох опорних підшипників стійок, який становить величину 0,98.

Для прибережних електростанцій відсутня необхідність установки на великій глибині, далеко від берегу і його захисних споруд, та збирання у довгу низку і т.д.

Однак використання запропонованої системи гідрохвильової енергетики має суттєві обмеження. В першу чергу вони пов'язані з розмірами корпусів, оскільки при їх довжині більше 200 м і ширині більше 30 м, хитами хвилями неістотна, навіть при хвилюванні моря у 6 – 7 балів, а при більшому хвилюванні експлуатація електростанцій небезпечна, їх рекомендовано відводити в порт, бухту, або інше укриття. Другим її недоліком є відносно невелика потужність гідрохвильових електрогенераторів, що змушує збільшувати їх кількість з розміщенням у трюмі.



Важливою особливістю запропонованих електростанцій є можливість відводу їх в укриття, тому на ній може бути присутній обслуговуючий персонал, в обов'язки якого входять також функції догляду за маятниковими системами та електрогенераторами. Для цього повинні бути виконані відповідні проходи згідно санітарних норм експлуатації електрогенераторів. Інші умови охорони праці і безпеки використання маятникових електрогенераторів не відрізняються від вже існуючих, тому ці питання потребують лише незначної доробки й уточнень, однак їх особливістю є: розгойдування генераторів на стійках, що потребує введення навколо їх зон спеціальних прозорого типу захисних огорожень, розфарбування і попереджувальних написів, а також ретельного розрахунку опор на статичну міцність і динамічну остійність, та на втомну міцність і зносостійкість, з відповідною розробкою графіків періодичності огляду і попереджувального ремонту.

Таким чином, запропоновані гідрохвильові енергетичні установки можуть бути рекомендовані для суднових корпусів невеликих розмірів: до 150 м у довжину та до 20 м у ширину, з водотоннажністю до 25 тис. т.

Загальні висновки з роботи. Проведений аналіз показав, що на транспортних судах невеликих розмірів можливе і найбільш доцільне використання гідрохвильових електрогенераторів маятникового типу за заявкою на патент Російської Федерації на винахід [7].

Для прибережних гідрохвильових електричних станцій вони можуть бути рекомендовані в усіх можливих випадках їх використання, оскільки гарантовано забезпечують вироблення електричної енергії і усувають основні недоліки раніше використовуваних для цього систем на базі «плота Коккерелля» та «качки Солтера».

В цілому, охорона праці та безпека експлуатації на суднах запропонованих систем адекватна безпеці експлуатації електрогенераторів і редукторів, однак має місце ряд особливостей, які пов'язані з розмірами корпусів та умовами їх експлуатації, у першу чергу з їх хитавицею хвилями у бортовому і кільовому варіантах. Додаткову небезпеку створює розхитування генераторів, як маятників, що потребує введення навколо зони їх гойдання спеціальних прозорих захисних огорожень, розфарбування і попереджувальних написів та ретельного розрахунку опор на статичну міцність і динамічну остійність, а також на втомну міцність і зносостійкість, з відповідною розробкою графіків періодичності огляду і попереджувального ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вершинский Н. В. Энергия океана / Н. В. Вершинский. – М. : Наука, 1986. – 152 с.
2. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : курс лекций / В. А. Агеев. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 2004. – 343 с.
3. Електронний ресурс. – Режим доступу : www.ansysolutionys.ru Adobe Reader - [ANSYS-Advatage-15-2011-AQWA.pdf]
4. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение. Плавучая или стационарная прибрежная электростанция / Настасенко В. А. – № 2012125506 заявл. 19.06.12.
5. Патент Российской Федерации на изобретение № 2396673, МПК H02K 19/00. Генератор электрического тока, его варианты и способы их установки / Настасенко В. А. ; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2009100832/09 заявл. 12.01.09. ; опубл. 10.08.2010, БИ № 22.
6. Патент Российской Федерации на изобретение № 2397104, МПК B63C 9/02. Спасательная шлюпка с устройством для обеспечения ее хода и ее не прямое применение / Настасенко В. А. ; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2009100835/09 заявл. 12.01.09. ; опубл. 20.08.2010, БИ № 23.



7. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение. Маятниковый гидроволновой генератор электрического тока / Настасенко В. А. – № 2012125508 заявл. 19.06.12.

Настасенко В.А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены основные разновидности современных гидроволновых электростанций, которые могут существенно уменьшить расходы традиционных топлив на выработку электрической энергии. Показано, что среди существующих разновидностей наиболее перспективными являются гидроволновые электростанции маятникового типа, которые нуждаются в разработке для них правил охраны труда, по которым в данной работе выделены основные начальные положения.

Ключевые слова: экономия топлива, гидроволновая энергетика, электрогенераторы маятникового типа.

Nastasenko V.A. PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HYDRO-WAVE POWER STATIONS AND PECULIARITIES OF LABOR PROTECTION AND SAFE EXPLOITATION

The basic varieties of modern hydro-wave power-stations which can substantially decrease expenses traditional fuels for making of electric energy are considered. It is rotined that among existent varieties most perspective are hydro-wave power-stations of pendulum type, which needs for them development of rules of guard labor for which substantive initial provisions are selected in this work.

Keywords: fuel economy, hydro-wave power, pendulum-type electric generator.

Статтю прийнято
до редакції 30.10.2013



УДК 662.612:331.45

СОЗДАНИЕ БЛАГОПРИЯТНОЙ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

*Селиванов С.Е., Михайлик В.Д., Исаев Е.А.
Херсонская государственная морская академия*

В работе предложена новая технология сжигания любого, в том числе и низкокачественного угля, в кипящем слое. Показано, что сгорание топлива осуществляют при температуре 1700-2600 К и давлении пара 10^1 - 10^4 МПа, причем топливно-воздушную смесь подают вместе с водяным паром в энергетическую установку противотоком вторичному воздуху. Преимущество разработанного способа состоит в интенсификации сгорания топлива за счет оптимальных параметров сгорания и диссоциации водяного пара, которая протекает с получением водорода и который сгорает вместе с топливом. Предложенный способ и проведенные нами исследования по сжиганию топлива позволили повысить экономичность сжигания топлива, а прибавление в кипящий слой определенного количества мелкой извести или зернистого доломита связывает серу и ее вредные соединения при сгорании низкокачественного угля и тем самым улучшаются условия труда за счет устранения действия вредных окислов серы на человека и окружающую среду, что свидетельствует об экологичности предложенной технологии.

Ключевые слова: технология, сжигание, уголь, кипящий слой, интенсификация, энергетическая установка, экономичность, экологичность.

Введение. Сегодня потребности в нефти и природном газе обеспечены на 50-70 лет, по оптимистическим прогнозам на 100-150 лет и цены на них неуклонно повышаются.

В нашей стране, в настоящее время, образовался дефицит природного газа, и это при колоссальных резервах каменного угля, основного топливного ресурса Украины, запасов которого достаточно для всей экономики на 400 лет.

Согласно Энергетической стратегии Украины, объем внутреннего потребления угля к 2015 году должен увеличиться до 98,7 млн. т. Такие же тенденции проявляются в энергетически развитых экономиках Германии, США, ЮАР, Китая, Англии и даже «газовой империи» – России. Потому что, в отличие от нефти и газа, запасы угля распределены по странам и регионам более равномерно и поставки угля менее подвержены геополитической конъюнктуре.

Поэтому в настоящее время достаточно актуальной является проблема более широкого применения каменного угля, т.е. уменьшение потребления газа – замещением его отечественным углем на ТЭС, ТЭЦ, в коммунальных и промышленных котельных.

Отказаться от использования угля в энергетике сегодня невозможно и поэтому необходимы решения, позволяющие повысить эффективность его сжигания, а также снизить или ликвидировать выбросы в атмосферу вредных веществ [1].

Однако основная масса добываемого из недр земли угля отличается низким качеством из-за содержания минеральных примесей, влаги и серы. И для применения его в качестве эффективного топлива необходимо как можно полнее реализовать физико-химический потенциал такого угля.

Для сжигания высококалорийных углей разработаны серийные котлы со слоевыми топками, которые практически не способны эффективно работать на низкокачественном топливе из-за слабой устойчивости их воспламенения и неполного выгорания, что приводит к неэкономичности использования таких котлов, которые к тому же создают не благоприятную санитарно-гигиеническую обстановку при сжигании топлива.

Поэтому актуальной задачей в этой работе является рассмотрение имеющихся разработанных технологий по сжиганию низкосортных и высокосольных углей. Определить положительную сторону и недостатки применяемых технологий, а для этого необходимо раскрыть физическую суть сжигания топлива.



Известно [2], что одной из эффективных технологий сжигания низкосортных и высокозольных (до 80 %) углей является использование кипящего слоя.

Сжигание в кипящем слое – одна из технологий сжигания твёрдых топлив в энергетических котлах, при которой в топке создаётся кипящий слой из частиц топлива и негорючих материалов.

Физическая картина кипящего слоя создаётся в тех случаях, когда некоторое количество твёрдых частичек находится под воздействием восходящего потока газа или смеси из газа и жидкости, благодаря чему твёрдые частички находятся в парящем состоянии. Такая система ведёт себя подобно жидкости.

Рассматривая кипящий слой в энергетической установке видим, что верхняя поверхность кипящего слоя является относительно горизонтальной и ведёт себя как жидкость находящаяся в покое. Поскольку кипящий слой можно рассматривать как неоднородную смесь жидкой и твёрдой фаз, то это может быть представлено как единая масса с единой плотностью. Частицы с более высокой плотностью, чем единая плотность кипящего слоя будут опускаться вниз, а частицы, имеющие плотность меньшую единой плотности кипящего слоя, будут подниматься. Такое поведение кипящего слоя можно рассматривать как жидкость, подчиняющуюся закону Архимеда, т.е. закону гидростатики.

Таким образом, единственной на сегодня технологией, которая позволяет эффективно сжигать низкосортное твёрдое топливо, является технология так называемого кипящего слоя, когда частицы угля находятся во взвешенном состоянии, что обеспечивает их быстрое и полное сгорание. На принципе получения кипящего слоя создан генератор, в котором используется свойство псевдооживления (рис. 1).

Отметим, что псевдооживление, превращение слоя зернистого материала под влиянием восходящего газового или жидкостного потока либо иных физико-механических воздействий в систему, твердые частицы которой находятся во взвешенном состоянии, и напоминающую по свойствам жидкость – псевдооживленный слой. Из-за внешнего сходства с кипящей жидкостью псевдооживленный слой часто называют кипящим слоем [3].

Для большего понимания, что происходит в генераторе приведем рис. 1 схематического реактора с кипящим слоем, использующего свойство псевдооживления.

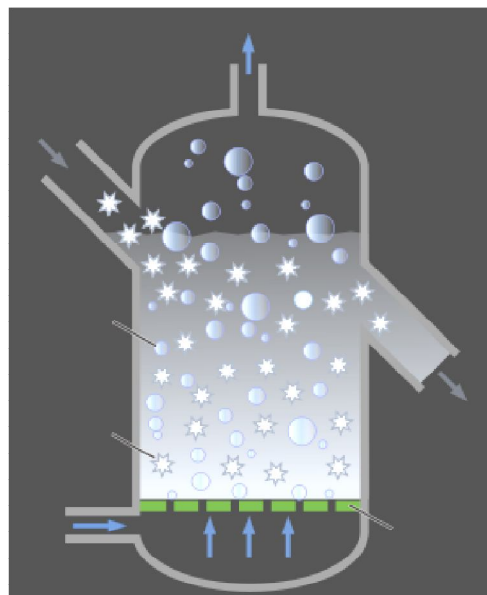


Рисунок 1 – Схематический реактор с кипящим слоем, использующего свойство псевдооживления

Рассмотрим работу генератора. Твердые частицы топлива вводятся в генератор и оседают в виде слоя. Газ поступает в реактор через распределитель потока газа. Когда поток газа вводится через дно смеси зернистого материала с жидкостью или газом, этот



поток будет двигаться вверх через пустоты между зёрнами материала. При низких скоростях газа, силы аэродинамического лобового сопротивления каждого из зёрен, действующие со стороны потока газа, также невелики, и поэтому слой остаётся в связанном состоянии. При увеличении скорости потока газа силы аэродинамического лобового сопротивления, действующие на зёрна, возрастают и начинают противодействовать силам гравитации, что принуждает слой к увеличению его объёма. Последнее обусловлено тем, что твёрдые зёрна стремятся двигаться друг от друга. Дальнейшее увеличение скорости потока приводит к тому, что объём достигает некоторого критического значения, при котором поднимающие зёрна вверх силы аэродинамического лобового сопротивления становятся равными гравитационным силам, тянущим зёрна вниз. Это приводит зёрна к тому, что они «висят» в потоке газа или жидкости. При критическом объёме слой обладает свойствами жидкости. При дальнейшем увеличении скорости потока газа, «единая плотность» («средняя плотность») слоя будет продолжать уменьшаться, и процесс псевдооживления будет становиться более интенсивным до тех пор, пока зёрна не перестанут образовывать единый слой и частицы не начнут подниматься вверх, увлекаемые потоком газа.

Псевдооживленный слой ведёт себя подобно жидкости или газу и будет принимать форму занимаемой ёмкости, его поверхность остаётся перпендикулярной гравитационным силам; зёрна с плотностью, меньшей чем «единая плотность» слоя будут подниматься на поверхность, в то время как объекты с плотностью более высокой чем «единая плотность» слоя опускаются на дно.

Данный метод сжигания топлива отличается высоким уровнем смешения топлива и окислителя, повышенным по сравнению со слоевыми топками временем пребывания топлива в зоне горения, интенсивным теплоотводом к поверхностям нагрева, отсутствием движущихся частей в топочном объёме, возможностью сжигания в одном агрегате топлив различного состава и качества, пониженным до 1-5 % содержанием топлива в слое. Такая технология облегчает воспламенение топлива, препятствует спеканию топливных частиц и шлакованию конвективных поверхностей нагрева.

Формулировка цели работы. Проанализировать способ сжигания топлива в кипящем слое, предложить разработанный нами новый способ интенсификации процесса горения топлива, экономичности сгорания топлива в кипящем слое, снижения выхода вредных веществ при сгорании топлива, что создает благоприятную санитарно-гигиеническую обстановку в окружающей среде и в рабочей зоне за счет улучшенной технологии сжигания топлива.

Изложение материалов исследования. Проанализировав способ сжигания топлива в кипящем слое остановимся на недостатках применения данного способа опубликованных в различных литературных источниках [3, 4].

Топки кипящего слоя не чувствительны к качеству угля в смысле его химического состава. Для горения в данных топках требуется создать воздухо-распределительную решётку и вентилятор большей мощности.

В числе других недостатков топок этого типа является:

- вынос до 20-30 % всего углерода угля (поэтому эти топки рекомендуют применять при возможности дожигания уноса размером 0-1 мм в рабочем пространстве котла);
- зашлаковывание межсоплового пространства и самих сопел воздухо-распределительных колосниковых решеток при недостаточном динамическом напоре воздуха;
- очень большой абразивный износ теплопередающих поверхностей, особенно высокий у погруженных.

Эффект интенсивного горения при сжигании в кипящем слое, можно получить постоянным встряхиванием колосника с кусками угля любого размера; но из-за снижения



прочности металла колосника при высокой температуре этот способ сложно практически реализовать.

Как показала практика, использование подобных топок для сжигания угля не является полностью автоматизированным. В топках с циркулирующим кипящим слоем выносятся значительная часть недогоревшего топлива.

При использовании распылительных форсунок, при помощи которых уголь вводится в слой, если они расположены близко к распределительной решетке, топливо попадает в застойные зоны мелкозернистого материала, коксуется и образует с этим материалом крупные агломераты, затрудняющие дальнейшую работу топки. Если форсунки размещены высоко от решетки, топливо не успевает сгорать в псевдооживленном слое. Вследствие этого необходимо увеличить высоту слоя, что приводит к перерасходу электроэнергии.

В авторском свидетельстве Месропяна Н. М., Раввича Ю. М. [5] приведена возможность устранения указанных недостатков. Это достигается тем, что топливо подают в зону слияния активных струй газа. Для улучшения горения топливо и распыливающий воздух предварительно подогревают в специальных теплообменниках, которые могут быть установлены в псевдооживленном слое.

Анализируя этот способ авторы Эльперин И. Т., Михайлик В. Д. показали в авторском свидетельстве «Способ сгорания топлива в кипящем слое путем струйной подачи смеси первичного воздуха и топлива навстречу струям вторичного воздуха» [6], что недостатком способа [5] является низкая интенсивность сжигания, обусловленная недостаточным полным и некачественным смешением струй воздуха и топливно-воздушной смеси.

Авторское свидетельство [6], как изобретение, явилось прототипом патента Украины Михайлика В. Д., Цымбала В. А. [4], в котором показано, что в авторском свидетельстве [6], т.е. в его техническом решении присутствует недостаточная интенсивность сгорания топлива из-за не определения оптимальных параметров сгорания, в частности температуры, давления и, что важно не предложено использование водяного пара в процессах сгорания топлива.

В основу патента [7] и наших разработок по способу сжигания топлива в кипящем слое поставлена задача обеспечить интенсификацию процесса сгорания топлива путем оптимизации параметров, в частности температуры и давления, а также за счет диссоциации водяного пара на водород и кислород и сгорание водорода вместе с топливом.

Поставленная задача решается в предложенном способе сгорания топлива в кипящем слое путем струйной подачи смеси первичного воздуха и топлива и вторичного воздуха, с использованием водяного пара тем, что сгорание топлива проводят при температуре 1700-2600 К и давления пара 10^{-1} - 10^{-4} МПа, причем топливно-воздушную смесь подают вместе с водяным паром противотоком (навстречу) вторичному воздуху.

Эти признаки обеспечивают интенсификацию процесса сгорания топлива за счет указанных параметров (температуры сгорания и давления пара), а также благодаря диссоциации водяного пара и сгоранию полученного водорода вместе с топливом. Часть водорода вследствие диссоциации пара меняется от 1,5 % до 30 %, согласно нашему теоретическому исследованию, при условии указанных параметров пара. Водород – это то добавленное топливо, которое существенно повышает тепло и интенсивность сгорания совместного топлива и водорода.

Суть наших исследований объясняется примером реализации способа сгорания топлива в схематически изображенном устройстве (рис. 2).

Устройство имеет камеру 1 со слоем зернистого материала, сопло 2 для подачи смеси первичного воздуха, топлива и водяного пара, насадок-фурму 3 для подачи смеси, короб 4 вторичного воздуха, газораспределительную решетку 5 для подачи вторичного воздуха в слой мелкозернистого материала.

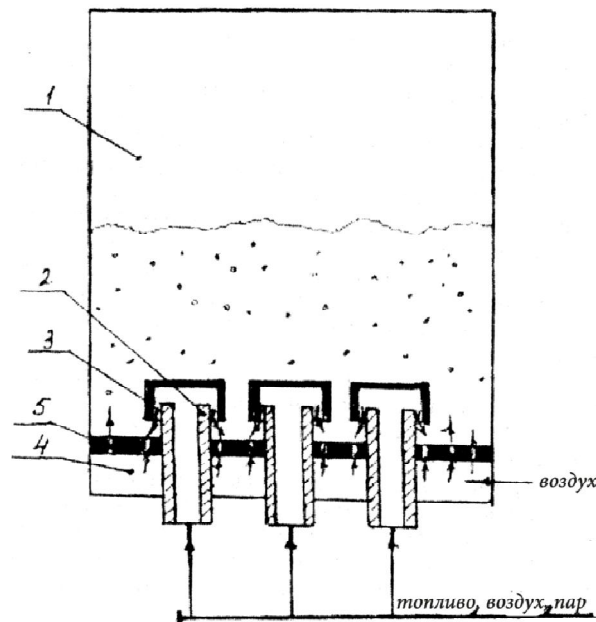


Рисунок 2 – Схема сгорания топлива в кипящем слое

Устройство работает следующим образом. В камеру 1, выполненную из огнестойкого материала (кирпича), засыпают слой мелкозернистого материала, например, зернистый уголь или его смесь с известью. В короб 4 под газораспределительную решетку 5 подают вторичный воздух. Через отверстия решетки 5 воздух поступает в камеру 1 и псевдоразряжает зернистый материал, за счет чего создается кипящий слой. После этого в камеру 1 по соплам 2 подают смесь топлива, воздух и водяной пар через насадки 3. В результате этого, смесь топлива с первичным воздухом и водяным паром подается в отдельных точках сверху вниз в кипящий слой навстречу потоку вторичного воздуха, псевдоразряжая зернистый материал. При этом происходит равномерное, интенсивное и полное сгорание топлива при температуре 1700-2600 К и давления пара 10^{-1} - 10^{-4} МПа. Водород после диссоциации водяного пара также интенсивно сгорает, в результате чего достигается интенсивное выделение тепла, суммарное количество которого превышает теплотворность данного конкретного топлива. Путем подбора высоты сопел 2, а также скорости истечения смеси и вторичного воздуха достигается полное сгорание топлива без создания агломератов зернистого материала.

Использование данного способа позволит обеспечить экономичность сгорания топлива. Экологичность такой технологии сгорания особенно проявляется при сгорании, например, мелкого угля, который содержит серу. В этом случае в кипящий слой такого угля прибавляют определенное количество мелкой извести или зернистый доломит, который связывает серу, и ее вредные соединения.

Выводы и перспективы использования. Предложена новая технология сжигания любого, в том числе и низкокачественного угля, в кипящем слое. Проведенные исследования по сгоранию топлива осуществляют при температуре 1700-2600 К и давлении пара 10^{-1} - 10^{-4} МПа, причем топливно-воздушную смесь подают вместе с водяным паром противотоком вторичному воздуху в энергетическую установку. Преимущество разработанного способа состоит в интенсификации сгорания топлива за счет оптимальных параметров сгорания и диссоциации водяного пара, которая протекает с получением водорода и который сгорает вместе с топливом. Предложенный способ [7] и проведенные нами исследования по сжиганию топлива позволили повысить экономичность сжигания топлива, а прибавление в кипящий слой определенного количества мелкой извести или зернистого доломита связывает серу, и ее вредные соединения при сгорании низкокачественного угля и тем самым улучшаются условия



труда за счет устранения действия вредных окислов серы на человека, и окружающую среду, что говорит об экологичности предложенной технологии.

Способ может быть использован в энергетике, химической отрасли промышленности, в производстве строительных материалов, для термообработки разных зернистых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейндлин А. Размышления о некоторых проблемах энергетики / А. Шейндлин // Наука и жизнь. – 2004. – № 8. – С. 15-20.
2. Опыт сжигания низкосортного топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 МВт / [Власюк А. В., Зембицкий П. Ю., Кучин Г.П. и др.] // Новости теплоснабжения. – 2001. – № 10 (14). – С. 15-16.
3. Гельперин Н. И. Основы техники псевдоожижения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – М. : Химия, 1967. – 664 с.
4. Баскаков А. П. Котлы и топки с кипящим слоем / А. П. Баскаков, В. В. Мацнев, И. В. Распопов. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 160 с.
5. А.с. 418678, М. Кл. Г 23 Д 19/02. Способ сжигания жидкого топлива / Н. М. Месропян, Ю. М. Раввич. – № 418678 заявл. 08.07.71 ; опубл. 05.03.74, Бюл. №9.
6. А.с. 663963. М. Кл². F 23 C 9/02. Способ сжигания топлива / И. Т. Эльперин, В. Д. Михайлик. – № 663963 заявл. 27.12.76. ; опубл. 25.05.79., Бюл. № 19.
7. Пат. України 101008. Спосіб згорання палива / Михайлик В. Д., Цимбал В. А.; заявник і патентовласник ХНТУ. – заявл. 09.08.2010; опубл. 25.02.2013., Бюл. № 4.

Селіванов С.Є., Михайлик В.Д., Ісаєв Є.О. СТВОРЕННЯ СПРИЯТЛИВОЇ САНИТАРНО-ГІГІЄНИЧНОЇ ОБСТАНОВКИ ЗА РАХУНОК ПОЛПШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА

У роботі запропонована нова технологія спалювання кожного, у тому числі й низькоякісного вугілля, у киплячому шарі. Показано, що згорання палива здійснюють при температурі 1700-2600 К і тиску пари 10^{-1} - 10^{-4} МПа, причому паливно-повітряну суміш подають разом із водяною паром в енергетичну установку протитечією вторинному повітрю. Перевага розробленого способу полягає в інтенсифікації згорання палива за рахунок оптимальних параметрів згорання й дисоціації водяної пари, яка протікає з одержанням водню і який згоряє разом з паливом. Запропонований спосіб і проведені нами дослідження зі спалювання палива дозволили підвищити економічність спалювання палива, а додавання у киплячий шар певної кількості дрібного вапна або зернистого доломіту зв'яже сірку і її шкідливі з'єднання при згорянні низькоякісного вугілля й тим самим поліпшуються умови праці за рахунок усунення дії шкідливих окислів сірки на людину і навколишнє середовище, що свідчить про екологічність запропонованої технології.

Ключові слова: технологія, спалювання, вугілля, киплячий шар, інтенсифікація, енергетична установка, економічність, екологічність.

Selivanov S.E., Mihailik V.D., Isaev E.A. CREATE FAVORABLE HEALTH HYGIENIC SITUATION BY IMPROVING THE TECHNOLOGY BURNING FUEL

In this paper we propose new combustion technology, including low-quality coal in a fluidized bed. It is shown that the combustion is carried out at a temperature of 1700-2600 K and a vapor pressure of 10^{-1} - 10^{-4} MPa, and the fuel-air mixture is fed together with steam into the power plant countercurrent to the secondary air. The advantage of the method is in intensification of the fuel combustion due to the combustion and optimum dissociation of water vapor that occurs with hydrogen as result and which is burned together with the fuel. The proposed method and our research on combustion have improved combustion efficiency and the addition of lime binds or grained dolomite into fluidized bed connect the sulfur and its harmful compounds during the combustion of low-quality coal, thereby improving working conditions by eliminating the effect of harmful sulfur oxides on man and the environment, indicating that the proposed technology is ecological.

Keywords: technology, combustion, coal, fluidized bed, intensification, power plant, efficiency, ecological compatibility.

Статтю прийнято
до редакції 22.11.2013



УДК 621.318

РАСЧЕТ ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕННОСТЕЙ В СИММЕТРИЧНОМ УНИВЕРСАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ

Шиндерук С.А.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Проведенный анализ электромагнитных процессов в симметричном универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки позволил получить расчетные соотношения для радиальной зависимости возбуждаемого тока и компонент напряжённости магнитного поля в листовой заготовке рассматриваемой системы, а так же построены радиальные зависимости распределения плотности индуцированного тока и напряжённости магнитного поля.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, плотность индуцированного тока, напряженность магнитного поля, тонкостенный экран, индуктор.

Введение. В 2004 г. при проведении экспериментов с тонкостенными стальными образцами был обнаружен эффект изменения направленности силового магнитно-импульсного воздействия при вариации рабочих частот действующих полей. При низких частотах (~2...2.5 кГц) – участок листовой заготовки испытывал притяжение, конечным результатом которого было образование вмятины. При достаточно высоких частотах (~7...8 кГц) имело место известное в практике магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) отталкивание участка листа с образованием выпуклости [1].

Объяснению этого эффекта с теоретическим и экспериментальным подтверждением достоверности посвящены работы [2-5]. Физическая сущность заключается в том, что при понижении рабочих частот действующих полей падает действенность сил отталкивания – сил Лоренца (известны, как «силы магнитного давления на проводник») [2, 3, 6, 7]. Действенность сил притяжения, обусловленных магнитными свойствами стального объекта обработки, растёт и, несмотря на малое отличие относительной магнитной проницаемости его металла от единицы в реальном диапазоне амплитуд внешних полей, становится вполне достаточной для «вытягивания» вмятины [4, 5].

Актуальность исследований. Отличительной особенностью полевых методов воздействия является отсутствие непосредственного контакта с обрабатываемым материалом. В этом нет необходимости, поскольку трансформация энергии поля в механическую работу происходит собственно в материале заготовки подлежащей обработке [8, 9].

Принцип действия симметричного универсального инструмента магнитно-импульсной рихтовки основан на использовании закона Ампера, по которому проводники с одинаково направленными токами притягиваются друг к другу [3].

Отличительной особенностью универсальных инструментов (в отличии от индукторных систем, основанных на естественном притяжении ферромагнетиков при понижении рабочих частот действующих полей) – это возможность работы с металлами любой физической природы, как ферромагнетики, так и металлы не обладающие магнитными свойствами (алюминий и его сплавы). Эта возможность реализуется благодаря специальному техническому решению в универсальном инструменте – введению дополнительного (вспомогательного) экрана [1-3, 10].

Цель работы – анализ электромагнитных процессов в симметричном универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки. По полученным аналитическим соотношениям построение радиальных зависимостей распределения плотности индуцированного тока и напряжённости магнитного поля в листовой заготовке.

Результаты исследований. Расчет индуцированных токов и напряженностей в симметричном универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки начнем



с расчётной модели в цилиндрической системе координат (рис. 1). При решении примем допущения, аналогичные публикации [10].

Для расчётной модели, представленной на рис. 1 составляются уравнения Максвелла для возбуждаемых составляющих вектора электромагнитного поля ($E_\phi \neq 0, H_{r,z} \neq 0$).

$$\begin{cases} \frac{\partial H_r(p,r,z)}{\partial z} - \frac{\partial H_z(p,r,z)}{\partial r} = j_\phi(p,r,z); \\ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot E_\phi(p,r,z)) = -\mu_0 \cdot p \cdot H_z(p,r,z); \\ \frac{\partial E_\phi(p,r,z)}{\partial z} = \mu_0 \cdot p \cdot H_r(p,r,z); \end{cases} \quad (1)$$

где p – параметр преобразования Лапласа;

$$E_\phi(p,r,z) = L\{E_\phi(t,r,z)\}; H_{r,z}(p,r,z) = L\{H_{r,z}(t,r,z)\}; j_\phi(p,r,z) = L\{j_\phi(t,r,z)\}$$

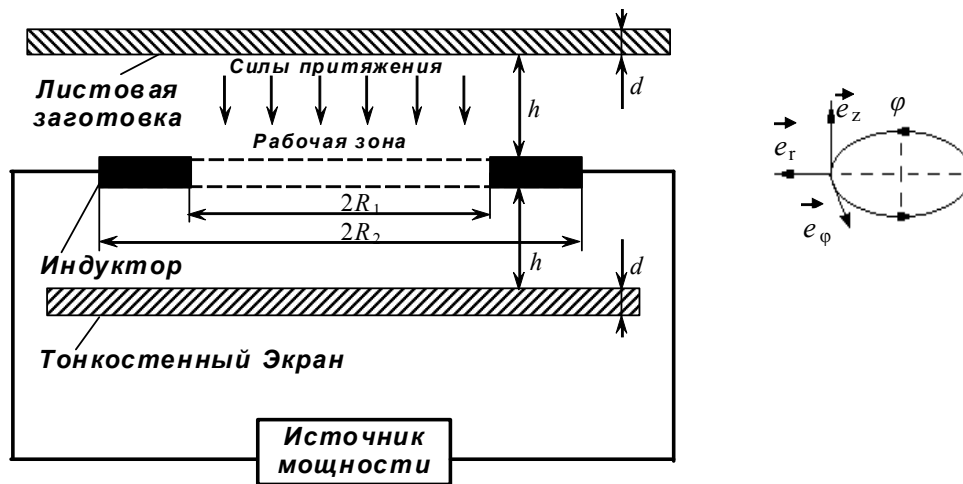


Рисунок 1 – Симметричный универсальный инструмент – расчётная модель

Решая составленные уравнения известными математическими методами [6], во избежание громоздкости в изложении, опустим промежуточные выкладки, и запишем окончательное выражение для радиальной зависимости возбуждаемого тока.

$$j_\phi(\phi,r,\zeta) = j_m \frac{dj(\phi)}{d\phi} \left(\frac{\omega\tau}{2d} \right) \int_0^\infty \frac{F(x) J_1\left(x \frac{r}{d}\right)}{x^2} \cdot \frac{\left(sh\left(x \frac{\zeta-d}{d}\right) - \frac{1}{\mu_r} ch\left(x \frac{\zeta-d}{d}\right) \right)}{sh(x) \left[sh\left(x \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} ch\left(x \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} e^{\frac{xh}{d}} ch(x)} dx, \quad (2)$$

где $\phi = \omega \cdot t$, $j(\phi)$ – фаза и фазовая зависимость тока в индукторе, $F(x) = \int_{\left(x \cdot \frac{R_2}{d}\right)}^{\left(x \cdot \frac{R_1}{d}\right)} y \cdot J_1(y) dy$ –

для равномерного радиального распределения тока в индукторе, $\zeta = z - d, \zeta \in [0, d]$ – пространственная переменная по толщине, $J_1\left(x \frac{r}{d}\right)$ – функция Бесселя первого порядка,

$\tau = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \gamma \cdot d^2$ – характерное время диффузии поля в металл с удельной электропроводностью – γ и относительной магнитной проницаемостью – μ_r .



Результати вычислений для типичной экспериментальной индукторной системы [8, 9], выполненных с помощью (2) в относительных единицах (нормировка на соответствующий максимум) представлены на графиках, рис. 2-4.

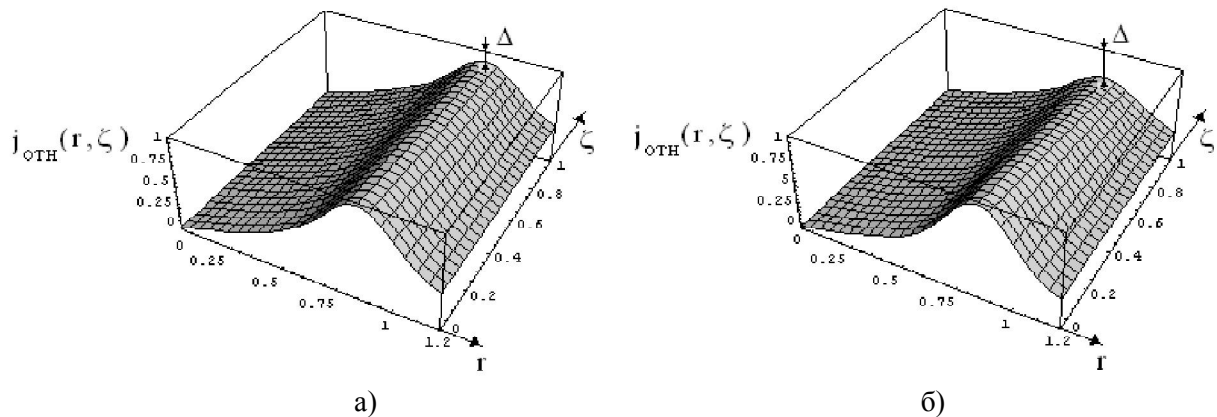


Рисунок 2 – Пространственное распределение плотности индуцированного тока (Δ – величина, иллюстрирующая убывание по толщине листа), а) $\mu_r = 1.0$, б) $\mu_r = 5.0$

В расчётах принято, что $R_1 = 0.025$ м, $R_2 = 0.0035$ м, $h = 0.001$ м, $d = 0.001$ м, $\gamma = 0.4 \cdot 10^7$ 1/Ом·м (сталь), ток в индукторе – $j_i = j_m \cdot e^{-\delta_0 \cdot \phi} \cdot \sin \phi$, где j_m – амплитуда, $\phi = \omega \cdot t$ – фаза, ω – частота, относительный декремент затухания – $\delta_0 = 0.2$.

В соответствии с предварительными оценками, выполненными в работах [3-5], примем, что $\mu_r \in [1.0, 5.0]$.

Следует отметить.

1. В диапазоне изменения величины относительной магнитной проницаемости условие низкочастотности режима [1-3] не нарушается, $(\omega \cdot \tau) \in [0.01, 0.05]$.
2. Расширение интервала изменения μ_r значениями выше чем 1.5÷2.5 практически нецелесообразно с точки зрения адекватности реальным условиям [4, 5], но интересно для большей иллюстративности влияния магнитных свойств на протекающие электромагнитные процессы.

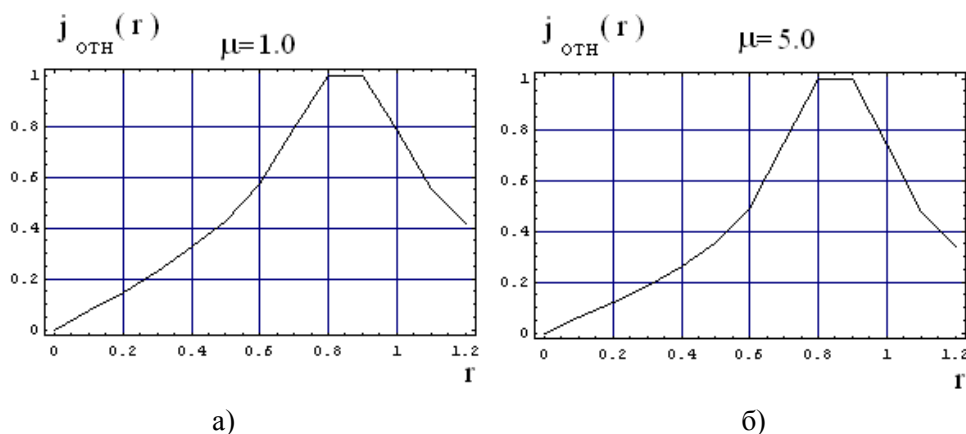


Рисунок 3 – Радиальное распределение плотности индуцированного тока на поверхности листа со стороны индуктора, а) $\mu_r = 1.0$ ($j_m = 3.66 \cdot 10^8$ А/м), б) $\mu_r = 5.0$ ($j_m = 4.74 \cdot 10^8$ А/м)

Из графических зависимостей следует, что:

- распределение индуцированного тока по радиусу практически не зависит от величины магнитной проницаемости листового металла;
- с увеличением μ_r растёт неоднородность распределения по толщине листа, так при $\mu_r \leq 2.5$ неоднородность изменяется ~ от 7% до 10%, а при $\mu_r \leq 5.0$ имеет место рост ~ от 7% до 27%;



- фізически, рост неоднородности распределения индуцированного тока по толщине можно объяснить влиянием нормальной компоненты напряжённости магнитного поля в металле листа,
- с увеличением μ_r растёт амплитуда индуцированного тока, для $\mu_r \in [1, 5]$ величина j_m увеличивается на 30 %.

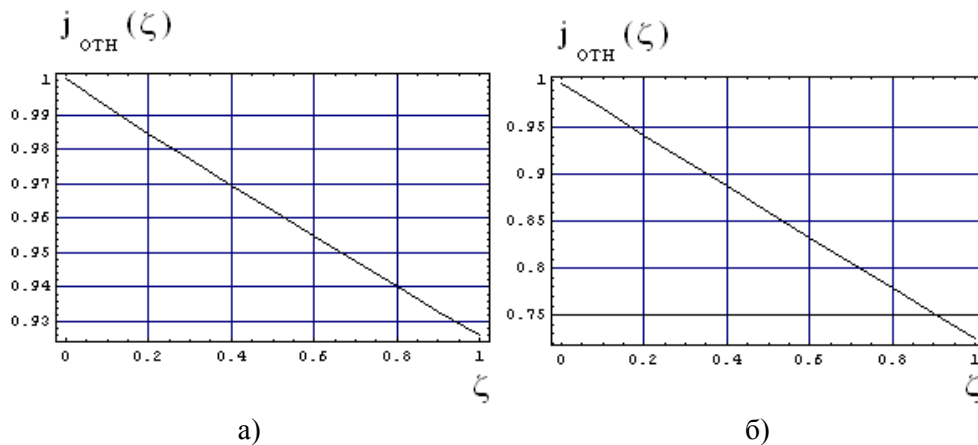


Рисунок 4 – Распределение плотности индуцированного тока по толщине листа под центром витка индуктора – $r = \frac{R_1 + R_2}{2 \cdot R_2}$, а) $\mu_r = 1.0$ ($j_m = 3.66 \cdot 10^8$ А/м), б) $\mu_r = 5.0$ ($j_m = 4.74 \cdot 10^8$ А/м).

Опуская промежуточные математические выкладки, в соответствии с [1, 3, 10], запишем окончательные выражения для компонент напряжённости магнитного поля.

$$H_r^{(2)}(\phi, r, \zeta) = \frac{j(\phi)}{2\mu_r} \cdot \int_0^\infty \frac{F(x) \cdot J_1\left(x \frac{r}{d}\right)}{x} \cdot \frac{\left(\operatorname{ch}\left(x \cdot \frac{\zeta - d}{d}\right) - \frac{1}{\mu_r} \cdot \operatorname{sh}\left(x \cdot \frac{\zeta - d}{d}\right) \right)}{\operatorname{sh}(x) \cdot \left[\operatorname{sh}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} \operatorname{ch}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{\frac{x \cdot h}{d}} \cdot \operatorname{ch}(x)} \cdot dx; \quad (3)$$

$$H_z^{(2)}(\phi, r, \zeta) = \frac{j(\phi)}{2\mu_r} \cdot \int_0^\infty \frac{F(x) \cdot J_0\left(x \frac{r}{d}\right)}{x} \cdot \frac{\left(\operatorname{sh}\left(x \cdot \frac{\zeta - d}{d}\right) - \frac{1}{\mu_r} \cdot \operatorname{ch}\left(x \cdot \frac{\zeta - d}{d}\right) \right)}{\operatorname{sh}(x) \cdot \left[\operatorname{sh}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) + \frac{1}{\mu_r^2} \operatorname{ch}\left(x \cdot \frac{h}{d}\right) \right] + \frac{1}{\mu_r} \cdot e^{\frac{x \cdot h}{d}} \cdot \operatorname{ch}(x)} \cdot dx. \quad (4)$$

На рис. 5 приведены отдельные графические зависимости в относительных единицах (нормировки на максимум), иллюстрирующие характерные пространственные распределения компонент вектора напряжённости магнитного поля в листовых металлах.

Прокомментируем основные результаты расчётов напряжённости:

- с увеличением магнитной проницаемости убывание величины нормальной компоненты вектора \vec{H} по толщине листа более существенно, чем радиальной;
- с ростом магнитной проницаемости падает амплитуда напряжённости магнитного поля, так в диапазоне $\mu_r \in [1, 5]$ отмечено падение на $\sim 20 \div 25$ %.

Общий вывод анализа процессов возбуждения токов и магнитных полей в индукторной системе с идентичными листовым вспомогательным экраном и обрабатываемым объектом сводится к заключению: в диапазоне значений относительной магнитной проницаемости $\mu_r \in [1.0, 2.5]$ её влияние на рассмотренные электромагнитные процессы практически не существенно.

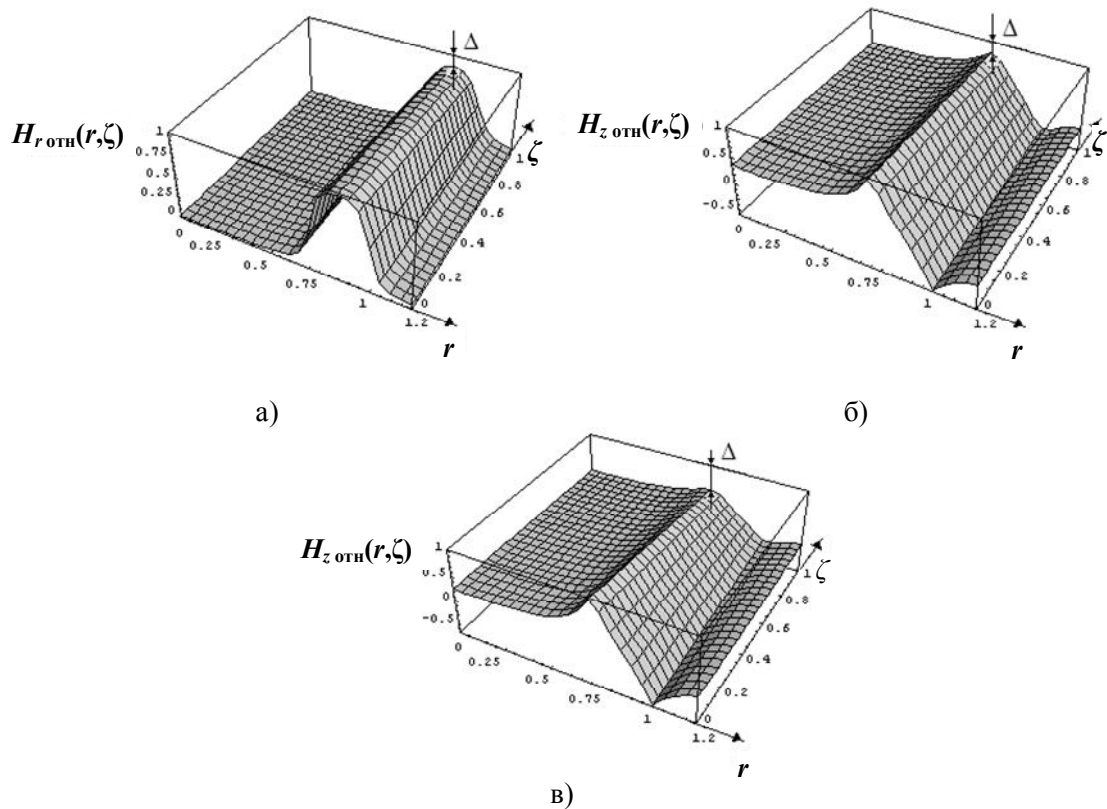


Рисунок 5 – Пространственное распределение компонент вектора напряжённости магнитного поля (Δ – величина, иллюстрирующая убывание по толщине листа), а) $\mu_r = 1.0, H_r$; б) $\mu_r = 1.0, H_z$; в) $\mu_r = 5.0, H_z$

Уменьшение ширины витка в рассматриваемой индукционной индукторной системе с ферромагнитными экраном и заготовкой, так же, как и в случае выполнения их из немагнитных металлов, позволяет значительно повысить силовые показатели системы [3]. Физически, этот факт объясняется ростом плотности тока в индукторе, вследствие чего увеличиваются амплитуды возбуждаемых электромагнитных полей и индуцированных токов.

Даже при незначительном увеличении магнитной проницаемости металла экрана и заготовки существенно растёт амплитуда сил Лоренца. Влиянием последней нельзя пренебрегать, её действие может исказить картину деформирования листовой заготовки в области витка индуктора.

Выводы. Основные результаты проведенных вычислений сводятся к следующим положениям:

1. Проведен анализ электромагнитных процессов в симметричном универсальном инструменте магнитно-импульсной рихтовки.
2. Получены расчетные соотношения для радиальной зависимости возбуждаемого тока и компонент напряжённости магнитного поля в листовой заготовке рассматриваемой системы.
3. Построены радиальные зависимости распределения плотности индуцированного тока и напряжённости магнитного поля в листовой заготовке для универсального инструмента магнитно-импульсной рихтовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Direction Change of the Force Action upon Conductor under Frequency Variation of the Acting magnetic Field : proceedings of the 1-st International Conference [«High Speed Metal Forming»], (Dortmund, March 31/April 1, 2004) / Yu. V. Batygin, V. I. Lavinsky, L. T. Khimenko. – Dortmund, Germany, 2004. – P. 157-160.



2. Батыгин Ю. В. Силы, действующие на тонкостенный проводник, в проникающем поле плоского одновиткового соленоида / Ю. В. Батыгин, А. Ю. Бондаренко // Техническая электродинамика. – 2010. – № 1. – С 9-14.
3. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов : монография. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 240 с.
4. Батыгин Ю. В. Направление сил, действующих на листовой ферромагнетик, в зависимости от временных характеристик при МИОМ / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева // Електротехніка і електромеханіка. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 3. – С. 56-61.
5. Пат. US 2008/0163661 A1 USA (США). Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan ; заявитель и патентообладатель Ostrolenk faber gerb & soffen, New York. – № 11/910,788; заявл. 11.05.2006; опубл. 10.07.2008.
6. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц – М. : Наука, 1982. – 620 с.
7. Подольцев А. Д. Элементы теории и численного расчёта электромагнитных процессов в проводящих средах / А. Д. Подольцев, И. Н. Кучерявая. – К. : Институт электродинамики НАНУ, 1999. – 362 с.
8. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С. М. Фертик, Л. Т. Хименко – Харьков : Вища школа, 1977. - 189 с.
9. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский , Л. Т. Хименко. – Харьков : МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.
10. Батыгин Ю. В. Электромагнитные процессы в симметричных индукционных системах с идентичными ферромагнитными тонкостенными экраном и листовой заготовкой / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун [и др.] // Електротехніка і електромеханіка. – Х. : НТУ «ХПІ». – № 4 – С. 50-53.

Шиндерук С.О. РОЗРАХУНОК ІНДУКОВАНИХ СТРУМІВ І НАПРУЖЕНОСТЕЙ У СИМЕТРИЧНОМУ УНІВЕРСАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО РИХТУВАННЯ

Проведений аналіз електромагнітних процесів у симетричному універсальному інструменті магнітно-імпульсного рихтування дозволив отримати розрахункові співвідношення для радіальної залежності збуджуваного струму і компонент напруженості магнітного поля в листовій заготовці розглянутої системи, а також побудовані радіальні залежності розподілу щільності індукованого струму і напруженості магнітного поля.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка металів, щільність індукованого струму, напруженість магнітного поля, тонкостінний екран, індуктор.

Shinderuk S.A. CALCULATION INDUCED CURRENTS AND INTENSITIES IN A SYMMETRIC MULTI-PURPOSE TOOL OF MAGNETIC PULSE STRAIGHTENING

The analysis of electromagnetic processes in a symmetric multi-purpose tool of magnetic pulse straightening yielded calculated ratios for the radial dependence of the excitation current and the component of the magnetic field in a blank sheet of the system, as well as built for the radial dependence distribution of the density induced current and intensity magnetic field.

Key words: magnetic pulse metal working, density induced current, intensity magnetic field, thin-walled screen, inductor.

Статтю прийнято
до редакції 4.05.2013



ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТАНТ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИНАМИЧЕСКИМ ИСПЫТАНИЕМ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Алексенко В.Л., Скирденко В.О., Шварц С.С.

Херсонская государственная морская академия

Разработан динамический способ определения упругих констант призматических образцов материала. Способ применим для образцов незначительных параметров, когда традиционные методы и оборудование становятся неудобными. На основе разработанного метода определены динамический и статический модули Юнга эпоксидных композитов.

Ключевые слова: динамический и статический модули Юнга, эпоксидные композиты, механические константы, метод.

Введение. В основе целой группы способов экспериментального определения механических констант материалов лежит сравнение частот собственных колебаний упругих систем, найденных расчётом и определённых экспериментально [1]. Образцы материала обычно имеют форму призм и цилиндров, часто относительно коротких. Основные стандарты [2, 3] рассматривают так называемые *нормальные образцы* с диаметром $d \geq 3$ мм, а остальные относят к *микрообразцам*. Однако опыт работы с образцами, у которых больший из поперечных размеров (h) лежит в пределах $0,1 < h < 3$ мм свидетельствует о необходимости выделения этого класса материалов в отдельную промежуточную группу *миниатюрных*. Название группы и границы диапазона размеров остаются предметом обсуждения. Первая и последняя из отмеченных размерных групп образцов характеризуются общими подходами и методами проведения экспериментов. Для возбуждения в этих образцах колебаний удобно использовать соленоид, питаемый низкочастотным генератором. Резонансные частоты, совпадающие с частотами собственных колебаний, надёжно регистрируются по резкому возрастанию амплитуд колебаний. Если образец изготовлен из немагнитного материала, то к нему крепят якорь из магнитомягкого материала. Якорь снижает низшую собственную частоту, что представляет самостоятельный интерес при планировании экспериментов. Если метод основан на измерении параметров изгибных колебаний, то расчётное определение собственных частот, являющихся функциями механических констант, как правило, базируется на технической теории изгиба стержней. Приемлемые результаты следует ожидать, если длина одной полуволны формы рассматриваемого колебания в несколько раз превышает размер образца в плоскости колебаний. Учёт деформаций сдвига и инерции поворотов масс позволяют несколько уточнить результаты расчётов [4].

Состояние вопроса. Как будет показано ниже, определение собственных частот для призматических балок не представляет принципиальных затруднений и следует ожидать, что результаты таких решений должны быть отображены в многочисленных справочных пособиях [5-8]. На рис. 1 изображён отсканированный в натуральную величину фрагмент справочной таблицы для консоли с сосредоточенной массой на конце [5], заимствованный из ставшего библиографической редкостью справочника [6]. В источниках [7, 8] эти графики в ещё более мелком масштабе просто тиражируются (рис. 2). Точность представленных этими графиками данных для целей исследований недостаточна, влияние сдвигов не учитывается. При этом уравнение частот, из которого пользователь указанных справочных пособий при наличии многочисленных свободно распространяемых программ и персонального компьютера извлёк бы интересующую его информацию, отсутствует.

Цель разработки – уточнить решение задач теории колебаний с практическим приложением к задачам определения механических констант материалов и разработки соответствующего программного обеспечения.



Учёт сдвига при изгибе. Техническая теория поперечного изгиба балок содержит определённые внутренние противоречия, обусловленные гипотезой плоских сечений. Это проявляется при определении перемещений как у относительно коротких образцов, так и у балок с широким развитием поясков, например в составе судовых конструкций типа двойного дна или бортов. Это обстоятельство, в частности, предусматривает разную минимальную относительную длину образцов при определении модуля Юнга путём испытания на изгиб по так называемым *трёх-* и *четырёхточечным* схемам [3] и связано с влиянием деформаций сдвига.

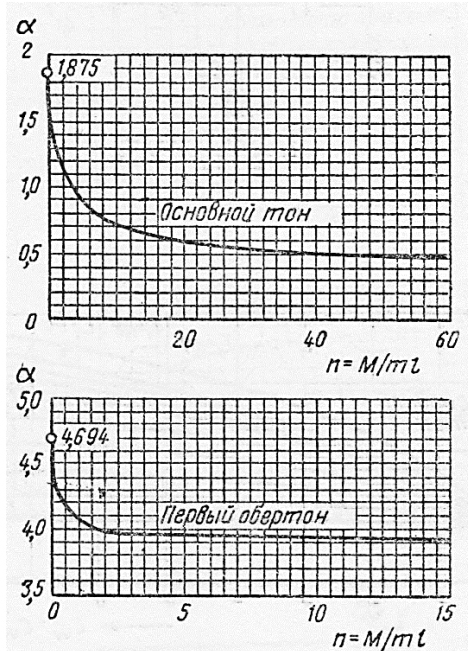


Рисунок 1 – Графики для определения характеристических чисел α_i консольной балки с сосредоточенной массой на конце

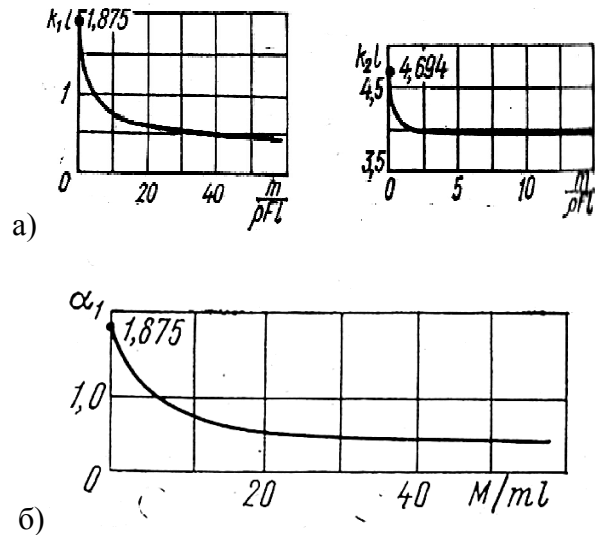


Рисунок 2 – Формула и графики (а) [7] и (б) [8] характеристических чисел для определения собственных частот f_i консольных балок

Задача об изгибе балок с учётом сдвига всегда привлекала внимание специалистов в строительной механике корабля и достаточно подробно рассмотрена в работах [9, 10]. Полные перемещения в балке рассматриваются как сумма двух составляющих:

$$w(x) = w_1(x) + w_2(x); u(x) = u_1(x) + u_2(x); \quad (1)$$

$$w'(x) = w'_1(x) + w'_2(x); \alpha(x) = \alpha_1(x) + \alpha_2(x) = w'_1(x) + \alpha_2(x),$$

где $u(x)$ и $w(x)$ – перемещения вдоль продольной оси балки Ox и вертикальной Oz соответственно, $w'(x)$ и $\alpha(x)$ – угол поворота продольной оси и поперечного сечения. Здесь и далее нижний индекс 1 означает изгибную составляющую, а 2 – сдвиговую; верхний штрих означает дифференцирование по x , а точка сверху – по времени t . Различие между $w'_2(x)$ и $\alpha_2(x)$ в последней из формул (1) является следствием *депланации* поперечных сечений. В результате для двух составляющих перемещений при поперечном изгибе получают соответствующие дифференциальные уравнения:

$$EI(x)w_1''(x)'' = q(x); w_2'(x) = \alpha_2(x) - Q(x)/G\omega(x). \quad (2)$$

Здесь $\omega = A/k$ – часть площади A поперечного сечения балки, сопротивляющаяся средним касательным напряжениям (для широкополной балки – площадь стенки). Коэффициент k рекомендуется определять по формуле [11]:

$$k = \frac{A}{I_y^2} \int \frac{S_y^2}{b(z)^2} dA, \quad (3)$$



где S_y – статический момент площади поперечного сечения по одну сторону от слоя $z=const$ относительно главной центральной оси OY ; $b(z)$ – текущая ширина этого слоя; I_y – осевой момент инерции площади поперечного сечения. В частности, для прямоугольного поперечного сечения $k=1,2$.

E и G – модули первого и второго рода; Q и q – поперечная сила и интенсивность поперечной нагрузки, связанные дифференциальной зависимостью:

$$dQ(x)/dx = q(x). \quad (4)$$

Ограничившись призматическими балками и продифференцировав по x второе из уравнений (2) с учётом (3) получим:

$$EI w^{IV}_1(x) = q(x); G\omega w''_2(x) = -q(x). \quad (5)$$

Свободные колебания с учётом сдвига. При свободных колебаниях стержня функцию распределённой нагрузки выполняют силы инерции:

$$EI w^{IV}_1(x) = q(x); G\omega w''_2(x) = -q(x). \quad (5)$$

$$q = -m\ddot{w}. \quad (6)$$

где m – погонная масса.

Подставляя (6) в (5) и приняв во внимание (1) получим:

$$EI w^{IV}_1 + m(\ddot{w}_1 + \ddot{w}_2) = 0;$$

$$G\omega w''_2 - m(\ddot{w}_1 + \ddot{w}_2) = 0. \quad (7)$$

Решение (7) ищем в форме:

$$w_{in} = X_{in}(x)\sin(\lambda_n t + \varepsilon), \quad i = 1, 2. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7) получим:

$$EI X^{IV}_{1n} + m\lambda_n^2(X_{1n} + X_{2n}) = 0; \quad (9)$$

$$G\omega X''_{2n} - m\lambda_n^2(X_{1n} + X_{2n}) = 0 \quad (10)$$

Учитывая зависимости:

$$Q' = EI w^{IV}_1 \text{ и } Q = G\omega w'_2$$

имеем:

$$G\omega X''_{2n} = -EI X^{IV}_{1n}.$$

Интегрируя дважды, найдём:

$$X_{2n} = -\frac{EI}{G\omega} X''_{1n} + \alpha_1 + \beta_1 x, \quad (11)$$

где α_1, β_1 – постоянные интегрирования.

Подставляя (11) в первое из уравнений (7) и исключив из него тем самым функцию X_2 , получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$X^{IV}_{1n} + \frac{m\lambda_n^2}{G\omega} X''_{1n} - \frac{m\lambda_n^2}{EI} X_{1n} = \alpha_2 + \beta_2 x. \quad (12)$$

Корни характеристического уравнения которого: $\kappa_{1,2} = \pm j_n$, $\kappa_{3,4} = \pm i\mu_n$, где:

$$j_n = \lambda_n \left[-\frac{m}{2G\omega} + \sqrt{\left(\frac{m}{2G\omega}\right)^2 + \frac{m}{\lambda_n^2 EI}} \right]^{1/2}; \quad \mu_n = \lambda_n \left[\frac{m}{2G\omega} + \sqrt{\left(\frac{m}{2G\omega}\right)^2 + \frac{m}{\lambda_n^2 EI}} \right]^{1/2}. \quad (13)$$



Частное решение имеет ту же форму, что и правая часть (последнее слагаемое, учитывающее смещение балки как твёрдого тела). Следовательно:

$$X_{1n} = C_{0n}chj_n x + C_{1n}shj_n x + C_{2n}\cos\mu_n x + C_{3n}\sin\mu_n x - (B_{0n} + B_{1n}x). \quad (14)$$

Подставляя (14) в (11) получим:

$$X_{2n} = B_{0n} + B_{1n}x - (EI)/(G\omega)[j_n^2(C_{0n}chj_n x + C_{1n}shj_n x) - \mu_n^2(C_{2n}\cos\mu_n x + C_{3n}\sin\mu_n x)]. \quad (15)$$

Тогда:

$$X_n = B_{0n} + B_{1n}x + [1 - (EI/G\omega)j_n^2](C_{0n}chj_n x + C_{1n}shj_n x) + [1 + (EI/G\omega)\mu_n^2](C_{2n}\cos\mu_n x + C_{3n}\sin\mu_n x), \quad (16)$$

где постоянные $C_{0n}, C_{1n}, C_{2n}, C_{3n}$ находят из граничных условий.

Собственные колебания весоной призматической консольной балки с сосредоточенной массой на свободном конце. Поскольку связи, наложенные на консольную балку (рис. 3), исключают её перемещения как твёрдого тела, то в решении (16): $B_0 = B_1 = 0$.

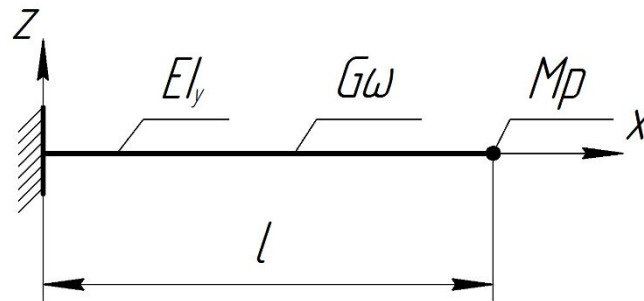


Рисунок 3 – Консольная балка с сосредоточенной массой M_p на свободном конце

Для определения постоянных C_{in} ($i=0,1,2,3$) в части решения определяющей упругую составляющую перемещений используем два кинематические граничные условия на левом конце балки:

$$w(0,t) = 0; \quad w'(0,t) = 0 \quad (17a)$$

и два силовых на правом:

$$w''_1(l,t) = 0; \quad EIw'''_1(l,t) = M_p \ddot{w}(l,t). \quad (17b)$$

Здесь M_p – сосредоточенная масса (якорь) на конце консоли.

С учётом формы решения (13) крайевые условия принимают вид:

$$X(0) = 0; \quad X'(0) = 0; \quad X''_1(l) = 0; \quad EIX'''_1(l) = -M_p \lambda_n^2 X(l). \quad (18)$$

Подставив (14) и (16) в (18) получим систему однородных линейных уравнений относительно C_{in} :

$$\begin{aligned} a_{00}^{(n)}C_{0n} + a_{02}^{(n)}C_{2n} &= 0; \quad a_{11}^{(n)}C_{1n} + a_{13}^{(n)}C_{3n} = 0; \\ a_{20}^{(n)}C_{0n} + a_{21}^{(n)}C_{1n} + a_{22}^{(n)}C_{2n} + a_{23}^{(n)}C_{3n} &= 0; \\ a_{30}^{(n)}C_{0n} + a_{31}^{(n)}C_{1n} + a_{32}^{(n)}C_{2n} + a_{33}^{(n)}C_{3n} &= 0, \end{aligned} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} a_{00}^{(n)} &= 1 - \frac{EI}{G\omega}j_n^2; \quad a_{02}^{(n)} = 1 + \frac{EI}{G\omega}\mu_n^2; \quad a_{11}^{(n)} = j_n a_{00}^{(n)}; \quad a_{13}^{(n)} = \mu_n a_{02}^{(n)}; \quad a_{20}^{(n)} = j_n^2 ch(j_n l) a_{00}^{(n)}; \\ a_{21}^{(n)} &= j_n^2 sh(j_n l) a_{00}^{(n)}; \quad a_{22}^{(n)} = -\mu_n^2 \cos(\mu_n l) a_{02}^{(n)}; \quad a_{23}^{(n)} = -\mu_n^2 \sin(\mu_n l) a_{02}^{(n)}; \end{aligned} \quad (20)$$



$$a_{30}^{(n)} = j_n^3 sh(j_n l) + \frac{M_p \lambda_n^2}{EI} a_{00}^{(n)} ch(j_n l); \quad a_{31}^{(n)} = j_n^3 ch(j_n l) + \frac{M_p \lambda_n^2}{EI} a_{00}^{(n)} sh(j_n l);$$

$$a_{32}^{(n)} = \mu_n^3 \sin(\mu_n l) + \frac{M_p \lambda_n^2}{EI} a_{02}^{(n)} \cos(\mu_n l); \quad a_{33}^{(n)} = -\mu_n^3 \cos(\mu_n l) + \frac{M_p \lambda_n^2}{EI} a_{02}^{(n)} \sin(\mu_n l).$$

Система (19) имеет тривиальное решение $C_{in}=0$ ($i=0, 1, 2, 3$), что означает отсутствие движения. Условием существования ненулевых решений является равенство определителя этой системы нулю.

$$Det = \begin{vmatrix} a_{00}^{(n)} & 0 & a_{02}^{(n)} & 0 \\ 0 & a_{11}^{(n)} & 0 & a_{13}^{(n)} \\ a_{20}^{(n)} & a_{21}^{(n)} & a_{22}^{(n)} & a_{23}^{(n)} \\ a_{30}^{(n)} & a_{31}^{(n)} & a_{32}^{(n)} & a_{33}^{(n)} \end{vmatrix} = 0. \quad (21)$$

Разворачивая определитель (21) получаем уравнение частот относительно неизвестных собственных частот λ_n колебаний балки:

$$f(\lambda_n) = \left(a_{22}^{(n)} - \frac{a_{20}^{(n)} a_{02}^{(n)}}{a_{00}^{(n)}} \right) \left(a_{33}^{(n)} - \frac{a_{31}^{(n)} a_{13}^{(n)}}{a_{11}^{(n)}} \right) - \left(a_{32}^{(n)} - \frac{a_{30}^{(n)} a_{02}^{(n)}}{a_{00}^{(n)}} \right) \left(a_{23}^{(n)} - \frac{a_{21}^{(n)} a_{13}^{(n)}}{a_{11}^{(n)}} \right) = 0. \quad (22)$$

Замечания об основных формах решения частотного уравнения. Полученное трансцендентное уравнение (22) может быть разрешено относительно любого параметра, когда остальные заданы.

В настоящем исследовании интерес представляют две основные задачи. Первая, обычно рассматриваемая в литературе по теории колебаний задача, назовём её *прямой*, заключается в определении собственных частот λ_n , которые, как известно, образуют бесконечную последовательность. Из этой последовательности практический интерес, как правило, представляют лишь первые 2-3 реже – до 5 гармоник, так как решение задачи, где образец закреплён в виде балки достаточно точно описывает напряжённо-деформированное состояние, пока полуволна формы колебания в несколько раз превышает размер (высоту) балки в плоскости колебаний. Следовательно, чем больше относительная длина балки, тем больше частот собственных колебаний с приемлемой для практики точностью можно определить. Поскольку корни частотного уравнения (22) нельзя найти аналитически, необходимо воспользоваться одним из численных методов, ориентированных на современную вычислительную технику [12]. Здесь необходимо решить две проблемы: локализации корней и подбора подходящего метода их уточнения в каждом интервале заключающем корень.

Обратная задача заключается в следующем. Пусть для заданной балки известны несколько собственных частот λ_n , например, определённых экспериментально. Необходимо найти один из её неизвестных параметров, входящих в частотное уравнение непосредственно или через известную связь с другими. Так значительный интерес для материаловедов представляет определение механических констант конструкционных материалов одним из динамических способов [1], например, модуля Юнга E . Эта задача с вычислительной точки зрения не отличается от предыдущей. Поскольку уравнение (2) нелинейно относительно E , в результате вычислений будет получен ряд значений E ограниченный физически нулём и модулем наиболее жёсткого из известных в природе материалов – алмаза. Поэтому в данном случае также возникает проблема выделения единственного корня E , например сравнением с определёнными другими методами. Окончательно правильность выделения проверяется решением прямой задачи и сопоставлением вычисленных собственных частот с экспериментальными.



Алгоритм и программы решения прямой и обратной задач для частотного уравнения. Для численного решения прямой и обратной задач для частотного уравнения (22) разработаны программы на языке программирования Pascal ABC. Локализация и уточнение корней в том и другом случаях выполняются одинаково. Для выделения корней применяется сканирование исследуемого интервала с постоянным достаточно малым шагом, величина которого подбирается путём численных экспериментов. Если на границах локального интервала функция имеет разные знаки, то это свидетельствует о наличии в нём, по крайней мере, одного корня. После чего следует процедура сужения этого интервала до момента, когда его длина станет меньше заданной точности определения корней. Для уточнения корней использован метод *половинного деления*, обладающий гарантированной сходимостью. Решение частотного уравнения (22) относительно λ_n выполняется с помощью программы *consolL*. Эта же программа используется для проверки найденных с помощью программы *consolE* предполагаемых значений модуля E .

Некоторые результаты решения прямой и обратной задач. Ниже (табл. 1) приведен ряд результатов, полученных при тестировании программ *consolL* и *consolE*.

Таблица 1 – Результаты тестирования программ

<i>Массогабаритные параметры образца: $l = 0,1$; $b = 0,01$; $h = 0,002$; $ro = 7800$; $m = 0,156$; $mi = 0,3$; $Om = 1,666666666666667E-5$; $I = 6,666666666666667E-12$; $Mp = 0.0312$</i>	
Программа <i>consolL</i> для $E=2 \cdot 10^{11}$ Па	Программа <i>consolE</i> для λ_n
$\lambda_1 = 338,592612838745$	$E_1 = 200000002845,764$
$\lambda_2 = 4633,94769439697$	$E_2 = 199999989706,039$
$\lambda_3 = 14714,9616409302$	$E_3 = 199999987802,506$
$\lambda_4 = 30469,3702102661$	$E_4 = 199999993706,055$
$\lambda_5 = 51815,8680130005$	$E_5 = 199999981845,703$

Были произведены испытания образцов эпоксикомпозитов изготовленных на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с содержанием 20 % наполнителей: железного сурика (ЖС), коллоидной серы (КС) и карбидной шихты (КбШ). В качестве отвердителя эпоксидной матрицы применялся полиэтиленполиамин (ПЭПА) в соотношении 1:10.

Испытания проводили на специально разработанной установке состоящей из генератора звуковой частоты, электромагнита, закреплённого в виде консоли исследуемого образца с сосредоточенной массой M_p на свободном конце и осциллографа, к которому подключён микрофон.

Предварительно определяли геометрические параметры образцов: длину (l), ширину (b) и толщину (h), а также на электронных весах с точностью до $\pm 0,002$ гр измеряли их массу (m). Далее с помощью генератора и осциллографа, по резкому увеличению амплитуды колебаний, определяли первую резонансную частоту или ряд собственных частот, которые использовали при решении частотного уравнения (22) для получения предполагаемых значений модуля Юнга E .

Осциллограммы акустического излучения колебаний образца 1 принятые микрофоном в момент резонанса и подаваемого на электромагнит переменного тока 2 представлены на рис. 4.

Из осциллограммы следует, что частота возбуждённых колебаний равна удвоенной частоте колебаний генератора. Это обусловлено использованием якоря из магнитомягкого материала. Результаты проведённых исследований статического (E_{cm}) и динамического (E_d) модуля Юнга представлены в табл. 2.

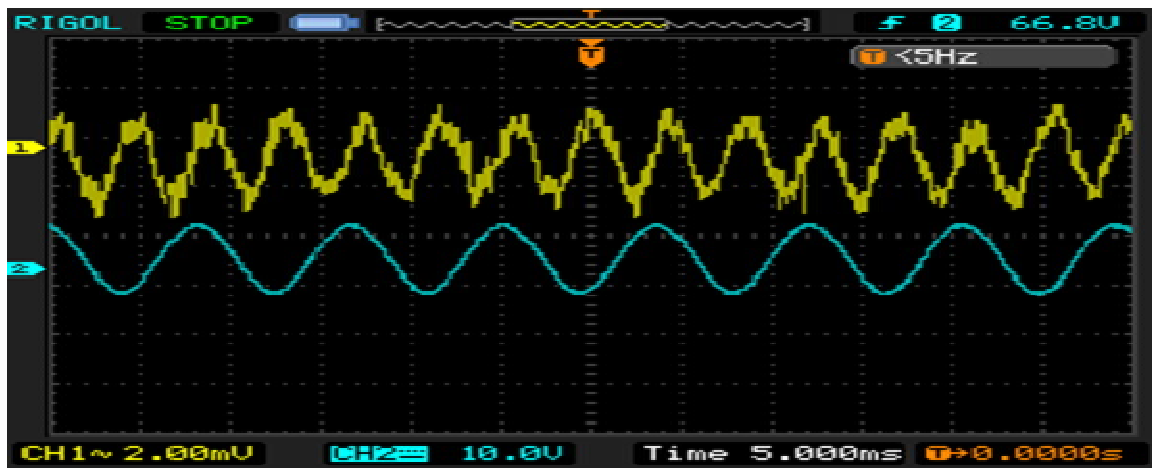


Рисунок 4 – Осциллограммы колебаний образца 1 и колебаний генератора 2

Таблица 2 – Результаты испытаний динамического и статического модуля Юнга эпоксикомпозитов

Природа наполнителя (содержание – 20 мас.ч.)	Модуль Юнга эпоксикомпозитов, ГПа	
	Ест	Ед
Матрица	2,98	2,54
ЖС	4,07	4,65
КС	3,98	2,46
КБШ	3,99	3,65

Выводы. Разработан динамический способ определения упругих констант призматических образцов материала. Способ применим для образцов незначительных параметров, когда традиционные методы и оборудование становятся неудобными.

Взамен неполных и недостаточно точных справочных данных приводимых в доступной литературе предложен программный комплекс, позволяющий решать прямую и обратную задачи для уточнённого частотного уравнения.

В дальнейшем планируется применить разработанную методику для исследования динамического модуля Юнга композитов с двухкомпонентным наполнителем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2431819, МПК G01N 3/32. Способ определения модуля упругости Юнга и коэффициента Пуассона литых деталей. – 2010.
2. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
3. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе.
4. Тулкина А. Н. Исследование свободных и вынужденных колебаний стержневой системы, содержащей нанообъект, на основе теории С. П. Тимошенко : автореф. дис...ции. / А. Н. Тулкина. – Санкт-Петербург, 2011.
5. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений / Под редакцией А.А.Уманского. Издание второе переработанное и дополненное в двух книгах. – Кн. 2. – М. : Стройиздат, 1973. – 415 с.
6. Справочник по расчёту собственных колебаний упругих систем / И. В. Ананьев. – ОГИЗ, Гостехиздат, 1946. – 224 с.
7. Справочник по динамике сооружений / Под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М. : Стройиздат, 1972. – 511 с.
8. Справочник по строительной механике корабля : Т. 3. Динамика и устойчивость корпусных конструкций / Г. В. Бойцов, О. М. Палий, В. А. Постнов, В. С. Чувиковский. – Л. : Судостроение, 1982. – 320 с.



9. Суслов В. П. Строительная механика корабля и основы теории упругости / В. П. Суслов, Ю. П. Кочанов, В. Н. Спихтаренко. – Л. : Судостроение, 1972. – 720 с.
10. Постнов В. А. Строительная механика корабля и теория упругости : учеб. для вузов ; Т. 2. : Изгиб и устойчивость стержней, стержневых систем, пластин и оболочек / [В. А. Постнов, Д. М. Ростовцев, В. П. Суслов, Ю. П. Кочанов]. – Л. : Судостроение. – 416 с.
11. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наук. думка, 1988. – 736 с.
12. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа / Пер. с англ. М. З. Кайнера ; под ред. А. М. Лопшица. – М. : Машиностроение, 1961. – 524 с.

Алексенко В.Л., Скирденко В.О., Шварц С.С. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОНСТАНТ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДИНАМІЧНИМ ВИПРОБУВАННЯМ ПРИЗМАТИЧНИХ ЗРАЗКІВ

Розроблено динамічний спосіб визначення пружних констант призматичних зразків матеріалу. Спосіб використовується для зразків незначних параметрів, коли традиційні методи та обладнання стають незручними. На основі розробленого методу визначено динамічний і статичний модуля Юнга епоксидних композитів.

Ключові слова: динамічний і статичний модуля Юнга, епоксидні композити, механічні константи, метод.

Aleksenko V.L., Skirdenko V.O., Schwartz S.S. DETERMINATION OF THE CONSTANTS OF STRUCTURAL MATERIALS DYNAMIC TEST PRISMATIC SAMPLES

Developed a method for determining the dynamic elastic constants of prismatic specimens. The method is applicable to samples of minor settings when traditional methods and equipment becoming uncomfortable. On the basis of this method are defined static and dynamic Young's modulus of epoxy composites.

Keywords: dynamic and static Young's modulus, epoxy composites, mechanical constants, method.

Статтю прийнято
до редакції 24.11.2013



АВТОМАТИЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ

Бадищук В.І., Чихіра І.В., Добротвор І.Г.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Федоров В.В.*

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів

У роботі розроблено новий автоматизований метод дослідження структури матриці навколо наповнювача на основі світлової мікроскопії з подальшою обробкою отриманих зображень з використанням програмного забезпечення у системі MathCAD. Це дозволило якісно і кількісно оцінити структурні характеристики матеріалу з незначною похибкою експерименту. Новий метод забезпечує встановлення критичного вмісту наповнювача у композиціях для формування матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: епоксидний композит, наповнювач, матриця, комп'ютерно-інтегровані технології.

Постановка задачі. На сьогодні відомі методи дослідження структури матриці епоксидних композитних матеріалів (ЕКМ) навколо наповнювача є трудомісткими і відзначаються значною похибкою експерименту [1, 2]. Ці методи є непрямими. У цьому плані перспективою є розробка нових методів дослідження структури матриці навколо наповнювача на основі світлової мікроскопії з подальшою обробкою отриманих зображень з використанням програмного забезпечення у системі MathCAD. Це дозволить якісно і кількісно оцінити структурні характеристики матеріалу з незначною похибкою експерименту, що у подальшому забезпечить підбір інгредієнтів та формування ЕКМ з оптимальними експлуатаційними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий вибір наповнювачів, що використовують для формування ЕКМ і захисних покриттів на їх основі з прогнозованими властивостями, є актуальною задачею сучасного матеріалознавства та технології формування полімерних композитів на сьогодні. Одним з основних показників фізико-механічних характеристик у епоксикомпозитах є ступінь зшивання матриці. Значення ступеня зшивання матеріалів за визначеного вмісту наповнювачів різної фізичної природи можна підтвердити відсотковим вмістом гель-фракції матриці у композитах [2, 3]. У зв'язку з цим, цікавим і перспективним з наукової і практичної точки зору є нові методи визначення фізико-механічних властивостей матеріалів з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій. Авторами [4-6] розроблено методика аналізу густини, об'єму і товщини зовнішніх поверхневих шарів (ЗПШ), які виникають у матриці навколо часток наповнювача при структуроутворенні епоксикомпозитів. При цьому використовували комп'ютерну обробку результатів експериментальних досліджень, що дозволило опосередковано визначити не лише параметри та характеристики ЗПШ, але й встановити науково-обумовлений вміст кількості наповнювачів у композитах залежно від їх функційного призначення.

Мета роботи – розробити автоматизовану методика прогнозування властивостей епоксикомпозитів на основі апріорних результатів експериментальних досліджень з використанням пакетів програми MathCAD.

Матеріали та методика досліджень. Об'єктом дослідження вибрано композити на основі епоксидно-діанового олігомеру марки ЕД-20, який зшивали твердником поліетиленполіаміном (ПЕПА) при стехіометричному співвідношенні компонентів. Як наповнювачі, вибрано дисперсні частинки однакового розміру різної магнітної природи, а саме: феромагнетик (ферит марки 1500 НМ3), парамагнетики (оксид хрому, карбід бору)



і діаманетик (карбід кремнію). Вміст наповнювача у композитах становив 50 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомера ЕД-20.

У роботі ступінь зшивання або густину визначали за кількістю фізичних та хімічних зв'язків між макромолекулами полімеру і дисперсними частками [7]. Проведеними дослідженнями підтверджено, що густину просторової сітки – гель-фракцію, яку оцінювали за результатами експерименту, можна регулювати відсотковим вмістом наповнювача та його природою.

Обговорення результатів експерименту. На першому етапі досліджень вводили дискретні дані вмісту дисперсних часток оксиду хрому у матриці програмного забезпечення MathCAD. Внаслідок проведених вимірювань встановлено відхилення N1 вмісту гель-фракції gg у композиті від вмісту її у ненаповненій матриці (лістинг 1, лістинг 2).

Для проміжних точок значень вмісту наповнювача виникає необхідність обчислення її вмісту для кращого прогнозування властивостей композиту. Для цього використано методи теорії автоматичного управління, формуючи маску h дискретної функції відклику та матрицю оберненого переходу H .

Лістинг 1. Формування маски h одиничного відклику та матриці передаточної функції для даного експерименту H .

$$q := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \end{pmatrix}; N1 := \begin{pmatrix} 7.2 \\ 5.3 \\ 5.0 \\ 6.0 \\ 5.9 \\ 6.3 \\ 4.8 \end{pmatrix}; gg := \begin{pmatrix} 0 \\ 2.53 \\ 2.52 \\ 3.79 \\ 5.24 \\ 5.53 \\ 3.31 \end{pmatrix};$$

$$E1 := gg + 95.12; f_{0,j} := E1_j; f_{1,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \\ E1_{j-1} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{2,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \\ E1_{j-2} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$f_{3,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \\ E1_{j-3} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{4,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \\ E1_{j-4} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$f_{5,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \vee j = 4 \\ E1_{j-5} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{6,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \vee j = 4 \vee j = 5 \\ E1_{j-6} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$s1 := f^T; h1 := s1^{-1} N1; f_{0,j} := h1_j; f_{1,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \\ h1_{j-1} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{2,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \\ h1_{j-2} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$f_{3,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \\ h1_{j-3} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{4,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \\ h1_{j-4} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$f_{5,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \vee j = 4 \\ h1_{j-5} & \text{otherwise} \end{cases}; f_{6,j} := \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \vee j = 1 \vee j = 2 \vee j = 3 \vee j = 4 \vee j = 5 \\ h1_{j-6} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$H := f^T.$$

Лістинг 2. Формування зворотної перехідної матриці EE та перевірка шляхом порівняння графіків експериментальних даних MI та графіку прогнозування NI .



$$ggo := \begin{pmatrix} 0 \\ 1.78 \\ 2.01 \\ 4.01 \\ 6.09 \\ 6.4 \\ 2.98 \end{pmatrix}; EE1 := ggo + 95.55; k1 := 1; M1 := H \cdot EE1 \cdot k^{-2}.$$

Результати порівняння графіку експериментальних даних $M1$ та прогнозування $N1$ наведені на рис. 1.

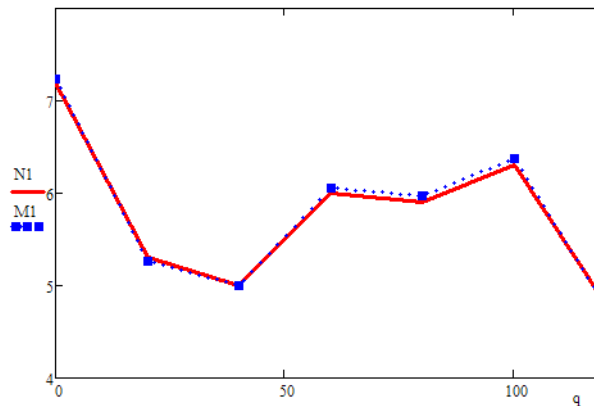


Рисунок 1 – Графіки відхилень вмісту гель-фракції (%) у епоксикомпозитах з дисперсним наповненням оксид хрому у мас. ч. на 100 мас.ч. матриці

Результати експериментальних досліджень вмісту гель-фракції у ЕКМ залежно від кількості наповнювача практично не відрізняються від аналогічних результатів їх прогнозування (рис. 1). При цьому експериментально встановлено, що мінімальний необхідний вміст наповнювача оксиду хрому у ЕКМ становить 50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20. Доведено, що менший вміст дисперсних часток у системі не забезпечує повної рекомбінації вільних радикалів у зв'язувачі. Це, у свою чергу, сприяє зменшенню вмісту гель-фракції у композитних епоксидних матеріалах.

На другому етапі за розробленою методикою досліджували характеристики і параметри ЗПШ навколо часток наповнювача різної фізичної природи.

При визначенні градієнта зображення композитів попередньо проводили фотографування зразків у вигляді тонких плівок покриттів (100...120 мкм) у цифровому форматі BMP. Для комплексного порівняння характеристик ЕКМ використовували розроблену методику числового оброблення світлин досліджуваних матеріалів з використанням операторів другого порядку (лістинг 3). Для дослідження градієнту зображень світлин були перетворені у матриці кольорів [8]. Це дозволило оцінити зміну структурних характеристик матриці у зовнішніх поверхневих шарах. У подальшому нами було розраховано різниці матриці D на основі масивів яскравостей C різної зернистості, що дає можливість формувати комірки розміром $h \times h$ пікселів (лістинг 4).

Надалі було розраховано для досліджуваного зразка масив DC , як модуль градієнту матриці C (лістинг 5).

Лістинг 3.

```
file1 := "E:\exp1.bmp"; A := READBMP(file1); q := cols(A); q = 281; r := rows(A); r = 226;
a1 := 0; a2 := 127; b1 := 0; b2 := 127; i := a1..a2; j := b1..b2; C := submatrix(A, a1, a2, b1, b2).
```



Лістинг 4.

$C := \text{submatrix}(R, 0, r - 1, 0, c - 1); i := 0..r - 2; j := 0..c - 2; h := 4;$

$D_{i,j} := \text{submatrix}[R, h \cdot i, h \cdot (i + 1), h \cdot (j + 1)]$ матриця h - грубозернистості ;

$M_{i,j} := \text{mean}(D_{i,j})$ матриця середніх значень h - зерен зображення ;

$m_{i,j} := \max(D_{i,j})$ $l_{i,j} := \min(D_{i,j})$ $d := m - 1$ різницева матриця .

Лістинг 5.

$$cx_{i,j} = \frac{c_{i+1,j+1} - c_{i-1,j+1} + c_{i+1,j-1} - c_{i-1,j-1}}{4 \cdot h1}; cy_{i,j} = \frac{c_{i+1,j+1} - c_{i-1,j+1} + c_{i+1,j-1} - c_{i-1,j-1}}{4 \cdot h2},$$

$$DC_{i,j} = \sqrt{(cx_{i,j})^2 + (cy_{i,j})^2}$$

У результаті обробки результатів досліджень за описаною вище методикою було отримано матриці значень градієнта кольорів на фрагментах сфотографованих зображень для ЕКМ, що містить вибрані наповнювачі і ненаповнений композит. Розроблена методика дає змогу, після оцінювання лінійних величин у пікселях (1 піксель у даному експерименті становить $10,6 \cdot 10^{-3}$ мм), обчислити периметри проєкцій часток наповнювача з точністю до 10^{-6} мм. Це на кілька порядків перевищує шорсткість поверхні частки, яка оцінюється в межах $R_a = 0,02$.

Отримані розподіли (лістинг 6) масивів усереднених значень по кожній $h \times h$ комірці цифрового зображення та градієнтних значень досліджуваного фрагменту ЕКМ дають можливість порівняти інформативність операторних перетворень двовимірного масиву. Спектр градієнтних оцінок на відміну від спектру усереднених значень надає можливість оптимального вибору зернистості при дослідженні періодичності структури ЕКМ [4], що корелює із розміром комірок h .

Лістинг 6.

$\text{bin} := 64; k := 0.. \text{bin}; \text{lower} := \min(\text{MM}); \text{lower} = 0.96; \text{upper} = \max(\text{MM}); \text{upper} = 74.84;$

$$N := \frac{\text{upper} - \text{lower}}{\text{bin}}; \text{int}_k := \text{lower} + N \cdot k; H := \frac{\text{hist}(\text{int}, \text{MM})}{\text{cols}(\text{M})^2}.$$

Висновки. На основі розробленого автоматизованого комплексу проведено порівняльний аналіз ступеня зшивання матриці у поверхневих шарах на основі розробленої методики. Показано, що поверхневі шари найбільшого розміру утворюються у композитах, наповнених феритом, які, водночас, характеризуються незначними значеннями залишкових напружень в усьому досліджуваному діапазоні товщин покриттів. Це явище пояснюють впливом твердої поверхні часток на конформаційний набір макромолекул полімерної матриці, який забезпечує перерозподіл глобулярних конформацій епоксидного олігомеру. З метою підтвердження отриманих результатів досліджено вплив товщини покриттів на залишкові напруження у матеріалі.

У майбутньому заплановано використати дану методику для оцінювання критичного вмісту часток двокомпонентного полідисперсного наповнювача для формування композитів і захисних покриттів на їх основі з підвищеним експлуатаційними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров В. Дослідження реологічних і фізико-механічних властивостей матриці для епоксидних покриттів / В. Федоров, О. Шкодзінський, Л. Білий // Вісник ТДТУ. – 2006. – № 2. – С. 39-43.
2. Бартнев Г. М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартнев, Ю. В. Зеленев. – М. : Высшая школа, 1983. – 256 с.



3. Стухляк П. Д. Епоксидні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.
4. Добротвор І. Г. Дослідження динаміки зміни миттєвого модуля пружності епоксипластів на основі моделі зовнішніх поверхневих шарів / І. Г. Добротвор, П. Д. Стухляк, А. В. Букетов // Вісник ТДТУ. – 2007. – № 4. – С. 13-19.
5. Добротвор І. Г. Дослідження геометричних розмірів та структурних параметрів зовнішніх поверхневих шарів у наповнених епокикомполімерах / І. Г. Добротвор, П. Д. Стухляк, Р. З. Золотий, А. В. Букетов, В. А. Яцюк, В. Т. Рубаха // Вісник ТДТУ. – 2008. – № 2. – С. 34-42.
6. Добротвор І. Г. Модель формування кластерних структур при твердненні епокикомполімерів / І. Г. Добротвор, П. Д. Стухляк, А. В. Букетов // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення». – Севастополь : СевНТУ, 2008. – С. 93-96.
7. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1988. – 272 с.
8. Патент № 35187. Україна, МПК С09D 4/00. Спосіб отримання модифікованого епокикомполімерного покриття / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. Г. Добротвор, О. А. Пастух, О. Л. Ляшук ; заявник і патентовласник Тернопільський держ. техн. унів. ім. І. Пулюя. – Заявл. 28.02.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17. – 6 с.

Бадишук В.И., Чихира И.В., Добротвор И.Г., Федоров В.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

В работе разработан новый автоматизированный метод исследования структуры матрицы вокруг наполнителя на основе световой микроскопии с последующей обработкой полученных изображений с использованием программного обеспечения в системе MathCAD. Это позволило качественно и количественно оценить структурные характеристики материала с небольшой погрешностью эксперимента. Новый метод обеспечивает установление критического содержания наполнителя в композициях для формирования материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: эпоксидный композит, наполнитель, матрица, компьютерно-интегрированные технологии.

Badyschuk V.I., Chyhira I.V., Dobrotvor I.G., Fedorov V.V. AUTOMATION OF STUDIES USING COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGY TO PREDICT THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES

In this paper, a new method for investigating the structure of the matrix around the filler based on light microscopy, followed by processing the image using the software in the system MathCAD. It is possible to qualitatively and quantitatively assess the structural characteristics of a material with low error of experiment. The new method provides the setting of critical filler content in the compositions to form materials with enhanced performance.

Keywords: epoxy composite, filler, matrix, computer-integrated technologies.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.2013



УДК 621.313.12-883:629.12.037.4-83

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВАЛОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ В РЕЖИМЕ ГРЕБНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО МОЩНОСТИ

Данык В.В., Черненко В.В.

Херсонская государственная морская академия

Показана возможность и целесообразность использования валогенераторной установки в режиме гребного электродвигателя в резервном пропульсивном комплексе, обеспечивающем аварийный ход судна в случае отказа главного двигателя, а также маневрирование при прохождении каналов, узостей, сложных фарватеров и при швартовке.

Ключевые слова: главная энергетическая установка, судовые электроэнергетические системы, валогенераторные установки, главный двигатель, утилизирующие турбогенераторы, электрические машины, пропульсивный комплекс судна, дизель-генератор, гребной винт, валопровод, буксировочная мощность, адмиралтейские коэффициенты.

Введение. Одним из направлений повышения экономичности и надёжности судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) является использование мощности главной энергетической установки (ГЭУ) для производства электроэнергии. В настоящее время на судах современной постройки широко используются СЭЭС с прямым и косвенным отбором мощности от ГЭУ. Как известно, в состав систем с прямым отбором мощности входят валогенераторные установки (ВГУ), в которых привод генераторов осуществляется непосредственно или через редуктор от ГЭУ. В системах с косвенным отбором мощности привод генераторов обеспечивается утилизирующими турбогенераторами (УТГ) или турбинами, работающими непосредственно на выхлопных газах ГЭУ.

Целесообразность применения систем с ВГУ доказана многолетним опытом эксплуатации. При этом, помимо традиционной функции источника электроэнергии, валогенератор, как обратимая электрическая машина (ЭМ), может выполнять роль гребного электродвигателя (ГЭД), обеспечивая ход судна или работать совместно с главным двигателем (ГД) на гребной винт.

Цель статьи. Разработать методику определения мощности валогенератора в режиме гребного электродвигателя по характеристикам судна и заданной его скорости при аварийном ходе.

Актуальность исследований. Применение ВГУ в составе СЭЭС позволяет отказаться от эксплуатации всех или части автономных дизель-генераторов (ДГ) в ходовых режимах работы судна и, соответственно, обеспечить снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии, увеличить моторесурс ДГ, уменьшить эксплуатационные затраты, повысить надёжность СЭУ и безопасность мореплавания судна в целом.

Кроме того, в настоящее время ряд международных классификационных обществ [2] принимают решение о включении применительно к отдельным типам судов (танкеры, газовозы, пассажирские и круизные суда) дополнительного требования о наличии резервного пропульсивного комплекса, обеспечивающего аварийный ход судна в случае отказа ГД. В качестве аварийного пропульсивного комплекса предусматривается использование ВГУ.

Результаты исследований. При использовании ВГУ в качестве генератора и электродвигателя обычно рассматривают четыре схемы работы пропульсивного комплекса:

1. ГД работает на гребной винт.
2. ГД работает на гребной вал, а часть его мощности передаётся на ВГУ, работающую в режиме генератора.



3. На гребной вал работает как ГД, так и ВГУ, работающая в режиме электродвигателя (ЭД).

4. ГД отключён, на гребной вал работает только ЭД.

Следует отметить, что расширение функций ВГУ на современных судах обусловлено увеличением мощности систем электроснабжения, что вызвано широким внедрением электроэнергетических комплексов большой мощности различного назначения. Это подтверждается данными, приведёнными в табл. 1.

Таблица 1 – Основные показатели энергетических систем судов

Судна	Диапазон мощности ГД, мВт	Относительная мощность СЭС
Танкеры	0,8-25	0,17-0,26
Сухогрузы	0,6-18	0,25-0,32
Балкеры	10,0-22	0,13-0,15
Контейнеровозы	1,2-55	0,19-0,21
Газовозы	12,0-18	0,22-0,27
Накатные	5,0-20	0,18-0,29
Пассажирские	1,3-18	0,25-0,7
Паромы	0,6-15	0,22-0,45

Для использования двигательного режима ВГУ требуется решение ряда достаточно сложных вопросов, к основным из которых относятся обеспечение пуска ЭД от источников ДГ соизмеримой мощности, выбор оптимальных законов управления ЭД для различных условий плавания судна и др.

При рассмотрении совместной работы ГД и ЭД обычно принимается, что в этом режиме обеспечивается максимальная скорость судна [1]. Однако, анализ влияния скорости движения судна на пропульсивную мощность показывает, что если судно спроектировано для определённой скорости, то для незначительного её увеличения требуется увеличивать пропульсивную мощность в 1,5-2 раза. Это обусловлено значительным ростом волнового сопротивления, что показано на рис. 1.

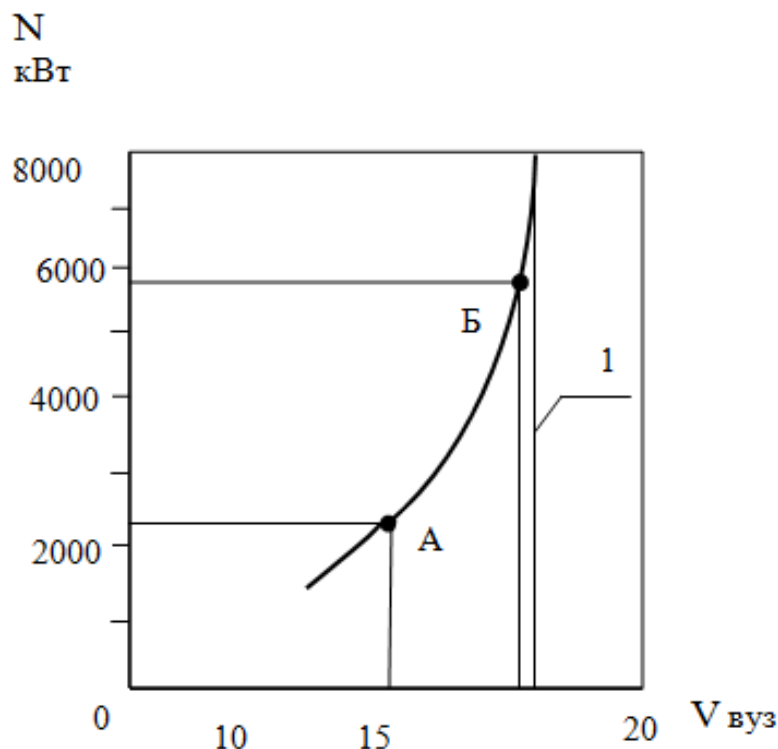


Рисунок 1 – Влияние скорости движения судна на пропульсивную мощность: 1 – волновой барьер



Поэтому, режим совместной работы ГД и ВГУ в режиме ЭД целесообразно рассматривать как режим, обеспечивающий требуемую скорость судна при снижении мощности ГД из-за какой-либо неисправности и т.п.

Режим работы ГД на гребной вал и ВГУ в режиме генератора достаточно широко исследован, поэтому проведём анализ работы пропульсивного комплекса при работе на гребной вал только ЭД при ГД. Рассмотрим работу ВГУ в режиме ЭД в пропульсивных комплексах с определёнными параметрами ГД и судна, а также определим потребную мощность ВГУ по параметрам судна и заданной скорости его движения. Определение буксировочной мощности судна N_R и мощности, подводимой к гребным винтам N_B обычно используются формулы, в которые входят адмиралтейские коэффициенты C_B и C_N [1], [4]. При этом буксировочная мощность N_R , кВт определяется следующим выражением:

$$N_R = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v^3}{C_B},$$

а мощность на гребных винтах:

$$N_B = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v^3}{C_N},$$

где D – массовое водоизмещение, т; C_B , C_N – адмиралтейские коэффициенты, определяемые по прототипу судна, v – скорость судна, уз.

Коэффициенты C_B и C_N связаны соотношением

$$\frac{C_N}{C_B} = \eta \eta_{л.в.}$$

где η – пропульсивный коэффициент; $\eta_{л.в.}$ – КПД линии водопровода.

Эксплуатационная мощность двигателя при отсутствии отбора мощности.

При использовании ВГУ в качестве двигателя для привода винта его мощность определяется с учётом КПД валопровода и редуктора.

Буксировочная мощность определяется также по формуле Пампеля:

$$N_R = 0,736 \cdot \frac{V}{L} \cdot \frac{v_S^3}{C} \cdot \frac{X}{\lambda} \cdot \sqrt{\psi},$$

где V – водоизмещение судна, м³; v_S^3 – скорость судна в узлах; C – коэффициент, определяемый по диаграмме для типа судна; $X = 1$ для одновального судна, 1,05 и 1,075 – для 2 и 3 валов соответственно; λ – поправочный множитель, $\lambda = 0,7 + 0,3 \cdot \sqrt{\frac{L}{100}}$, при длине судна 100м $\lambda = 1$; ψ – характеристика остроты корпуса судна, $\psi = 10 \sigma_{\Pi} \cdot B/L$, $\sigma_{\Pi} = \frac{V}{L \cdot B \cdot T}$, L , B , T – длина, ширина и осадка судна.

При проектировании судна определяются его основные элементы, а также параметры и характеристики винта, определяется буксировочное сопротивление, мощность на валу винта и необходимая мощность гребных двигателей.

Для суден с известными характеристиками и выбранным главным двигателем по приведённым выражениям можно определить мощность ВГУ в режиме электродвигателя для заданной скорости судна.

Мощность ВГУ в режиме гребного электродвигателя при этом определяется в следующей последовательности.

1. Определяем эксплуатационную мощность полного хода.



2. Определяем мощность при прямой передаче и жестком соединении ГД с гребным валом, исходя из N_g – мощность на гребном винте, – КПД валопровода, – мощность, отбираемая на привод ВГУ.

В установках с механическими передачами с учётом отбора мощности N_B определяется, исходя из η_m, η_p – КПД разобщительной муфты и редуктора соответственно.

3. Из формулы $N_B = \frac{D^2 v^3}{c_N}$ определяем $\frac{D^2}{c_N}$ для полученного значения N_B и соответствующей скорости.

4. Задаёмся величиной потребной скорости при аварийном ходе судна с приводом винта от ВГУ и определяем требуемую мощность на винте

$$N_{Ba} = \frac{D^2}{c_N} \cdot v_a^3,$$

где v_a^3 – заданная скорость судна при ходе судна с приводом винта от ВГУ.

5. По полученному значению N_{Ba} определяем мощность ВГУ в режиме двигателя.

Предварительные расчеты для балкера «Eupenia B» с дедвейтом 46750 т мощностью ГД 7308 кВт и скоростью 14,5 узлов показывают, что для обеспечения аварийного хода 5 узлов от двигателя ВГУ требуется примерно 250-300 кВт.

Для балкера «Борис Бутома» водоизмещения 122 тыс.т, дедвейт 100 тыс.т, мощности ГД 15510 кВт и скорости 15,2 узла при аварийном ходе со скоростью 5 узлов от ВГУ требуется мощность (620-680) кВт.

Вывод. Применение ВГУ обеспечивает повышение экономичности и энергетической эффективности современных судов. Установленная мощность СЭС, как показывает анализ, позволяет использовать ВГУ не только в качестве источника электроэнергии, а и в качестве гребного электродвигателя для обеспечения аварийного хода судна при отказе ГД, а также маневрирование при прохождении каналов, узкостей, сложных фарватеров и при швартовке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания / Ю. А. Пахомов. – М. : Транслит, 2007 – 528 с.
2. Григорьев А. В. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки / А. В. Григорьев, В. А. Петухов. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009. – 176 с.
3. Павленко Г. Е. Избранные труды / Г. Е. Павленко. – К. : Наук. думка, 1978. – 496 с.
4. Жийкин В. Б. Теория и устройство корабля / В. Б. Жийкин. – СПб., 2002. – 336 с.



Даник В.В., Черненко В.В. АНАЛІЗ РОБОТИ ВАЛОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ В РЕЖИМІ ГРЕБНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА, ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ПОТУЖНОСТІ

Показана можливість і доцільність використання валогенераторної установки в режимі гребного електродвигуна в резервному пропульсивному комплексі, забезпечує аварійний хід судна в разі відмови головного двигуна, а також маневрування при проходженні каналів, позбавленому перешкод, складних фарватерів і при швартуванні.

Ключові слова: головна енергетична установка, суднові електроенергетичні системи, валогенераторні установки, головний двигун, утилізаційні турбогенератори, електричні машини, пропульсивний комплекс судна, дизель-генератор, гребний твинт, валопровід, буксирувочна потужність, адміралтейські коефіцієнти.

Danyk V.V., Chernenko V.V. ANALYSIS OF VALOGENERATORNOY MODE INSTALLATION OF THE PROPELLER MOTOR , DETERMINATION OF ITS POWER

Shows the feasibility of using valogeneratornoy mode installation of the propeller motor backup propulsion system providing emergency move the vessel in the event of failure of the main engine, as well as in passing maneuvers channels, narrow, challenging fairways and when docking.

Keywords: main power plant, marine power systems, installation valogeneratornye main engine, recycling turbine generators, electrical machinery, propulsion system of the vessel, diesel generator, propeller shafting, towing capacity, admiralty coefficients.

Статтю прийнято
до редакції 7.10.2013



ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУРНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ И ТВЁРДОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ОТ СОСТАВА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Касилов А.Н., Касилов О.А.

Херсонская государственная морская академия

*В статье определены изменения коэрцитивной силы (H_C), удельного электросопротивления (ρ), намагниченности насыщения ($4\pi I_S$) и твёрдости (HRC) конструкционных сталей после закалки и отпуска при 200...700 °С. Показатели физических свойств и твёрдости 18Х2Н4ВА, 30ХГСНА, 38ХНЗМФА, 20ХЗВМФ, 35Х5ВМФС, 60С2ХФА, 30Х2МФ, 35Х2М2Т, 30Х5Н5М2ЮТ, 30Х14НМС, 30ХН10К5М2Ф, 25ХН10К10М2Ф, Н16М2ТЮ, Н10Х10К2МТ2, Н13К14М9 и другие сравнивали с показателями Сталей 45, коэрцитивной силой инструментальных (9ХС, Х12Ф1, 8Х14МТ, 7ХСМТ, 65ХЗГСВМФ, 45Х6М2ФС, Р6М5, Р18 и др.) и магнитнотвёрдых ЕХ9К15М сталей. В сталях с карбидным упрочнением $H_{Стах}$ получили после закалки, при повышении $T_{ОПТ}$ H_C уменьшается. Добавки С, Cr, Si, Mo, Co увеличивают H_C . Наибольшее значение H_C получили для магнитнотвёрдой ЕХ9К15М. В сталях с интерметаллидным упрочнением (мартенситностареющих) $H_{Стах}$ получили не после закалки и не после старения на HRCтах (при 500 °С), а после перестаривания (при 700 °С), когда $4\pi I_S$ имеет min. На показатель $4\pi I_S$ влияет химический состав, $T_{ЗАК}$, $T_{ОПТ}$. Максимальные показатели ρ получены для всех сталей после закалки, с повышением $T_{ОПТ}$ ρ падает, на ρ влияет % С и легирующих добавок. Твёрдость HRC зависит от % С, легирующих элементов, $T_{ЗАК}$, $T_{ОПТ}$.
Ключевые слова: легированная сталь, закалка, отпуск, твёрдость, коэрцитивная сила, намагниченность насыщения, удельное электросопротивление.*

Введение. В машиностроении, судостроении, транспорте применяют конструкционные легированные стали 18Х2Н4ВА, 30ХГСНА, 38ХНЗМФА (соответственно высоконагруженные шестерни, валы, оси, штоки, тяги, крупные гребные валы), 60С2, 60С2ХФА, (пружины и рессоры), теплостойкие 20ХЗВМФ, 35Х5ВМФС (детали энергетических установок), в электрике и приборостроении – магнитнотвёрдые с большой коэрцитивной силой ЕХ5К5, ЕХ9К15М. Все они подвергаются закалке и соответствующему отпуску для получения требуемой микроструктуры – низкому при 150-200 °С (для цементированных 20Х, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА – низкоотпущенный мартенсит + карбиды в поверхностном слое), среднему при 400-450 °С (рессорно-пружинная 60С2ХФА – троостит отпуска), высокому при 580-600 °С (для улучшаемых 30ХГСА, 40ХНМ, теплоустойких 20ХЗВМФ – сорбит отпуска), старению при 100 °С (ЕХ5К5 для постоянных магнитов – низкоотпущенный мартенсит + избыточные карбиды + min A_{OCT}). Механические свойства известны из справочной литературы, а физические структурно-чувствительные свойства (H_C , ρ , $4\pi I_S$) исследованы недостаточно. Особенно это касается сравнительно нового класса сталей с интерметаллидным упрочнением – высокопрочных мартенситностареющих Н20М2Т2Б, Н10Х11М2Т2, Н12К15М10 и др., которые закаляются на воздухе (мартенсит «массив»), а затем упрочняются после старения при нагреве 500 °С за счёт образования интерметаллидных фаз.

Анализ публикаций. Согласно теории отпуска закалённой углеродистой стали исходной структурой являются тетрагональный мартенсит (соотношение параметра $c/a > 1$) и остаточный аустенит (A_{OCT}), количество которого возрастает с увеличением концентрации углерода в стали. Указанные фазы неравновесные, поэтому при нагревании до температур ниже точки A_1 , они претерпевают превращения, приводящие в конечном итоге к получению стабильных фаз – феррита и цемента (последовательно к структуре низкоотпущенный мартенсит, троостит, сорбит, зернистый перлит) [1,2,3,4]. Твёрдость закалённой стали с 0,2, 0,35, 0,6, 0,8, и 1,2 % С при нагреве 100...700 °С начиная с 200...250 °С понижается по прямолинейной зависимости. Нагрев при 100 °С сопровождается слабым повышением HRC на 1-2 ед. для высокоуглеродистых сталей в следствие превращения тетрагонального мартенсита в отпущенный. Прямолинейная зависимость снижения HRC от температуры нарушается в районе 200...250 °С: падение замедляется или даже наблюдается повышение HRC для высокоуглеродистых сталей



вследствие превращения A_{OCT} в более твёрдый отпущенный мартенсит. Общая же тенденция – с повышением температуры отпуска HRC как и другие показатели прочности (σ_B , $\sigma_{0,2}$) понижаются, а показатели пластичности (δ , ψ) возрастают [2]. В низколегированных сталях кривые отпуска лежат выше углеродистых, а высоколегированных инструментальных из-за дисперсионного твердения кривая твёрдости может иметь максимум при 500...560 °C (вторичная твёрдость) [4].

Мартенсит обладает максимальным объёмом, а аустенит минимальным, поэтому превращения при отпуске совершаются с объёмными изменениями: дилатометрическая кривая для стали с 1,2 %C фиксирует при распаде мартенсита от 80 до 200 °C сжатие образца (Ie превращение), а при распаде A_{OCT} от 200 до 250 °C его расширение (IIe превращение). При первом превращении постепенно уменьшается параметр C решётки мартенсита, а отношение c/a стремится к единице, тетрагональный мартенсит превращается в отпущенный, почти кубический. Уменьшение тетрагональности объясняется выделением из раствора углерода. Высокоуглеродистая фаза, выделившаяся из перенасыщенного твёрдого раствора, представляет собой чрезвычайно тонкие (толщиной в несколько атомных слоёв) пластинки карбида, когерентно связанные с твёрдым раствором – это метастабильный ϵ -карбид, имеющий гексагональную решетку (формула близкая к Fe_2C , $Fe_{2,4}C$). В результате первого превращения получается отпущенный мартенсит, являющийся гетерогенной смесью перенасыщенного α -раствора (неоднородной концентрации) и ещё не обособившихся частиц карбида. Карбидное превращение $\epsilon \rightarrow Fe_3C$ происходит при более высоких температурах (300...400 °C).

Второе превращение при отпуске захватывает интервал 200...300 °C. Здесь A_{OCT} превращается в гетерогенную смесь, состоящую из пересыщенного α -раствора и карбида (т.е. в отпущенный мартенсит). Третье превращение – 300...400 °C. К концу второго превращения, т.е. при 300 °C α -твёрдый раствор содержит ещё около 0,15-0,20%С; наступающее при дальнейшем повышении температуры сжатие указывает на полное выделение из раствора углерода и снятие внутренних напряжений, возникающих в результате предыдущих превращений, сопровождающихся объёмными измерениями. В диапазоне 300...400 °C происходят процессы возврата и рекристаллизации. Одновременно с этим карбид обособляется и превращается в цемент Fe_3C с ромбической кристаллической решеткой. При 400 °C третье превращение заканчивается и сталь состоит из феррита и цемента. Четвёртое превращение – от 400 до A_1 °C приводит к коагуляции феррита и цементита. Температурные границы стадий условны, они могут сдвигаться в зависимости от скорости нагрева, длительности выдержки, состава стали.

В работе [5] исследовали влияние температуры отпуска на изменения коэрцитивной силы, удельного электросопротивления, намагниченности насыщения и других физических свойств закалённых углеродистых сталей. Коэрцитивная сила H_C (э) после закалки стали с 0,83%С имеет максимальное значение 48э, а после отпуска 160, 200, 260, 300, 350, 400, 440, 460, 620 и 700 °C H_C равна соответственно 40, 38, 28, 24, 22, 23, 24, 24, 19 и 15э, т.е. особенно резко H_C снижается при распаде A_{OCT} при 250...300 °C, а при 450 °C наблюдается небольшой максимум H_C . Подъём кривой H_C наблюдали в стали У8А от 400 до 475 °C, затем непрерывный спад до 650 °C: после отпуска при 325, 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 575, 600, 650 °C H_C равнялась соответственно 26, 25, 26, 28, 29, 28, 26, 23,5, 21,5, 20, 17э (максимум при 475 °C). В стали Ст3 (0,15%С) слабый максимум $H_C=6,5э$ наблюдается при 575 °C, в Ст6 (0,47%С) чёткий максимум $H_C=17э$ виден при 525 °C, в стали У7А (0,7%С) явный максимум $H_C=22э$ находится при 400...425 °C.

Удельное электросопротивление ρ (мком·см) стали с 1,57%С после закалки от 1050 °C равнялось 54, а после отпуска при 75, 120, 130, 150, 180, 200, 240, 270, 280, 300, 350 и 380 °C – соответственно 55, 53, 50, 48, 45, 42, 40, 36, 32, 27, 25 и 24 мком·см, т.е. ρ наиболее резко падает после 100 и 240 °C – в периоды наибольшей скорости распада мартенсита и A_{OCT} , выше 300 °C ρ изменяется незначительно и постепенно. В стали с 0,94%С после отпуска при 200, 300, 400, 500, 600 и 700 °C ρ равнялось соответственно 22,5, 19,5, 18,5, 17,5, 16,5, и 16 мком·см.



Намагніченность насыщения $4\pi I_S$ (кгс) резко возрастает при распаде A_{OCT} , но затем несколько снижается вследствие образования цементита. Для стали с 1,23%С после закалки и отпуска при 20, 150, 250, 300, 450 и 600 °С $4\pi I_S$ равнялась соответственно 17, 16,5, 20, 19,8, 19,7 и 19,7 кгс.

Легирующие элементы влияют на процессы, происходящие при отпуске сталей. На первый этап «двухфазного» распада мартенсита, протекающего ниже 150 °С, легирующие добавки влияют незначительно. Зато на вторую стадию распада мартенсита их влияние существенно: Cr, Mo, W, V, Co, Si, Ti замедляют рост карбидных частиц и сохраняют перенасыщенность α -раствора углеродом, т.е. сохраняется состояние отпущенного мартенсита до 450-500 °С, а в высоколегированных сталях до 550-600 °С. Распад A_{OCT} (2-е превращение) легирующие добавки задерживают, температурный интервал превращения A_{OCT} повышают Si, Mn, Cr, Mo, W, V. В высоколегированных быстрорежущих сталях, содержащих после закалки 25-35 % A_{OCT} , распад его протекает после 2-3-кратного отпуска при 500...600 °С. На третью стадию отпуска легирующие элементы влияют в направлении: увеличивают искажения кристаллической решётки, повышают температуры их снятия, увеличивают температурный интервал, в котором дробятся блоки α -фазы.

Сильно влияют легирующие элементы на карбидные превращения при температурах выше 450 °С, когда становится возможным их диффузионное перераспределение, в результате чего образуются специальные карбиды. Легированный цементит $(Fe, Cr)_3C$ превращается в карбид хрома $(Cr, Fe)_7C_3$. Специальный карбид может зародиться прямо в пересыщенном легирующим элементом α -растворе – карбиды типа MC и M_2C (TiC, VC, Mo_2C , W_2C). Выделение этих карбидов из твёрдого раствора часто вызывает повышение твёрдости. Область температур вторичной твёрдости совпадает с образованием специального карбида и значительным замедлением снятия напряжения второго рода.

На четвёртую стадию отпуска (коагуляция цементита) легирующие добавки оказывают большое влияние: сильные карбидообразователи Cr, Mo, W, V замедляют процесс коагуляции, поэтому после отпуска при одинаковой температуре сталь, легированная этими элементами, сохраняет более высокую дисперсность карбидных частиц, соответственно большую твёрдость.

Известны графики изменения удельного электросопротивления ρ и намагніченности насыщения $4\pi I_H$ легированной стали 30ХНЗМ после закалки от 850 °С и отпуска при 100...450 °С с выдержкой 1,2,4,8 и 16ч [6]. Из графиков следует, что после закалки ($M+A_{OCT}$) сталь обладает максимальным ρ – 38 мком·см. По мере повышения температуры отпуска ρ непрерывно понижается. Это свидетельствует о постепенном распаде мартенсита (первый процесс). Небольшой перелом на кривых при 200 °С свидетельствует об ускорении снижения ρ в связи с возникновением процесса распада A_{OCT} (второй процесс), идущего параллельно с первым. При 300 °С распад A_{OCT} и мартенсита заканчивается, образуется феррито-цементная смесь (троостит), обладающая меньшим ρ , чем мартенсит и аустенит. Дальнейшее незначительное понижение ρ при 300...450 °С объясняется коагуляцией частиц цементита ($\rho=33$ мком·см). Понижение ρ при всех температурах отпуска по мере удлинения выдержки от 1 до 16 ч свидетельствует о том, что вследствие малой скорости диффузии при отпуске процесс распада M и A_{OCT} с образованием карбидной фазы идёт медленно и продолжается очень долго.

По-иному происходит изменение $4\pi I_H$ этой стали. Из анализа графиков «магнитное насыщение (кгс) – температура отпуска (°С)» следует: после нагрева при 100 и 150 °С $4\pi I_H$ незначительно падает (от 19,8 до 19,5 кгс), это объясняется распадом M и образованием ϵ -карбидов, ферромагнитность которых меньше, чем M. После нагрева 200...250 °С $4\pi I_H$ возрастает и достигает максимума – 20,8 кгс. Это связано с распадом немагнитного A_{OCT} . Дальнейшее незначительное снижение $4\pi I_H$ после 300...450 °С вызывается завершением распада M и дополнительным выделением карбидной фазы Fe_3C .



Анализуя графики влияния C_T на магнитные стали с 1%С после закалки от 850 °С в масле [7], можно заметить повышение H_C при добавке 1% C_T – от 50 до 60э (сталь EX), в дальнейшем при 3,55 и 8,5% C_T значение H_C уменьшится до 58,55 и 50э, но остаточная индукция B_r (гс) и магнитная мощность $B_r \times H_C$ достигает максимума при 3% C_T (сталь EX3). Давно замечено, что C_T , W, Co и Mo способствует увеличению в стали остаточного магнетизма. Хромовольфрамовая сталь E7B6 по избыточной составляющей является заэвтектоидной и относится к сталям промежуточного перлитно-мартенситного класса, после закалки имеет твёрдость 65HRC и H_C – 65э. Хромокобальтовая сталь EX5K5 относится к мартенситному классу, а по избыточной составляющей принадлежит к ледебуритным сталям. После нормальной обработки она обладает $H_C = 90 - 100$ э и $B_r = 9500-8500$ гс при намагничивании в поле напряжённостью 500э. В более мощных полях (1000э) её магнитные характеристики значительно возрастают. Ещё более высокими магнитными свойствами обладает сталь EX9K15M, которая является ледебуритной и относится к чисто мартенситному классу. После тройной термообработки [7] она имеет $H_C = 150-160$ э и $B_r = 7500$ гс. Последующее старение при 100 °С в течение 8-10 ч понижает H_C на 3-5э при повышении B_r на 300...400гс.

Магнитная энергия постоянного магнита тем выше, чем больше остаточная магнитная индукция B_r и коэрцитивная сила H_C . Магнитная энергия пропорциональна произведению $B_r H_{Cmax}$. Поскольку B_r ограничена магнитным насыщением ферромагнетика (железа), увеличение магнитной энергии достигается повышением H_C . Для получения высокой H_C стали должны иметь неравновесную структуру – мартенсит с высокой плотностью дефектов старения. Чем больше напряжение в кристаллической решётке, чем дисперснее вторая фаза, тем больше H_C . Анализируя графики влияния отпуска на магнитные свойства магнитотвёрдых сталей можно отметить снижение H_C и повышение B_r при низком, среднем и высоком отпуске, но с различным эффектом [7]. Например, после отпуска при 20, 100, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 °С для стали E7B6 H_C равна соответственно 72, 70, 58, 36, 35, 32, 30, 31, 32, 34э для стали EX3 – 65, 65, 61, 50, 40, 38, 36, 32, 28, 25э для стали EX5K5 – 122, 120, 118, 104, 104, 100, 95, 86, 80, 35э, для стали EX9K15M – 195, 185, 175, 164, 165, 160, 155, 128, 120, 40э, а B_r соответственно для E7B6 – 11,3, 11,4, 11,6, 11,5, 13,5, 14,2, 14,4, 15, 15,2, 15,4 кгс, для EX3 – 10,1, 10,2, 10,7, 11,5, 11,8, 12, 12, 12,7, 14,5, 14,7 кгс, для EX5K5 – 8,8, 9, 9,2, 9,4, 9,5, 9,7, 9,8, 10,5, 10,7, 11,5 кгс, для EX9K15M – 8,2, 8,2, 8,4, 8,6, 8,7, 9, 9,1, 9,6, 9,8, 12кгс. Итак, H_C легированных сталей для постоянных магнитов составляет 4,8-12кА/м и B_r – 0,8-1,0Тл. Наиболее высокие магнитные свойства имеют стали EX5K5 и EX9K15M2 после нормализации, высокого отпуска, закалки и низкого отпуска при 100 °С [3]. В промышленности применяют железоникельковальбальюминиевые α -сплавы (алнико), обладающие исключительно высокими магнитными свойствами, которые получают после закалки от 1250-1280 °С, отпуска при 580-600 °С и специальной термомагнитной обработки. Например, сплав ЮНДК15 имеет H_C (кА/м), B_r (Тл) и BH_{max} (кДж/м³) соответственно 48, 0,75 и 6, а ЮНДК35Т5АА соответственно 115, 1,05 и 40 [3]. Известны также магнитные металлокерамические сплавы системы Fe-Ni-Al (ММК1, ММК2, ММК11), деформируемые сплавы системы Fe-Co-V (52КФА, 52КФБ, 52КФ13), системы Fe-23Ni-9Al-4Nb, системы Fe-Co-Cr (K23X31C1) [3] и другие [2, 5].

H_C высокохромистой стали ледебуритного класса X12Ф1 после закалки (в масле и на воздухе) от температур 850, 900, 950, 1000, 1050 и 1100 °С равна соответственно 54...59, 56...62, 62...70, 75...77, 77...78 и 75э [8].

H_C быстрорежущей стали P18 после закалки равна 80э (твёрдость 62-63 HRC), а после 1-2-3-кратного отпуска при 560 °С соответственно 60, 50, 48э (твёрдость 64, 64, 64 HRC). Кобальт повышает H_C и вторичную твёрдость быстрореза: сталь P18K10 после закалки от 1280 °С имеет H_C 115э и твёрдость 62HRC, а после 1-2-3-кратного отпуска при 560 °С соответственно 93, 70, 69э и 64, 66, 67 HRC [9].

Известны высоколегированные мартенситностареющие стали с уникальными технологическими и механическими свойствами (H18K9M5T, H10X11M2T2,



H12K15M10 и др.), представляющие собой безуглеродистую ($\%C \leq 0,03$) Fe-Ni-систему (8...20%Ni), легированную Mo, Ti, Al, Co, Cr, Cu и др. элементами, образующими перенасыщенный твёрдый раствор замещения, который после нагрева при 500 °С превращается в гетерогенную смесь из α -фазы и мельчайших интерметаллидов, связанных с матрицей когерентно, в результате чего сильно возрастает прочность и вторичная твёрдость [1, 10, 11]. Физические свойства стали H18K7M5T следующие. Электросопротивление ρ (мком·см): после закалки равно 60-61, после старения при 480 °С, 3ч – 38-39; коэрцитивная сила $H_C(\varepsilon)$: после закалки равна 22-21, после старения при 400 °С, 10ч – 26-28; индукция насыщения $B_S(\text{кгс})$: после закалки равна 19-21, после старения при 500 °С – 18-20, при 680 °С – 7-9; коэффициент теплового расширения (20-480°), $\alpha \cdot 10^{-6}$ град – 10,1; плотность (г/см^3) – 8,05; изменение длины при старении (%) – 0 [10]. Однако сведения об изменении физических структурно-чувствительных свойств (H_C , ρ , $4\pi I_S$) после различных режимов закалки (нормализации) и старения ограничены, а некоторые противоречивы.

Цель исследования – определить изменения физических структурно-чувствительных свойств – коэрцитивной силы, намагниченности насыщения, удельного электросопротивления и твёрдости легированных сталей различного химического состава (% углерода, легирующих карбидообразующих, карбидообразующих, интерметаллидообразующих элементов) после закалки и отпуска в интервале 200...700 °С. Основное внимание уделить изменению показателей для легированных конструкционных сталей 18X2H4BA, 30XГСНА, 38ХНЗМФА, 20X3ВМФ, 35X5ВМФС, 60С2ХФА и др.

в сравнении с показателями углеродистой Стали 45, нержавеющей мартенситного класса 30X14НМС, азотируемых 30X2МФ, 35X2М2Т, 30X5Н5М2ЮТ, высоконикелевых 45ХН10М2Ф, 30ХН10К5М2Ф, 25ХН10К10М2Ф, мартенситостареющих Н16М2ТЮ, Н10Х10К2МТ2, Н13К14М9, а также для сравнения H_C легированных инструментальных 9ХС, 8Х14МТ, 7ХСМТ, 7Х4М2СТ, 65Х3ГСВМФ, 45Х6М2ФС, быстрорежущих Р6М5, Р18 и магнитнотвёрдых ЕХ5К5, ЕХ9К15М.

Изложение основного материала. Заготовки легированных сталей с карбидным упрочнением после свободнойковки охлаждали на воздухе, затем отжигали или отпускали при температурах, близких к точке A_1 для получения гетерогенной структуры с минимальной твёрдостью и последующей обработки фрезерованием на размер 10x10x100 и 5x5x100мм с припуском на окончательную термическую обработку (закалка, отпуск) и шлифование. Образцы углеродистой стали 45 и У8 вырезали из отожженных горячекатаных заготовок.

Упрочняющую термообработку образцов проводили в заводских условиях: нагрев под закалку при 750...1150 °С осуществляли в камерных печах с нихромовыми и силитовыми нагревателями, а от 1150...1280 °С – в соляных хлорбариевых ваннах с охлаждением в масле, а стали 45, У8, 60С2 в воде. Отпуск с выдержкой 2ч давали при 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650, 700 °С. Заготовки сталей с интерметаллидным упрочнением послековки охлаждали на воздухе, отжигу не подвергали, так как из-за высокой прокаливаемости они при воздушном охлаждении закаляются насквозь – приобретают структуру безуглеродистого ($\%C \leq 0,03$) пересыщенного твёрдого раствора замещения (мартенсит «массив»), обладающего высокой пластичностью, вязкостью и хорошей обрабатываемостью резанием. Упрочняющее старение проводили при 400, 450, 500, 550, 600, 700 °С с выдержкой 2ч, а нормализацию при 800, 900, 1000, 1100, 1150, 1200 °С давали с выдержкой соответственно 20, 18, 15, 12, 8, 5 мин. Образцы магнитнотвёрдых сталей подвергали нормализации от 1050...1225 °С, затем закалке в масле при 840...1040 °С для получения максимальной коэрцитивной силы H_C . Удельное электросопротивление измеряли на установке, собранной на базе потенциометра Р363-2, магнитные характеристики (намагниченность насыщения, коэрцитивную силу) – на установке БУ-3 с использованием пермеметра сильных полей, твёрдость определяли по методу Роквелла на приборе ТК-2, контроль микроструктуры стали осуществляли при помощи оптического микроскопа МИМ-7, МИМ-8А.



В табл. 1 приведені результати измерений твёрдости и коэрцитивной силы закалённых углеродистых сталей (№1,2), легированных с карбидным упрочнением инструментальных (№ 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13) рессорно-пружинных (14, 15, 16), полутеплостойких для ударного инструмента (№ 17, 18), конструкционных высоконикелевых (№ 19, 20, 21), нержавеющей (№ 22), азотируемых (№23, 24, 25), улучшаемых (№ 26), мартенситностареющих (с интерметаллидным упрочнением – № 27, 28, 29, 30, 31, 32) и магнитотвёрдых (№ 33, 34, 35, 36). Сравнивая показатели H_C углеродистой стали (№ 2) с легированными конструкционными (№ 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26) можно заметить существенный рост H_C при легировании стали хромом, молибденом, кремнием. При сравнении H_C и инструментальных углеродистой (№ 1) и высоколегированных (№ 10, 11, 12, 13) можно отметить повышение магнитных свойств в результате легирования хромом, молибденом, вольфрамом. Особенно высокая H_C магнитотвёрдых сталей, содержащих хром и кобальт (№ 35), хром, кобальт, молибден (№ 36).

Таблица 1 – Твёрдость и коэрцитивная сила закалённых углеродистых и легированных сталей с карбидным и интерметаллидным (мартенситностареющие) упрочнением в сравнении с магнитотвёрдыми сталями

№ n/n	Сталь	$T_3, ^\circ\text{C}$	HRC	$H_C, \text{э}$	№ n/n	Сталь	$T_3, ^\circ\text{C}$	HRC	$H_C, \text{э}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	У8	800 850	65 64	58 52,2	22	30X14HMC	1050+ 700 +950	53	67,5
2	Сталь 45	880	56	34	23	35X5BMФC	1020	57	50,8
3	9XC	850	65	52	24	30X5H5M2ЮT	1000	48	47,9
4	65X3ГCBMФ	900	64	59,2	25	35X2H4M	950	51	46,6
5	7XCMT	830	64	57,8	26	30XГCНА	880	51	41
6	65XCMФ	850	63	48,8	МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩИЕ				
7	8X5M2ФC	1100 1100+ азот	55 61	50,3 56,4	27	H16M2TЮ	ковка воздух	27	15,6
8	7X4M2CT	980	60	58,3			стар. 700	35	37,2
9	45X6M2ФC	1100	61	56,8	28	H20M2T2Б	ковка воздух	30	16
10	8X14MT	1100+ 650+ 980	60	103			стар. 600	45	55,3
11	P6M5	1220	64	84,7	29	H10X10K2MT2	ковка воздух	33	20,1
12	P18	1280	64	90			стар. 700	36	45,6
13	X12Ф1	1000	63,5	77	30	H18K9M5T	ковка воздух	33	27,1
14	60C2	850	62	48,5			стар. 650	37	120
15	60X2CMФ	900	62	53,4	31	H13K14M9	1100 воздух	32	30,5
16	60C2XФА	850	63	56,2			стар. 700	39	77
17	6XГHМФ	850	63	52,4	32	H13K11M6B6TЮC	ковка воздух	42	50
18	6XГ2MФ	850	63,5	55,8			стар. 700	49	116



Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	45ХН10М2Ф	750	56	62,5	МАГНИТНОТВЕРДЫЕ (65HRC)				
20	45ХН10М2С2Ф	750	54	90,1	33	EX3 (1%С) T _H -1050+T ₃ -850			65
21	65ХН10МФ	650	48	105	34	E7B6 (0,7%С) T _H -1225+T ₃ -840			70
		750	51	73,3	35	EX5K5 (1%С) T _H -1175+T ₃ -940			120
		850	46	59,7	36	EX9K15M (1%С) 1220+T ₃ -1040			190

Никелевая воздушно-закаливается сталь (№21), содержащая 0,65 % С, 10 % Ni, 0,7 % Cr, 0,5% Mo, 0,2 % V, после закалки от 850 °С и отпуска при 500 °С имеет твердость 44HRC, $\rho=0,469$ нОМ·м, $4\pi I_s = 16,1$ кгс, $H_c = 59,2\text{э}$. После закалки от 650, 750, 850, 950, 1050 °С твердость равна 48, 51, 46, 47, 43 HRC, ρ равно 0,464, 0,566, 0,578, 0,567, 0,540 нОМ·м, $4\pi I_s$ равна 12,9, 9,1, 7,3, 9,1, 10,1 кгс, H_c равна 104,8, 73,3, 59,7, 41,7, 38,8э. Отсюда следует, что максимальное значение $4\pi I_s$ сталь имеет в высокоотпущенном при 500 °С состоянии (гетерогенная структура), а HRC_{\max} – после $T_3 = 750$ °С, ρ_{\max} – после $T_3 = 850$ °С, $H_{c\max}$ – после $T_3 = 650$ °С, когда $4\pi I_s$ имеет относительно высокое значение (12,9 кгс), а при повышении T_3 уровень намагниченности насыщения понижается, так как карбиды растворяются и аустенит насыщается углеродом, хромом, молибденом, что приводит к снижению точки M_H и, как следствие, увеличению немагнитной фазы – $A_{\text{ост}}$ после закалки.

Мартенситностареющие стали (№ 27, 28, 29, 30, 31, 32) после горячейковки и охлаждения на воздухе состарили при 500 °С на максимальную твердость и получили соответственно 50, 52, 53, 54, 58, 62 HRC при H_c соответственно 13,3, 13,3, 19,8, 21, 29,7, 45,6э. Из табл.1 видно, что эти стали имеют $H_{c\max}$ не после закалки (ковка, охлаждение на воздухе) и не после старения при 500 °С на $\max H_c$, а после перестаривания (при 600, 650, 700 °С).

В табл. 2 приведены результаты измерения показателей физических свойств и твердости легированных конструкционных сталей после закалки и отпуска при 200...700 °С.

Таблица 2 – Влияние режима термической обработки на твердость и физические свойства легированных конструкционных сталей

T _{отп} °С	T _{верд} HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_s$ кгс	H _c э	T _{отп} °С	T _{верд} HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_s$ кгс	H _c э
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь 18Х2Н4ВА T ₃ =850 °С					Сталь 60С2 T ₃ =850 °С				
20	45	0,405	20,6	32,4	20	62	0,484	18,6	48,5
200	43	0,398	20,5	25,9	200	58	0,425	18,9	38,3
400	39	0,381	20,3	20,6	300	56	0,418	20,1	24,3
500	32	0,367	21,0	17,7	400	50	0,393	20,7	18,0
550	34	0,360	20,7	13,5	500	41	0,395	20,4	19,4
600	30	0,368	20,2	12,0	600	33	0,400	20,1	18,7
Сталь 30ХГСНА T ₃ =900 °С					Сталь 60С2ХФА T ₃ =950 °С				
20	51	0,425	20,0	41,0	эффективна для в.т.м.о				
200	49	0,412	20,0	33,0	20	64	0,534	18,4	53,5
400	44	0,396	20,5	20,0	200	58	0,495	18,7	40,8
500	37	0,383	19,7	18,0	300	57	0,482	18,9	34,7
600	28	0,371	19,0	17,2	400	52	0,460	19,4	30,2
Сталь 38 ХНЗМФА T ₃ =850 °С					500	47	0,430	19,6	26,0
20	53	0,417	19,7	39,3	600	40	0,396	19,2	25,3
200	51	0,377	21,1	28,2	Сталь 60Х2СМФ T ₃ =900 °С				
300	47	0,361	21,3	26,7	разработана для в.т.м.о				
400	46	0,369	20,6	25,6	20	62	0,580	17,5	53,4
500	44,5	0,348	20,6	24,0	200	58	0,521	17,5	45,6
550	42	0,339	20,6	23,5	300	57	0,497	18,3	43,7
600	39	0,318	21,3	22,5	400	54	0,480	17,7	42,7



Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь 30X14НМС $T_H=1050+700+T_3=950$ °С					500	52	0,457	19,4	37,4
20	53	0,924	15,2	67,5	600	47	0,391	19,9	32,0
200	48	0,908	15,2	67,5	700	28	0,377	18,6	19,4
400	50	0,865	15,6	59,1	ПОСЛЕ ОТЖИГА				
500	51	0,820	15,6	56,1	18	0,370	18,9	17,0	
550	40	0,854	16,0	31,3					
600	36	0,820	16,0	22,9					

Сталь 18X2Н4ВА применяют обычно после цементации, закалки и низкого отпуска при 150-200 °С (низкоотпущенный мартенсит) для износостойких деталей, а в высокоотпущенном при 500...550 °С состоянии подвергают азотированию при 480 °С, 48ч для деталей, испытывающих знакопеременные нагрузки. Марки 30ХГСНА и 38ХНЗМФА применяют в высокоотпущенном (улучшенном) состоянии после $T_{отп}=550...600$ °С (структура сорбит отпуска), когда сталь обладает наилучшим сочетанием прочности, пластичности, вязкости. Рессорно-пружинные 60С2, 60С2ХФА, 60Х2СМФ применяют после закалки и среднего (400...450 °С) отпуска, обеспечивающего структуру троостит отпуска и высокие упругие свойства. Нержавеющая 30X14НМС обладает повышенными значениями H_C и ρ при пониженной $4\pi I_S$ по сравнению с вышерассмотренной группой в табл. 2, что объясняется высокой концентрацией хрома. Твёрдость после закалки снижается, затем в интервале 400...500 °С повышается, это объясняется эффектом дисперсионного твердения за счёт образования специальных карбидов при отпуске. Предпочтительно эту сталь применяют после низкого отпуска при 180-200 °С.

В табл. 3 даны сведения об измерении физических свойств и твёрдости полу- и теплостойких сталей, подвергаемых после высокого отпуска, шлифования и полирования азотированию в диссоциированном аммиаке для получения на поверхности изделий диффузионного слоя глубиной 0,1-0,25 мм, характеризующегося высокой твёрдостью, износостойкостью, теплостойкостью. Находящиеся в стали Mn, Cr, Mo, W, V, Al, Ti при азотировании образуют с азотом нитриды соответствующих элементов, отличающиеся более высокой твердостью и теплостойкостью, чем нитрид железа Fe_3N . Стали после отпуска 500...550 °С обладают теплостойкостью: после нагрева при 500 °С снижение твёрдости не только приостанавливается, но наблюдается её повышение, что объясняется выделением специальных карбидов. Увеличение концентрации Cr и Mo вызывает повышение ρ и H_C . Комплексное легирование Cr, Mo, Ni, Mn сильно увеличивает прокаливаемость, но наличие Ni и Mn снижает точку A_1 , поэтому отпуск выше 550 °С для стали 25X2Г2Н2МФС, 35X2Г2Н2М2ФС нежелателен.

Таблица 3 – Твёрдость и физические свойства легированных азотируемых сталей после закалки и отпуска перед х.т.о.

$T_{отп}$ °С	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_S$ кгс	H_C э	$T_{отп}$ °С	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_S$ кгс	H_C э
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь 25X2Г2Н2МФ $T_3=1000$ °С					Сталь 35X2Г2Н2М2Ф $T_3=1000$ °С				
20	45	0,647	19,0	37,9	20	51	0,708	17,9	49,0
200	44	0,630	19,3	35,4	200	45	0,679	18,3	48,5
400	45	0,610	19,1	33,5	400	48	0,660	17,9	43,7
500	45	0,587	18,4	32,0	500	50	0,584	18,4	38,8
550	43	0,572	19,3	27,7	550	49	0,570	19,2	36,9
Сталь 30X2МФ $T_3=1000$ °С					Сталь 35X2М2Т $T_3=1000$ °С				
20	47	0,456	19,3	47,6	20	47	0,427	19,0	52,4
200	45	0,432	19,6	36,4	200	46	0,411	19,0	45,1
400	43	0,420	19,4	40,0	400	45	0,396	19,4	37,9
500	46	0,392	19,9	35,0	500	47	0,374	19,6	34,9
550	44	0,390	19,9	33,7	550	45	0,364	19,3	34,0



Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
600	43	0,367	19,8	31,5	600	36	0,312	19,6	25,7
Сталь 35Х2Н5М $T_3=950\text{ }^\circ\text{C}$					Сталь 30Х5Н5М2ЮТ $T_3=1000\text{ }^\circ\text{C}$				
20	51	0,443	20,3	46,6	20	48	0,717	16,2	47,9
200	48	0,427	20,1	41,7	200	45	0,730	17,2	47,6
400	46	0,417	20,9	35,9	400	47	0,669	17,2	41,8
500	47	0,392	20,9	32,5	500	50	0,647	17,2	35,7
550	47	0,387	20,4	32,1	550	49	0,577	17,5	33,8
600	43	0,370	20,4	27,2	600	41	0,550	17,8	25,5
Сталь 20Х3ВМФ $T_3=1050\text{ }^\circ\text{C}$					Сталь 35Х5ВМФС $T_3=1020\text{ }^\circ\text{C}$ тепло- и разгаростойкая				
20	41	0,430	20,9	40,8	20	57	0,650	18,5	50,8
200	38	0,427	20,3	38,8	200	53	0,639	18,6	50,3
400	38	0,422	19,5	37,4	400	53	0,607	18,6	48,8
500	40	0,410	19,5	34,0	500	56	0,575	18,9	46,1
550	40	0,408	19,6	26,7	600	40	0,507	19,6	23,5
600	40	0,404	19,9	22,3					
700	10	0,357	20,9	10,3					

В табл. 4 представлены свойства опытных высоконикелевых сталей в сравнении с показателями конструкционной углеродистой. Никель повышает не только прочность, но и вязкость стали после высокого отпуска (30ХН12МФ). Никель совместно с хромом, молибденом повышает прокаливаемость (сталь закаливается при охлаждении на воздухе), ванадий введён для измельчения зерна (0,1-0,25%V) – 45ХН10М2Ф и др. Молибден при 2 % и более обеспечивает вторичную твёрдость за счёт выделения спецкарбида Mo_2C при отпуске 500...525 $^\circ\text{C}$, кобальт (30ХН10К5М2Ф, 25ХН10К10М2Ф) и кремний (25ХН10К10М4С2Ф) усиливают дисперсионное твердение спецкарбидами у высоконикелевых сталей.

Таблица 4 – Твёрдость и физические свойства легированных высоконикелевых сталей в сравнении с показателями стали 45

$T_{отп}$ $^\circ\text{C}$	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_s$ кгс	H_c э	$T_{отп}$ $^\circ\text{C}$	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_s$ кгс	H_c э
Сталь 30ХН12МФ $T_3=750\text{ }^\circ\text{C}$					Сталь 45ХН10М2Ф $T_3=750\text{ }^\circ\text{C}$				
20	48	0,528	17,3	48,5	20	56	0,522	15,2	62,6
200	46	0,525	17,5	44,2	200	52	0,492	15,2	54,4
400	47	0,491	17,3	36,0	400	48	0,466	14,8	47,6
500	45	0,474	15,4	31,5	500	50	0,449	15,1	46,1
550	41	0,465	14,2	38,6	550	48	0,420	15,6	54,8
Сталь 30ХН10К5М2Ф $T_3=950\text{ }^\circ\text{C}$					Сталь 25ХН10К10М2Ф $T_3=1000\text{ }^\circ\text{C}$				
20	48	0,553	18,7	43,7	20	44	0,526	17,7	43,7
200	46	0,531	18,7	40,8	200	43	0,515	18,0	41,2
400	43	0,512	19,0	39,8	400	43	0,472	18,7	40,8
500	48	0,476	18,6	36,4	500	50	0,435	18,0	29,6
550	48	0,424	19,3	29,1	550	45	0,373	18,5	25,2
Сталь 25ХН10К10М4С2Ф $T_3=1150\text{ }^\circ\text{C}$					Углеродистая Сталь 45 $T_3=900\text{ }^\circ\text{C}$				
20	50	0,787	16,1	54,8	20	56	0,300	20,6	34,0
200	46	0,776	16,0	52,4	200	52	0,255	20,6	24,2
400	55	0,708	16,4	44,6	300	50	0,248	20,6	19,1
500	56	0,615	15,9	35,0	400	40	0,239	20,6	16,4
550	55	0,506	15,6	33,0	500	29	0,229	22,1	17,4
600	50	0,490	15,7	33,0	600	12	0,216	20,3	13,3

В табл. 5 приведены свойства мартенситностареющих сталей после закалки (охлаждение после горячей деформации на воздухе, вылёживание при 20 $^\circ\text{C}$ более 2 ч), старении при 400...700 $^\circ\text{C}$, 2ч, нормализации – нагрев при 800, 900, 1000, 1100, 1200 $^\circ\text{C}$ и охлаждение на воздухе. В круглые скобки взяты экстремальные показатели: maxHRC, maxH_c, minρ, min4πI_s. Нержавеющая сталь Х12Н8М2Ф обладает очень высокой



пластичністю и вязкостью, но содержит мало молибдена (2 % Mo), вызывающего упрочнение при старении 450...500 °С, а ванадий введён лишь для модифицирования, измельчения зерна (0,15 % V). Ожидалось, коль низкая HRC при закалке и невысокая при старении 450...500 °С, то и коэцитивная сила H_c будет низкой (по аналогии с углеродистыми и легированными сталями с карбидным упрочнением). Оказалось, что при перестаривании при 700 °С, когда нарушается когерентность между α -твёрдым раствором и интерметаллидами и часть интерметаллидов растворяется в аустените при обратном $\alpha \rightarrow \gamma$ – превращении (при 700 °С), а затем при охлаждении остаётся в структуре как стабилизированный A_{OCT} , а частично превращается в α_M (мартенсит «массив»), резко возрастает H_c (71,4э), а $4\pi I_S$ уменьшается до min (10,7 кгс). Нормализация от 800, 900 и 1100 °С понижает H_c , HRC, но повышает ρ и $4\pi I_S$.

Таблица 5 – Влияние температуры старения и нормализации на твёрдость и физические свойства мартенситностаряющихся сталей

$T_{OПП}$ °С	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_S$ кгс	H_c э	$T_{OПП}$ °С	$T_{ВЕРД}$ HRC	ρ нОМ·м	$4\pi I_S$ кгс	H_c э
Сталь Н12Н8М2Ф					Сталь Н16М2ТЮ				
20	30	0,832	11,1	39,5	20	27	0,589	19,2	15,6
400	35	0,798	12,2	37,2	400	40	0,574	19,0	13,3
450	(35)	0,810	12,2	33,4	450	46	0,542	18,7	12,9
500	34-35	0,794	11,3	33,8	500	(50)	0,511	18,7	13,3
550	33	(0,788)	11,8	32,3	550	49	(0,486)	18,7	16,7
600	33	0,794	11,1	35,0	600	49	0,495	18,8	15,6
700	31	0,817	(10,7)	(71,4)	700	35	0,542	(18,5)	(37,2)
800	32	0,858	11,8	49,4	800	28	0,595	19,1	21,3
900	30	0,891	13,0	38,4	900	28	0,598	19,0	16,0
1100	28	0,926	13,5	35,0	1100	29	0,598	19,2	17,5
Сталь Н10Х10К2МТ2					Сталь Н13К14М9 $T_H=1100^\circ$, воздух				
20	33	1,016	16,3	20,1	20	32	0,890	17,0	30,5
400	41	0,956	16,9	22,4	400	45	0,874	17,5	29,0
450	48	0,906	16,4	20,1	450	53	0,723	17,6	24,8
500	(53)	0,852	16,3	19,8	500	(58)	0,508	17,5	29,7
550	54	0,782	16,4	18,6	550	55	(0,443)	17,0	40,0
600	50	(0,774)	16,0	19,8	600	50	0,447	16,2	44,0
700	36	0,874	(15,4)	(45,6)	700	39	0,725	(15,3)	(77,0)
Сталь Н20М2Т2Б					Сталь Н13К11М6В6ТЮС				
20	30	0,607	18,5	16,0	20	42	1,006	14,7	50,0
500	(52)	0,552	17,4	13,3	500	62	0,791	15,0	45,6
550	50	(0,537)	17,0	26,3	550	(63)	0,590	15,0	65,0
600	38	0,576	(13,3)	(55,3)	600	61	(0,584)	14,6	92,2
Сталь Н18К9М5Т					700	49	0,660	(9,2)	(116,1)
20	33	0,734	19,0	27,1	800	44	0,769	15,9	80,3
500	(54)	0,479	19,2	21,0	1000	41	0,915	15,7	59,2
650	37	0,600	(13,1)	(119,9)	1200	40	0,924	15,6	54,4

Нержавеющая Н10Х10К2МТ2, как и предыдущая сталь, отличается высоким показателем ρ благодаря большой концентрации хрома; HRCmax достигается после старения при 500 °С, а H_{cmax} – при 700 °С, когда $4\pi I_S$ имеет min. При старении от 20 до 600 °С ρ непрерывно понижается, что указывает на распад пересыщенного твёрдого раствора на гетерогенную смесь α -фазы и интерметаллидов. При нагреве до 700 °С происходит обратное $\alpha \rightarrow \gamma$ – превращение с частичным растворением интерметаллидов; при последующем охлаждении до комнатной температуры часть γ -фазы превращается в α_M (мартенсит), что вызывает повышение ρ . Главный упрочняющий при старении элемент – титан, который с никелем образует интерметаллид Ni_3Ti .

В стали Н20М2Т2Б главные упрочнители при старении – титан и ниобий, содержание никеля высокое – для интенсификации старения, молибден введен для



предотвращения нежелательных пограничных выделений фаз. $HRC_{max} = 52$ при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H_C_{max} = 55,3\text{э}$ при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho_{min} = 0,537\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4\pi I_{Smin} = 13,3\text{ кгс}$ при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для стали Н18К9М5Т упрочнение при старении обеспечивают молибден и титан, кобальт введен как интенсификатор, сам Со интерметаллидов не образует. После старения при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $HRC_{max} = 54$ при $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ $H_C_{max} = 119,3\text{э}$, а $4\pi I_{Smin} = 13,1\text{ кгс}$.

Сталь Н16М2ТЮ содержит главные интерметаллидообразующие элементы – титан и алюминий в сумме 2 %, которые ответственны за получение показателей после старения при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $HRC_{max} = 50$, при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ $H_C_{max} = 37,2\text{э}$, а $4\pi I_{Smin} = 18,5\text{ кгс}$, $\rho_{max} = 0,589\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (до старения) и $\rho_{min} = 0,486\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (старение при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Сталь Н13К14М9 упрочняется за счёт выделения никельмолибденовых интерметаллидов Ni_2Mo : после старения при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $HRC_{max} = 58$, после $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ $H_C_{max} = 77\text{э}$, а $4\pi I_{Smin} = 15,3\text{ кгс}$, $\rho_{max} = 0,890\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (до старения) и $\rho_{min} = 0,443\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (старение при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Сталь Н13К11М6В6ТЮС в исходном перед старением состоянии имела в структуре кроме мартенсита «массив» избыточные глобулярной формы интерметаллиды, равномерно распределённые в объёме зерна. Наличие избыточных интерметаллидов повышает износостойкость инструментальной стали. Главные упрочнители при старении – молибден, вольфрам, титан и алюминий, интенсификаторы старения – кобальт и кремний. После старения при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ получили $HRC_{max} = 63$, после $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ $H_C_{max} = 116,1\text{э}$, а $4\pi I_{Smin} = 9,2\text{ кгс}$, $\rho_{max} = 1,006\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (до старения) и $\rho_{min} = 0,584\text{ нОМ}\cdot\text{м}$ (старение при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Выводы:

1. Определены физические структурно-чувствительные свойства H_C , $4\pi I_S$, ρ и HRC стандартных и опытных легированных конструкционных сталей с карбидным упрочнением после закалки и отпуска в интервале $200\text{...}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сравнении с углеродистой сталью 45. Для сравнения измерили величину H_C и HRC для закалённых инструментальных У8, 9ХС, Х12Ф1, Р6М5, 8Х14МТ, 7ХСМТ, 65Х3ГСВМФ и др., а также магнитотвёрдых ЕХ5К5, ЕХ9К15М сталей. Все стали имели после закалки H_C_{max} , ρ_{max} и HRC_{max} , отпуск снижает показатели с разной интенсивностью, зависящей от схемы легирования и температуры отпуска.

2. Показатели H_C и ρ повышают углерод, хром, молибден, вольфрам, кобальт, кремний.

3. Определены H_C , ρ , $4\pi I_S$, HRC для 7 высоколегированных сталей с интерметаллидным упрочнением (мартенситностареющих) после старения при $400\text{...}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и после нормализации от $800, 900, 1000, 1100, 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлено, что H_C_{max} получается не после закалки или после старения при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ на HRC_{max} , а после перестаривания ($600\text{...}700\text{ }^{\circ}\text{C}$), когда $4\pi I_S$ имеет min.

4. Полученные результаты будут использованы при анализе структурных превращений, происходящих в легированных сталях при закалке и отпуске (старении), выборе рациональных режимов термомеханической и термомагнитной обработки, а также обработки холодом.

5. Перспективы исследования – определить H_C , $4\pi I_S$, ρ , HRC легированных инструментальных теплостойких сталей с карбидным и интерметаллидным упрочнением (мартенситностареющих) после закалки и отпуска (старения), изучить эффективность закалки деталей в жидком азоте при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ («удар холодом»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1978. – С. 305-315.
2. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1977. – С. 271-275, С. 540-546.
3. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – С.183-189, С. 367-369.



4. Антингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка / И. Антингер. – М. : Металлургия, 1982. – С. 104-114.
5. Металловедение и термическая обработка стали : справочник; Том 1. – М. : Металлургиздат, 1961. – С. 691-707.
6. Паисов И. В. Термическая обработка стали и чугуна / И. В. Паисов. – М. : Металлургия, 1970. – С. 85-98.
7. Доронин В. М. Термическая обработка углеродистой и легированной стали / В. М. Доронин. – М. : Металлургиздат, 1955. – С. 258-277.
8. Позняк Л. А. Штамповые стали для холодного деформирования / Л. А. Позняк. – М. : Металлургиздат, 1966. – 147 с.
9. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. – М. : Металлургия, 1975. – 587 с.
10. Перкас М. Д. Высокопрочные мартенситностареющие стали / М. Д. Перкас, В. М. Кардонский. – М. : Металлургия, 1970. – 224 с.
11. Бодяко М. Н. Мартенситностареющие стали / М. Н. Бодяко, С. А. Астапчик, Г. Б. Ярошевич. – Минск : Наука и техника, 1976. – 248 с.

Касілов О.М., Касілов О.О. ЗАЛЕЖНІСТЬ ФІЗИЧНИХ СТРУКТУРНО-ЧУТТЄВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ТВЕРДОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ВІД СКЛАДУ І РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

У статті виявили зміни коерцитивної сили (H_c), питомого електроопору (ρ), магнітного насичення ($4\pi I_s$) і твердості (HRC) конструкційних сталей після гартування та відпускання при 200...700 °С. Показники фізичних властивостей і твердості 18Х2Н4ВА, 30ХГСНА, 38ХНЗМФА, 20ХЗВМФ, 35Х5ВМФС, 60С2ХФА, 30Х2МФ, 35Х2М2Т, 30Х5Н5М2ЮТ, 30Х14НМС, 30ХН10К5М2Ф, 25ХН10К10М2Ф, Н16М2ТЮ, Н10Х10К2М2Т, Н13К14М9 та інших порівнювали з показниками Сталі 45, коерцитивною силою інструментальних (9ХС, Х12Ф1, 8Х14МТ, 7ХСМТ, 65ХЗГСВМФ, 45Х6М2ФС, Р6М5, Р18 та ін.) і магнітотвердих ЕХ9К15М сталей. У сталях з карбідним зміцненням H_c тах отримали після гартування, при підвищенні $T_{\text{відп}}$ H_c зменшується. Додатки С, Сr, Si, Мо, Со підвищують H_c . Найбільший показник H_c отримали для магнітотвердої ЕХ9К15М. У сталях з інтерметалідним зміцненням (мартенситностаріючих) H_c тах отримали не після гартування і не після старіння на HRC тах (при 500 °С), а після перестарювання (при 700 °С), коли показник $4\pi I_s$ має міні. На показник $4\pi I_s$ впливає хімічний склад, $T_{\text{гарт}}$, $T_{\text{відп}}$. Максимальні показники ρ отримали для усіх сталей після гартування, з підвищенням $T_{\text{відп}}$ ρ падає, на ρ впливає % С і легуючі добавки. Твердість HRC залежить від % С, легуючих елементів, $T_{\text{гарт}}$, $T_{\text{відп}}$.

Ключові слова: легована сталь, гартування, відпускання, твердість, коерцитивна сила, магнітна насиченість, електроопір.

Kasilov A.N., Kasilov O.A. DEPENDENCE OF PHYSICAL, STRUCTURAL AND SENSITIVE PROPERTIES AND ALLOYED STEEL HARDNESS ON THE COMPOSITION AND HEAT TREATMENT

In the article it's defined the changes of the coercive force (H_c), electrical resistivity (ρ), magnetization saturation ($4\pi I_s$) and hardness (HRC) of the structural steel after hardening and tempering at 200...700°C. Indicators of physical properties 18X2H4VA, 30XGCHA, 38XHZMFA, 20XZVMF, 35X5VMFS, 60C2XFA, 30X2MF, 35X2M2T, 30X5H5M2YUT, 30X14HMS, 30XN10K5M2F, 25XN10K10M2F, H16M2TYU, H10X10K2M2T, H13K14M9 and others were compared with the indexes of C steel 45, the coercive force of the tool (9XS, X12F1, 8X14MT, 7XSMT, 65XZGSVMF, 45X6M2FS, P6M5, P18, etc.) and hard-magnetic (EX9K15M) steels. H_c max was received after hardening in steels with the carbide strengthening, H_c decreases at temperature rising. The additive agents C, Cr, Si, Mo, Co increase H_c . The largest value H_c max was got for the hard magnetic steel EX9K15M. In the steels with the intermetallic strengthening (maraging steels) H_c max was received not after tempering and ageing at HRCmax (500°C) but after re-ageing (at 700°C) when $4\pi I_s$ is at minimum value. The index $4\pi I_s$ is affected by the chemical composition, temperatures of hardening and tempering. The maximum ρ value is received for all steels after hardening; with the T_{temp} rising ρ decreases. ρ is affected by the percentage of C and alloy additives. Hardness HRC depends on the percentage of C, alloy additives, T_{hard} and T_{temp} .

Key words: alloyed steel, hardening, tempering, hardness, the coercive force, saturation magnetizing, electrical resistivity.



КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПІДСИСТЕМ ЗАТИСКУ ТА САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ БАГАТОЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ АДАПТИВНОГО ТИПУ

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Запропонована система самоналагоджувального комплексного оснащення для багатолезової обробки, яке складається із підсистеми адаптивного затиску заготовки та підсистеми адаптивної багаторізевої токарної обробки. Приведено вплив геометричних параметрів втулкових елементів затиску та силового навантаження зі сторони приводу затиску на діапазон затиску заготовок та їх напружено-деформований стан. В результаті моделювання отримані закономірності формування діапазону затиску заготовок затискними пристроями з різними типами втулкових затискних елементів. Проведено комп'ютерний аналіз динамічної стійкості самоналагоджувальної системи багатолезової обробки з пристроями для затиску заготовок. Отримані діаграми вібростійкості системи багатолезової обробки, які ілюструють збільшення запасу динамічної стійкості по граничній стружці для багаторізевого точіння.

Ключові слова: багатолезове різання, напружено-деформований стан, підсистема затиску.

Актуальність досліджень. Процес лезової токарної обробки супроводжується пружними деформаціями та вібраціями, які чинять шкідливий вплив на параметри точності та якості оброблюваної поверхні, стійкість інструменту і довговічність верстату. У процесі обробки в технологічній системі pojawiaються згинні та крутильні коливання, що зумовлено наявністю і взаємним впливом технологічних умов різання, зовнішніх збурюючих сил і деформаційно-пружних характеристик технологічної оброблювальної системи. Основним принципом, закладеним в ідею прогресивного багатолезового оснащення є те, що з метою регулювання перехідних процесів різання в першу чергу слід забезпечити узгодження між швидкістю подачі, яку забезпечує привід, і швидкостями подачі лез різальних інструментів. При цьому існує можливість створення в структурі верстатно-інструментального оснащення внутрішніх механізмів адаптації всієї системи до зміни умов різання. Тому, керуючи осьовою складовою P_x сили різання шляхом зміни подачі за рахунок переміщень лез в осьовому напрямку, можна керувати силою різання в цілому, в тому числі її радіальною складовою.

Крутильні коливання, які виникають у приводі під час кінцевих токарних операцій, призводять до коливань сили різання, а нерівномірна жорсткість затискного пристрою, що має дискретне розташування затискних елементів по контуру затиску, спричиняє зміну складових радіальних відтискань. Все це негативно впливає на точність і якість оброблюваної поверхні. Тому адаптація багатолезового оснащення до зміни радіальної та крутильної жорсткості підсистеми «затискний пристрій-заготовка» та забезпечення незмінної радіальної жорсткості затискних пристроїв по куту повороту є актуальною науковою задачею і одним із способів покращення точності та якості оброблених поверхонь.

Аналіз останніх досліджень та постановка задач дослідження. На сьогоднішній день вченими та винахідниками запропоновано ряд технічних рішень, які направлені для забезпечення її точного та надійного затиску в процесі обробки [1] та стабілізацію осі деталі або інструменту в просторі [2, 3]. Приведені в цих роботах способи, механізми і прийоми зменшення пружних деформацій деталей при однолезовій токарній обробці передбачають, зокрема, застосування схем додаткових опор, зміну схеми обробки, керування жорсткістю системи, керування вібраціями та ін.

У порівнянні з однолезовою обробкою багатолезове різання є одним із ефективних і високопродуктивних методів зменшення макро- і мікропохибок обробки та неприпустимих коливань при різанні. Науковим основам створення і дослідження багатолезового оснащення із само встановлюваними механізмами присвячена робота [4],

а адаптації багатолезового оснащення – робота [5]. У роботі [6] розглядаються питання підвищення вібростійкості процесу точіння багаторізцевими головками тонкостінних труб з урахуванням характеру розподілу жорсткості затискної оправки по її осі. Очевидно, що за допомогою зміни подачі в якості параметра керування можна організувати надзвичайно тонкий і чутливий механізм керування пружними переміщеннями. Зміна ж подачі, пов'язана зі зміщеннями вздовж напрямку подачі (осі X) не впливає негативно на якість поверхні. С. С. Кедров [7] на основі дослідних даних інших дослідників, зокрема М. Е. Ельясберга [8], робить висновок, що вектор сили різання не змінює напрямку в просторі при коливаннях. Експерименти повністю підтверджують це положення. Оскільки коливання всіх вузлів системи верстату підпорядковуються принципу найменшої потенціальної енергії і мають направленість вздовж осей найменших жорсткостей, то пропонується направити коливний рух вздовж осі X.

Питанням компенсації нерівномірної жорсткості по куту повороту затискного патрона при обробці довгих та коротких тонкостінних деталей за рахунок активних одноінструментальних систем з п'єзоприводами присвячена робота [9]. У роботах [6, 9] значну увагу приділено дослідженню жорсткості системи «затискний пристрій-заготовка». Нерівномірності радіальної жорсткості по куту повороту пристроїв для затиску заготовок можна уникнути шляхом реалізації схем затиску із рівномірно розподіленим зусиллям затиску по контуру контактування заготовки із затискними елементами. Такі схеми затиску реалізовані в затискних пристроях із оболонковими та втулковими елементами затиску.

Мета роботи: 1) створення системи самоналагоджувального комплексного оснащення для багатолезової обробки, яке складається із підсистеми адаптивного затиску заготовки та підсистеми адаптивної багаторізцевої токарної обробки на основі нових конструкцій затискних патронів з розширеним діапазоном затиску і рівномірно розподіленим зусиллям затиску та багатолезових токарних пристроїв адаптивного типу; 2) аналіз впливу геометрії різних типів затискних елементів на діапазон затиску заготовок та їх напружено-деформований стан; 3) аналіз динамічної стійкості самоналагоджувальної системи багатолезової обробки адаптивного типу з кінематичними міжінструментальними зв'язками в комплексі із затискними пристроями із рівномірно розподіленим зусиллям затиску.

Моделювання втулкових елементів затиску затискних пристроїв, як підсистеми комплексного оснащення для багатолезової обробки. Самоналагоджуване комплексне оснащення для багатолезової обробки складається із підсистеми адаптивного затиску заготовки та адаптивної підсистеми обробки заготовки (рис.1), які пов'язані між собою і повинні забезпечувати виконання основної функції – забезпечення точної і якісної обробки поверхонь обертання.

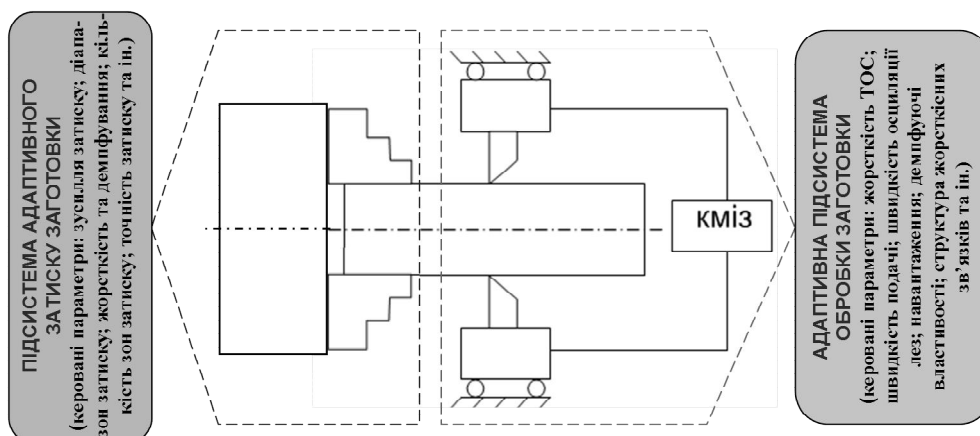


Рисунок 1 – Складові самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки

Важливою складовою самоналагоджувального комплексного оснащення для



токарної обробки є пристрої для затиску заготовок, які суттєво впливають на точність, якість та продуктивність обробки. Основні показники затиску багато в чому визначаються типом пристрою і схемою замикання в ньому сил затиску (рис. 2). З погляду забезпечення показників точності затиску та незмінності радіальної жорсткості по куту повороту найкращим варіантом є замикання силового контуру затискного пристрою по колу. Такі схеми затиску реалізовані в гідравлічних затискних пристроях (рис. 3а) із оболонковими та втулковими затискними елементами (рис. 3б).

Силовий контур		Умовне зображення механізму затиску	Схема замикання сил затиску	Показники радіальної точності затиску
ЗАМКНУТИЙ	Відкритий			$\Delta_p \uparrow$ $K \uparrow$
				$\Delta_p \downarrow$ $K \downarrow$
	Закритий			$\Delta_p \uparrow \downarrow$ $K \uparrow$
				$\Delta_p \downarrow$ $K \rightarrow 0$

Рисунок 2 – Схеми механізмів затиску із різним розподілом сил затиску по контуру деталі: Δ_p – радіальне биття; K – конусність на певному вильоті заготовки; \uparrow – збільшення; \downarrow – зменшення

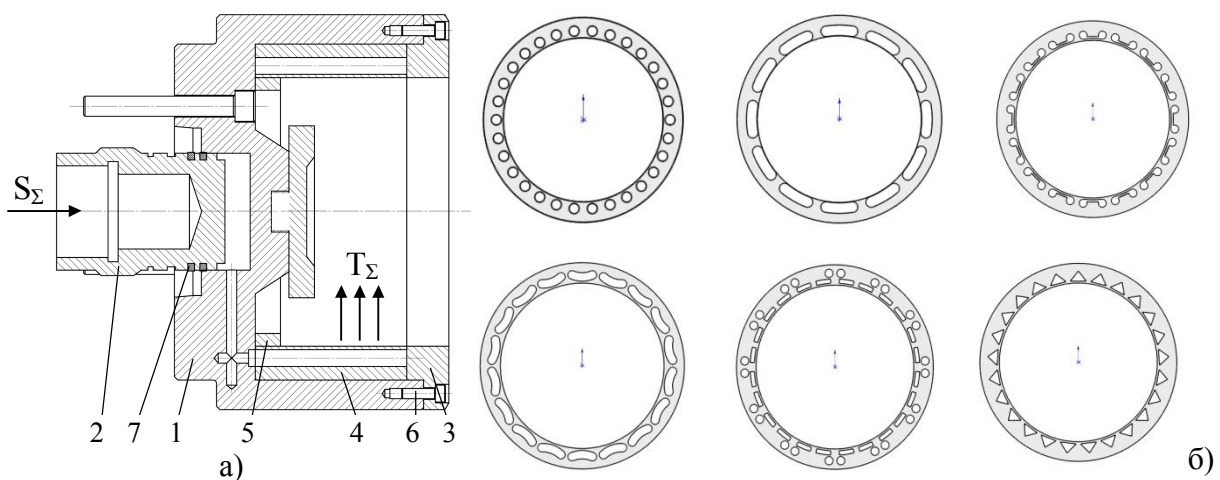


Рисунок 3 – Конструкція гідравлічного затискного пристрою (а) та варіанти конструктивного виконання втулкових елементів затиску (б): 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – фланець; 4 – втулковий затискний елемент; 5 – кільце; 6 – гвинт; 7 – манжета

Дослідження впливу форми отворів та товщини стінки втулкових елементів затиску, а також силового навантаження зі сторони приводу затиску на діапазон затиску заготовок втулкових елементів затиску проводилося по їх напружено-деформованому



стану за допомогою CAD/CAE-системи, процедура моделювання якого приведена на рис. 4.

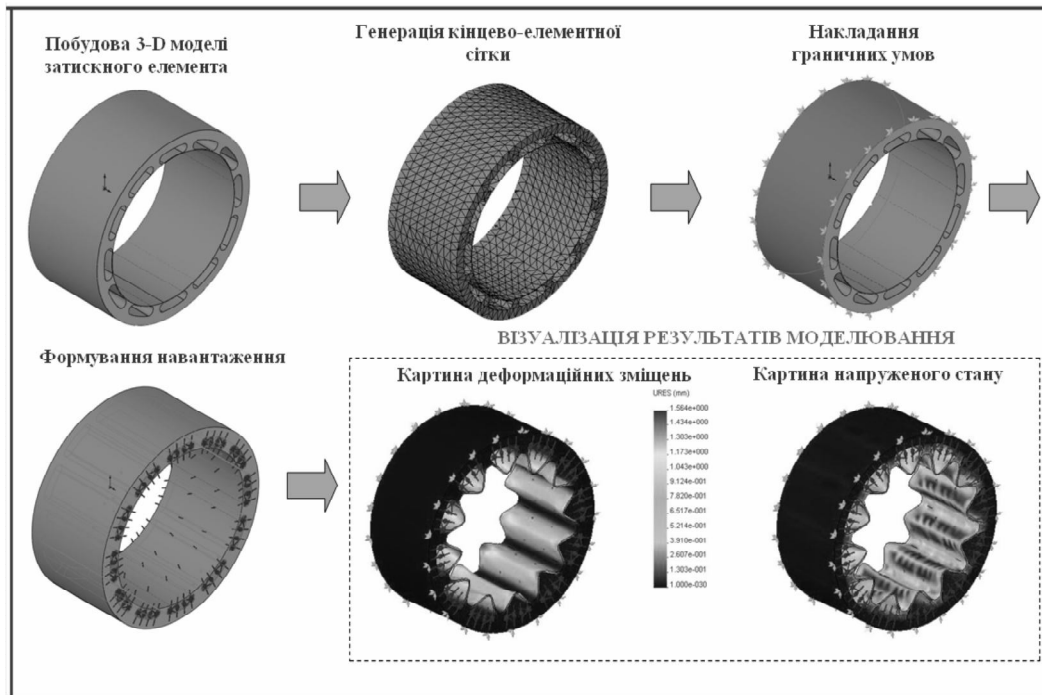


Рисунок 4 – Цикл аналізу напружено-деформованого стану втулкових елементів затиску

Комп'ютерне моделювання втулкових затискних елементів здійснювалося для товщини стінки $\delta=0,5\dots 2$ мм при зміні гідравлічного тиску в патроні $p=50\dots 200$ МПа. По оброблених даних, отриманих у результаті скінченно-елементного аналізу, з використанням пакету прикладних програм MathCAD побудовані залежності діапазону затиску Δ від товщини втулкового елемента δ та гідравлічного тиску p у затискній системі для приведених на рис. 3б втулкових елементів затиску (рис. 5).

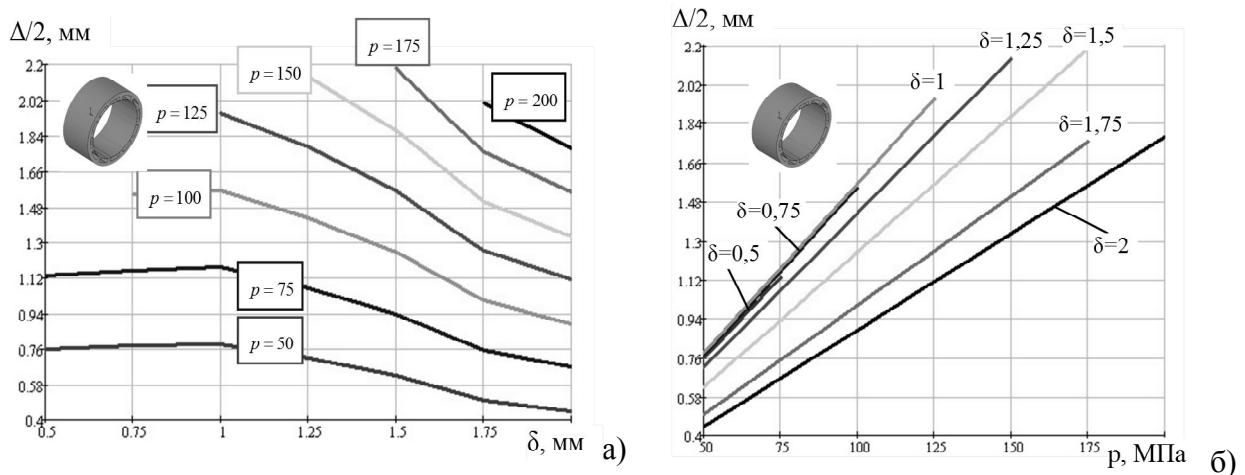


Рисунок 5 – Залежність діапазону затиску Δ : а) від товщини стінки δ ; б) тиску в системі затиску p

Аналіз отриманих результатів для втулкового елемента, який забезпечує найбільший діапазон затиску, показує, що із збільшенням товщини стінки в 2 рази (від 1 до 2 мм) діапазон затиску змінюється у 1,5...1,8 рази в залежності від тиску; при цьому ця залежність є нелінійною (рис. 5а). Як свідчать результати моделювання, із збільшенням тиску в системі затиску діапазон затиску збільшується, причому ця залежність є лінійною (рис. 5б).



Моделювання вібростійкості самоналагоджувальної багатолезової обробки із затискними пристроями, які мають постійну жорсткість по куту повороту. Під границею вібростійкості розуміють залежність граничного коефіцієнту різання k_p , або гранично допустимої ширини стружки $b_{гр}$ від параметрів системи і режимів різання, при яких не виникають недопустимі автоколивання. Пружну систему верстату у взаємодії з робочими процесами (різання, тертя, затиску) можна зобразити замкнутою функціонально-структурною схемою. Кінематичний міжінструментальний зв'язок (КМІЗ) між лезами при багаторізцевій обробці забезпечує створення тонкого і чутливого механізму керування процесом різання внаслідок зміни подач різальних елементів. Еквівалентна пружна система (ЕПС) в загальному випадку знаходиться під дією N процесів різання, а КМІЗ, крім того, утворює в самих процесах різання зворотні зв'язки (рис. 6). Розглядувана динамічна система за своєю сутністю є замкнутою системою автоматичного регулювання процесу різання і представляє собою сукупність організованих структурно-динамічних ланок. Причому привнесення за допомогою КМІЗ до власне процесу різання зворотного зв'язку суттєвим чином впливає на властивості всієї динамічної системи.

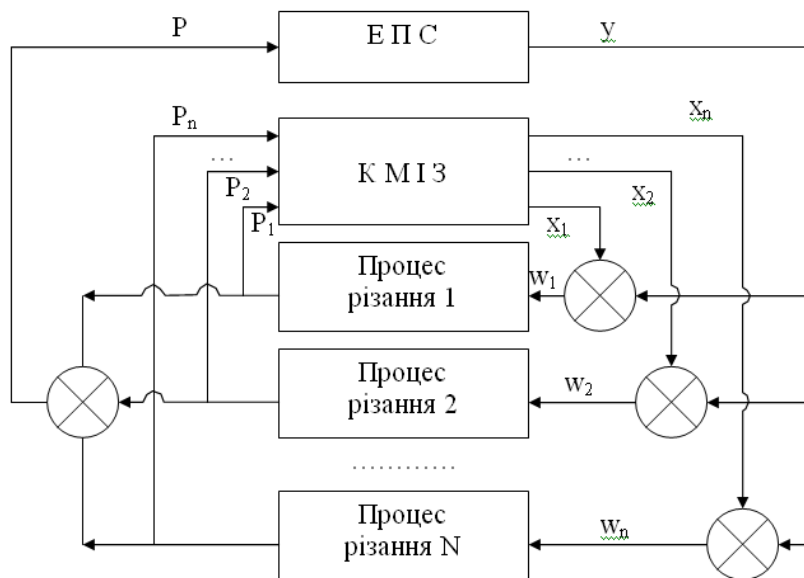


Рисунок 6 – Узагальнена блок-схема верстатно-інструментального оснащення із КМІЗ при багатолезовому різанні

Після деяких перетворень приходимо до висновку про можливість ілюструвати динамічну систему багатолезового верстатно-інструментального оснащення із КМІЗ одноконтурною системою, що представляє собою послідовне з'єднання трьох елементів.

Стійкість динамічної обробної системи до автоколивань є однією із основних характеристик, які беруться до уваги при їх розробці та проектуванні. У даній постановці розглянемо вплив основних технологічних параметрів режимів різання на границі вібростійкості процесу. Під границею вібростійкості розуміють залежність граничного коефіцієнту різання k_p або гранично допустимої ширини стружки $b_{гр}$ від параметрів системи і режимів різання, при яких не виникають недопустимі автоколивання. При цьому для дослідження границь вібростійкості зручно скористатись алгебраїчними методами.

Передаточна функція розімкнутої системи багатолезової обробки із КМІЗ, яка характеризує власні динамічні властивості цієї системи і моделює її вібростійкість, дозволяє сформулювати характеристичний поліном, який в розглядуваному випадку має вигляд:



$$P^* = S(mS + h_x)(TS + 1)(M_y S^2 + H_y S + C_y) + \\ + \mu_{тр} \sin^2 \varphi \cdot k_p (M_y S^2 + H_y S + C_y) + q \cdot \mu_{тр} \cos^2 \varphi \cdot k_p \cdot S(mS + h_x)$$

Прирівнюючи характеристичний поліном системи до нуля, отримують характеристичне рівняння замкнутої системи, за яким і досліджують її вібростійкість (у даному випадку m і h_x – приведені маса різцетримачів і коефіцієнт їх осевого демпфування; T – приведена динамічна стала стружкоутворення для багатолезової обробки; $\mu_{тр}$ – коефіцієнт тертя стружки до передньої поверхні, а φ – головний кут у плані різців; q – коефіцієнт ($q=2$ і $1,5$ – відповідно для дволезової і трилезової обробки)).

Провівши необхідні перетворення для динамічної системи верстатно-інструментального багатолезового оснащення із КМІЗ, отримаємо характеристичне рівняння 5-го порядку:

$$a_0 S^5 + a_1 S^4 + a_2 S^3 + a_3 S^2 + a_4 S + a_5 = 0,$$

де $a_0 = Tm \cdot M_y$; $a_1 = mM_y + T(mH_y + M_y h_x)$; $a_2 = m(H_y + TC_y) + h_x(M_y + TH_y)$; $a_3 = m(C_y + q\mu_{тр} \cos^2 \varphi \cdot k_p) + h_x(H_y + T_p C_y) + \mu_{тр} \cos^2 \varphi \cdot M_y \cdot k_p$; $a_4 = h_x(C_y + q\mu_{тр} \cos^2 \varphi \cdot k_p) + \mu_{тр} \sin^2 \varphi \cdot H_y \cdot k_p$; $a_5 = \mu_{тр} \sin^2 \varphi \cdot C_y \cdot k_p$.

Для оцінки стійкості роботи системи і визначення режимів її функціонування, що викликають появу в процесі різання шкідливих автоколивних процесів, застосовуватимемо алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца.

Аналіз характеристичного рівняння показує, що всі коефіцієнти його є додатними, і, отже, для забезпечення динамічної стійкості системи необхідно, щоб виконувались умови:

$$D_1 = a_1 a_2 - a_0 a_3 \geq 0; D_4 = D_1 \cdot (a_3 a_4 - a_2 a_5) - (a_1 a_4 - a_0 a_5) \geq 0.$$

Розгляд цих нерівностей дозволяє зробити оцінку залежності границі вібростійкості від окремих параметрів системи і відповідним чином це графічно інтерпретувати.

У загальному вигляді отримання границі вібростійкості є надто громіздким, тому при аналізі застосовано ПК і використано стандартний пакет MathCad. У цих програмах використано алгоритм обчислення границі вібростійкості у припущенні, що система обробки представлена одномасовою моделлю із параметрами M_y , H_y , C_y (що чисельно дорівнюють значенням інерційних, демпфувальних та жорсткісних параметрів пружної системи для багатолезової обробки) і динамічною характеристикою процесу різання. У певному діапазоні параметрів задачу про динамічну стійкість багатолезового оснащення із КМІЗ можна розглядати без урахування радіального демпфування, тобто при умові $H_y = 0$. Такий же підхід можна застосувати до процедури аналізу, припускаючи, що радіальне демпфування є оптимальним. Тоді отримаємо після деяких перетворень нерівність, яка дає можливість визначити аналітично мінімально можливу границю вібростійкості:

$$k_{p \min} = \frac{1 + \frac{T}{T_x}}{2bT} h_x \left[-q \frac{m}{M_y} \left(1 + \frac{T}{T_x} \right) + 1 + \omega^2 \cdot T \cdot T_x \right],$$

а також максимально можливий коефіцієнт різання: $k_{p \max} = 2 \cdot k_{p \min}$.

Із застосуванням цього підходу визначені границі стійкості до автоколивань багатолезової обробки із КМІЗ при різних режимах різання.

Зміна граничного коефіцієнту різання при багатолезовому самоналагоджувальному різанні суттєво відрізняється від випадку однолезової обробки. Адже при $n=1$



вібростійкість при зміні подачі супорта має яскраво виражений мінімум. На рис.7а ($V=0,6\text{ м/с}$) цей мінімум має місце при $s_{\text{min}}^I=0,3\text{ мм/об}$. У той же час при $n=2, 3, 4$ (і застосуванні КМІЗ) граничний коефіцієнт різання із збільшенням подачі монотонно знижується по залежності, близькій до гіперболічної (рис. 7б; $V=1\text{ м/с}$). Граничний коефіцієнт різання у функції від швидкості різання має виражений зростаючий характер. Це відмінна риса багатолезової обробки із КМІЗ порівняно із однолезовою, для якої ця залежність має мінімум. Підтверджується і висновок, що багатолезова обробка із КМІЗ з погляду вібростійкості є ефективнішою при менших значеннях подач $s=0,4\text{ мм/об}$ і $s=0,6\text{ мм/об}$ порівняно із більшими подачами $s=0,8\text{ мм/об}$ і $s=1,0\text{ мм/об}$.

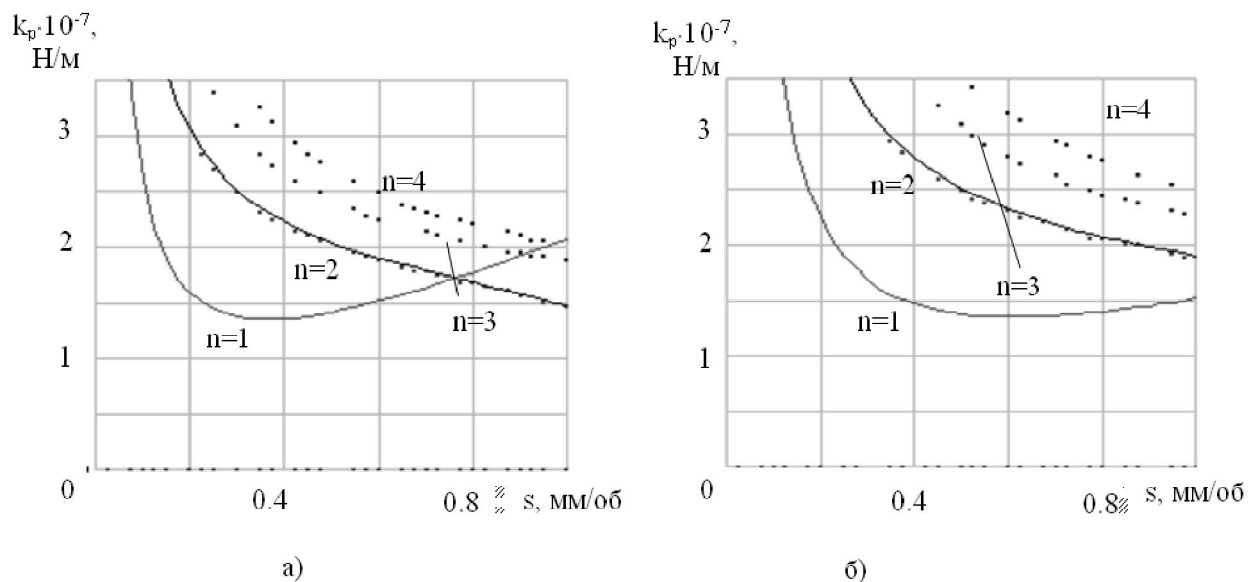


Рисунок 7 – Залежність границі вібростійкості від загальної подачі супорта при однолезовій та багатолезовій самоналагоджувальній обробці

Враховуючи відоме співвідношення $k_p = k_{\text{уд}} \cdot t_p / \sin \varphi$, де $k_{\text{уд}}$ – питома сила різання, що припадає на одиницю площі зрізуваного шару, можна проаналізувати залежність граничної глибини різання t_p від елементів режимів різання: s і V . Отримані результати наглядно ілюструють зміну запасу вібростійкості по граничній стружці в просторі параметрів $s-V$ для однолезової обробки та багаторізевого точіння із КМІЗ. Встановлено, що коли при низьких швидкостях різання ($V=0,6\text{ м/с}$), границі стійкості до автоколиваний при одно- і багаторізцевому точінні близькі між собою (особливо при значних подачах), то при збільшенні швидкості різання області вібростійкості багатолезової обробки значно розширюються і при $V>1\text{ м/с}$ ефективність використання КМІЗ стає досить значною навіть для високих значень поздовжньої подачі супортної групи токарного верстату.

Аналіз залежностей глибини різання від подачі і швидкості дозволяє помітити надзвичайно важливу особливість. Оскільки при збільшенні подачі границя вібростійкості монотонно спадає, а при збільшенні швидкості різання практично лінійно зростає, то логічно припустити, що для забезпечення високого рівня запасу стійкості в цьому діапазоні зміни параметрів, необхідно намагатись при призначенні режимів різання забезпечити умову $s/V=\text{const}$. Очевидно, що ця вимога відповідає умові усталеності величини постійного часу стружкоутворення T_p . Зрозуміло, що бажаними є менші значення співвідношення s/V .

Висновки. У результаті моделювання з використанням CAD/CAE-систем отримані на основі картин напружено-деформованого стану залежності діапазону затиску заготовок затискними пристроями з різними типами втулкових затискних елементів в залежності від товщини стінки та силового навантаження зі сторони приводу затиску. Отримані діаграми вібростійкості системи багатолезової обробки наглядно ілюструють збільшення запасу



динамічної стійкості по граничній стружці для багаторізевого точіння із КМІЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов Ю. Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием : монография / Ю. Н. Кузнецов, В. Н. Волошин, П. М. Неделчева, Ф. В. Эль-Дахаби ; под ред. Ю. Н. Кузнецова – Габрово : Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. – 724 с.
2. Базров Б. М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Адаптивное управление технологическими процессами / [Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, С. П. Протопопов и др.] – М. : Машиностроение, 1980. – 536 с.
4. Нагорняк С. Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования / С. Г. Нагорняк, И. В. Луцив. – К. : Техника, 1992. – 72 с.
5. Кузнецов Ю. М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах : монографія / Ю. М. Кузнецов, І. В. Луцив, О. В. Шевченко ; упоряд. Ю. М. Кузнецов. – К. – Тернопіль : Терно-граф, 2011. – 692 с.
6. Астахов С. А. Высокопроизводительное точение тонкостенных закаленных цилиндрических заготовок : автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.02.08 / С. А. Астахов. – Тула : ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», 2012. – 16 с.
7. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. – М. : Машиностроение, 1978. – 199 с.
8. Эльясберг М. Е. К теории и расчету устойчивости процесса резания металла на станках / М. Е. Эльясберг // Станки и инструмент. – 1971. – № 11 ; С. 6-11. – № 12 ; С. 1-6.
9. Heisel U. Model-based form error compensation in the turning of thin-walled cylindrical parts / U. Heisel, C. Kang // Prod. Eng. Res. Devel. – 2011. – No 5. –P. 151-158.

Луцив І.В., Волошин В.Н., Буховец В.М. КОМПЬЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПОДСИСТЕМ ЗАЖИМА І САМОНАСТРИВАЮЩЕЇСЯ ОСНАСТКИ ДЛЯ МНОГОЛЕЗВИЙНОЇ ОБРОБКИ АДАПТИВНОГО ТИПА

Предложена система самонастраивающейся комплексной оснастки для многолезвийной обработки, состоящая из подсистемы адаптивного зажима заготовки и подсистемы адаптивной многолезвовой токарной обработки. Приведено влияние геометрических параметров втулочных элементов зажима и силовой нагрузки со стороны привода зажима на диапазон зажима заготовок и их напряженно-деформированное состояние. В результате моделирования получены закономерности формирования диапазона зажима заготовок зажимными устройствами с разными типами втулочных зажимных элементов. Проведен компьютерный анализ динамической стойкости самонастраивающейся системы многолезвийной обработки с устройствами для зажима заготовок. Получены диаграммы виброустойчивости системы многолезвийной обработки, иллюстрирующие увеличение запаса динамической стойкости по граничной стружке для многолезвового точения.

Ключевые слова: многолезвовое точение, напряженно-деформированное состояние, подсистема зажима.

Lutsiv I.V., Voloshin V.N., Buhovets V.M. COMPUTER ANALYSIS OF MULTI EDGE ADAPTIVE TYPE MACHINING CLAMPING AND SELF ADJUSTED ACCESSORIES SUBSYSTEMS

The self adjusted complex accessories for multi edge machining are proposed. The machining system consists of the adaptive work piece clamping device subsystem and adaptive multi point-tool machining subsystem. The influence of geometric parameters of sleeve clamping elements as well as clamping drive forces load on the work piece clamping range and their stress-strain state are presented. As a result of modeling the regularities of work piece clamping range forming using the clamping devices with different kinds of sleeve clamping elements. The computer analysis of dynamic stability of self adjusted multi edge machining system with work piece clamping device is given. The multi edge machining system vibration stability diagrams are obtained that illustrates the increasing of the dynamical stability allowance for multi edge turning boundary cutting chip.

Keywords: bahatolezove cutting, mode of deformation, clamping subsystem.

Статтю прийнято
до редакції 31.10.2013



ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, г. Киев

Разработан метод ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения прочности деталей технологического оборудования. Метод дает возможность: получать слои заданного состава, увеличить твердость стальных деталей до 9-12 ГПа по сравнению с традиционными методами; повысить производительность процесса в 3-5 раза и сформировать поверхностный нитридный слой без микротрещин.

Ключевые слова: метод ионно-плазменного термоциклического азотирования, твердость, износостойкость, прочность.

Постановка проблемы. Повышение надежности элементов машин и механизмов является сегодня основной задачей увеличения ресурса их работы в целом. Одним из главных направлений решения поставленной задачи является использование достижений в области упрочнения поверхности, которые обеспечиваются новейшими энергосберегающими и экологически безопасными технологиями, помогающими решать вопросы модификации поверхности на этапах создания, эксплуатации и ремонта конструкционных элементов оборудования [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Одной из предлагаемых технологий, отвечающих современным требованиям, является ионно-плазменное термоциклическое азотирование (ИПТА). ИПТА – эффективный метод упрочняющей химико-термической обработки деталей в вакууме из: легированных конструкционных сталей (шестерен, зубчатых венцов, конических и цилиндрических шестерен, вал-шестерен, шнеков экструдеров, валов, прямозубых, пресс-форм, муфт сложной геометрической конфигурации и др.), чугунов (пресс-формы, валы, шестерни и др.), нержавеющей сталей, титановых сплавов (рис. 1).

В отличие от традиционного вакуумного азотирования предлагаемая технология ИПТА использует газовые среды, в которых отсутствует аммиак, исключено водородное охрупчивание поверхности, технология позволяет упрочнять необходимые участки деталей. Основными потребителями оборудования и технологии ионно-плазменного азотирования являются автомобильные, тракторные, авиационные, судостроительные и судоремонтные, авиа-, машино- и станкостроительные заводы, заводы по производству сельскохозяйственной техники, насосного и компрессорного оборудования, шестерен, подшипников, алюминиевых профилей, энергетических установок и др. [1, 2].

Цель работы – разработать установку ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения прочности технологического оборудования.

Результаты и обсуждение. В Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработано принципиально новое оборудование (рис. 2) и технология ИПТА, которая основана на следующих академических разработках: теория термической усталости, аномальный массоперенос при механической нагрузке и эффект дискретного энерговода.

Технология имеет следующие преимущества:

- используется нагрев только поверхностного слоя детали без прогрева ее сердцевины (нагрев происходит за счет энергии тлеющего разряда, поэтому нет необходимости 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.

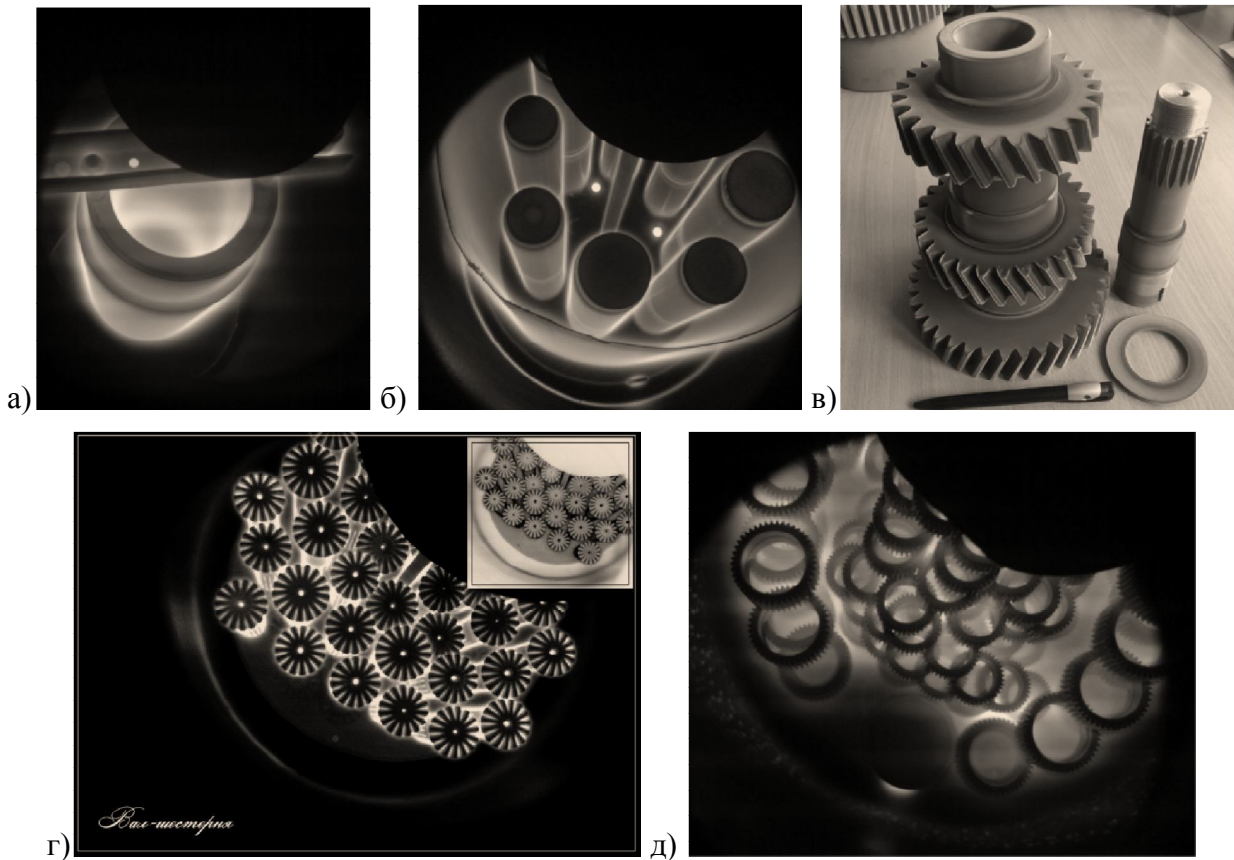


Рисунок 1 – Применение ИПТА для некоторых деталей: а) гильза; б) шпиндель; в) шестерня и вал-шестерня; г) вал-шестерня; д) зубчатые колеса

Технология ИПТА защищена патентами Украины и не имеет аналогов в отечественной и мировой практике [2].

Метод ИПТА основан на изменении напряженно-деформированного состояния поверхности (постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов за счет воздействия импульсов короткой длительности и большой амплитуды) реализуется с помощью оригинальной вакуумной установки.

В основе предложенной технологии лежит процесс, связанный с дискретным вводом энергии, возникновением и релаксацией напряжений в обрабатываемом материале (рис. 3а, б) накоплением дефектов кристаллического строения, за счет чего существенно увеличивается кинетика диффузии, приводящая к ее аномальному течению. Вследствие этого создаются условия для перераспределения компонентов в твердом растворе, измельчения фаз, а, следовательно, для повышения твердости, прочности и ударной вязкости.

На диаграммах показаны микронапряжения, возникающие в слое материала (рис. 3, рис. 4). В точке М достигается максимальное значение сжимающих (отрицательных) напряжений. При снижении температуры (рис. 3а) достигаются максимальные растягивающие (положительные) напряжения в точке Q (рис. 3б). Таким образом, можно рассчитать суммирующие значения напряжений в зависимости от температуры в детали (рис. 4). Реализация разработанного метода ИПТА достигается с помощью сформированных импульсов тока (рис. 5а), которые осуществляют дискретный ввод



подводимой энергии. Такое технологическое решение позволяет сократить время нагрева детали (рис. 6) и время процесса диффузионного насыщения поверхности.



Рисунок 2 – Общий вид установки «ВИПА-1»

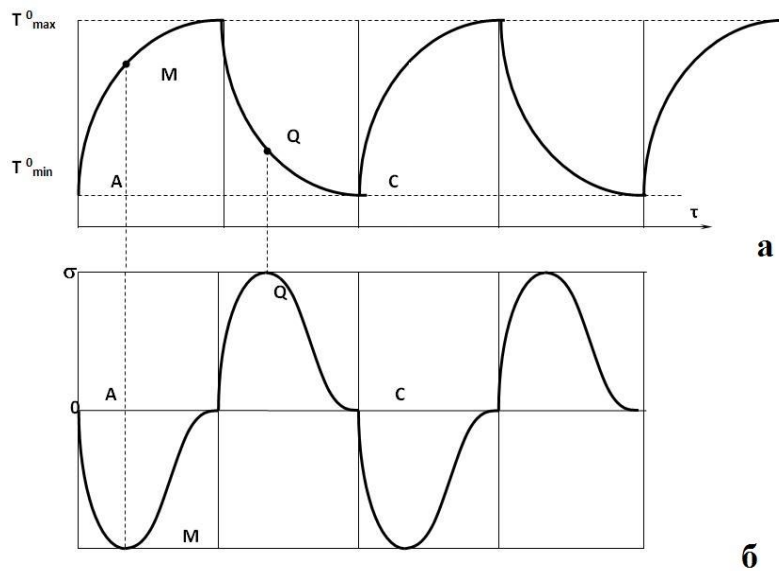


Рисунок 3 – Изменения микронапряжений: б) в поверхностном слое; а) от температурного цикла

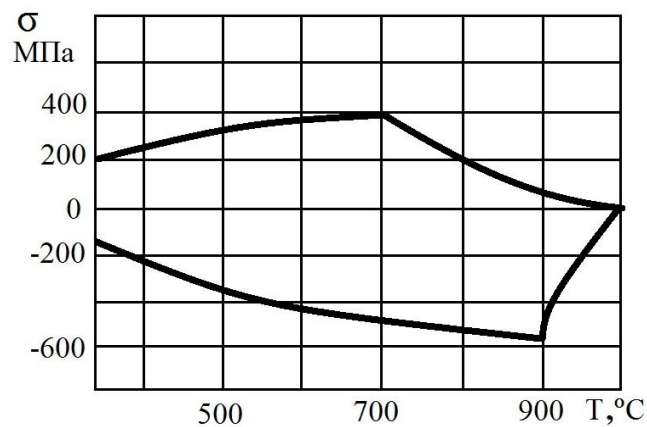


Рисунок 4 – Диаграмма накопления напряжений в основе материала в зависимости от температуры процесса

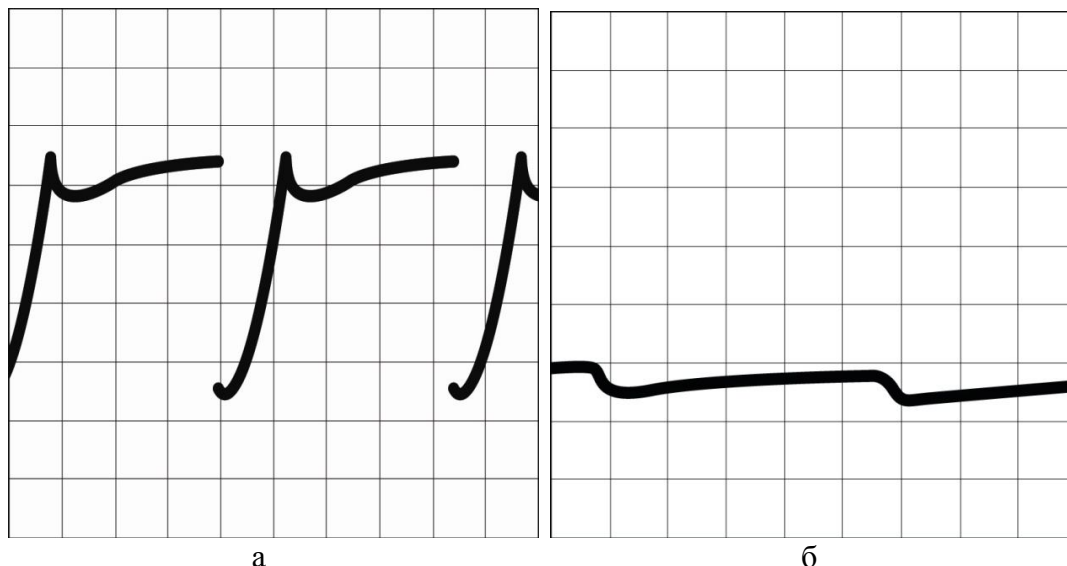


Рисунок 5 – Форма імпульса: а – ИПТА, б – ізотермічний режим ХТО

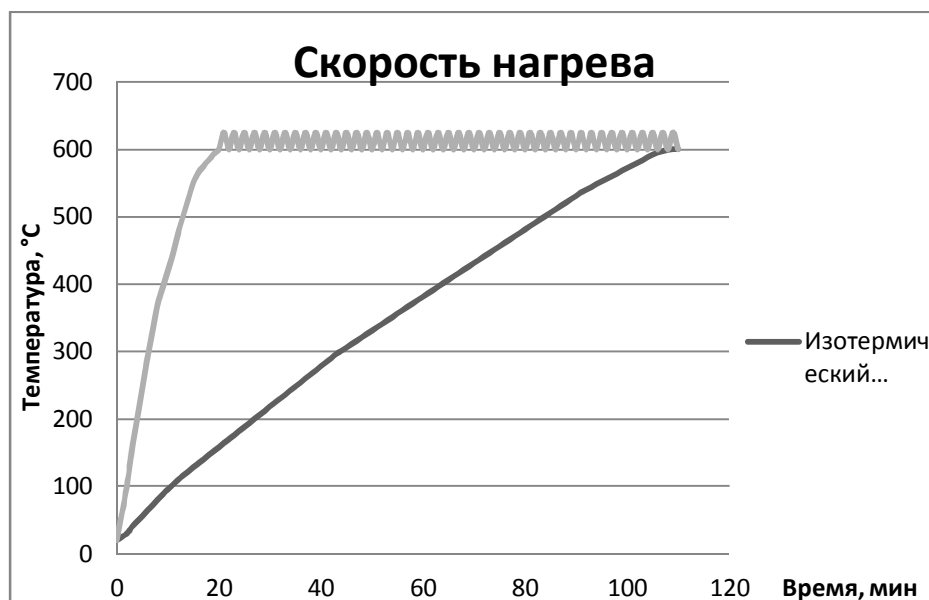


Рисунок 6 – Скорость нагрева образцов методом ионно-плазменного термоциклического азотирования при изотермическом и импульсном режимах

Приведем один из частных примеров использования технологии ИПТА. Ионно-плазменному термоциклическому азотированию подвергались образцы стали 40X13. Использовались два технологических подхода: изотермический и термоциклический.

Азотирование образцов одним и вторым методом проводилось в смеси газов азота и аргона (в соотношении 20-80 %). Время азотирования составляло 360 мин., при рабочем давлении 120 Па. Температура процесса – 550 °С (при изотермическом режиме) и 550±25, 550±50, 550±100 °С (при термоциклическом режиме). Охлаждение образцов проводили в камере при давлении 1,5-2,0 Па.

Экспериментально определено, что применение термоциклического режима более эффективно, чем изотермического (рис. 6). Полученные данные показали, что циклическая обработка в режиме ± 50 °С позволяет достичь максимальной твердости поверхностного слоя (рис. 7), тем самым снизить износ рабочих частей детали при работе в газоабразивных средах и увеличить срок службы в 2-4 раза [3].

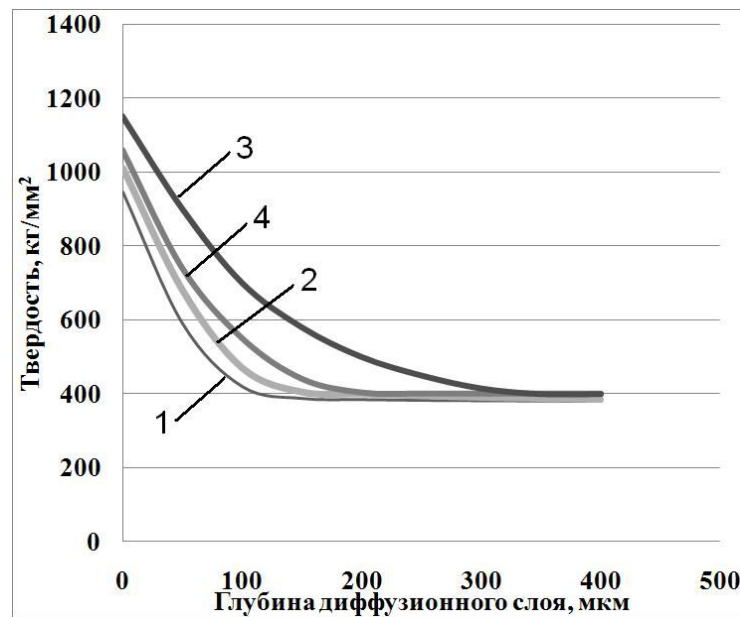


Рисунок 7 – Влияние длительности циклов на глубину диффузионного слоя:
 1 – при изотермической обработке; 2 – при циклировании $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – при циклировании $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 4 – при циклировании $\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Нижче показана ефективність розробленої технології: оброблені образці по технології ИПТА були испытаны на износостойкость и сравнивались с износостойкостью образцов, которые были, обработаны в изотермическом режиме.

Испытание покрытий на износостойкость проводили на экспериментальной установке в соответствии с ГОСТ 23.208-79, который совпадает с американским стандартом ASTM C 6568. Процесс трения моделировался в присутствии свободного не жесткозакрепленного абразива [3].

Образцы изнашивались свободным абразивом, увлекаемым 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 измеряли 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 100 м.

В результате экспериментальных исследований (рис. 8) установлено, что наибольшая интенсивность износа наблюдалась у образца без упрочнения. Также выявлено, что обработка методом ИПТА повышает износостойкость стали 40X13 в песке в 3,5 раза, а при изотермическом режиме азотирования повышается износостойкость стали 40X13 в песке – 2 раза. Проведенные испытания показали перспективность и целесообразность применения ионно-плазменного термоциклического азотирования для повышения надежности деталей машин и механизмов,

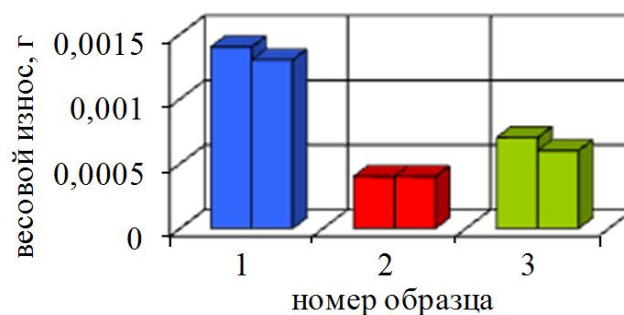


Рисунок 8 – Весовой износ образцов в песке: 1 – без упрочнения; 2 – термоциклический режим азотирования; 3 – изотермический режим азотирования



Выводы. Метод ИПТА дает возможность: получать слои заданного состава, увеличить твердость стальных деталей до 9-12 ГПа по сравнению с традиционными методами ХТО; повысить производительность процесса в 3-5 раза; сформировать поверхностный нитридный слой без микротрещин.

Полученные данные об износостойкости упрочненных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствует о перспективности применения метода ИПТА для поверхностного упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания. Применяв новейшие технологические приемы и изменив комплекс специфических физико-механических и эксплуатационных свойств, были получены материалы с новыми эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д. Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов / Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков. – М. : Машиностроение, 1973. – 200 с.
2. Рутковский А. В. Циклическая долговечность титанового сплава BT1-0 с покрытием, полученным методом ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи, Я. В. Можеитов. – Полтава : Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), 2012. – № 2 (32), Т. 1. – С. 208-213.
3. Рутковский А. В. Износостойкость стали 40X13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи // Проблемы тертя та зношування. – 2012. – № 57. – С. 240-250.
4. Кудрин А. П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишнеvский // Вісник НАУ. – 2003. – № 2. – С. 111-114.

Ляшенко Б.А., Рутковський А.В., Кумуржі А.Ю. ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Розроблено метод іонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення міцності деталей технологічного обладнання. Метод дає можливість: отримувати шари заданого складу, збільшити твердість сталевих деталей до 9-12 ГПа порівняно з традиційними методами; підвищити продуктивність процесу в 3-5 рази і сформувати поверхневий нітридний шар без мікротріщин.

Ключові слова: метод іонно-плазмового термоциклічного азотування, твердість, зносостійкість, міцність.

Ljashenko B.A., Rutkowski A.V., Kumurzhi A.Yu. THE USE OF ION-PLASMA NITRIDING TEMPERATURE CYCLING TO INCREASE THE STRENGTH OF PROCESS EQUIPMENT

Developed a method of ion-plasma nitriding temperature cycling to increase the strength of parts manufacturing equipment. The method makes it possible: to get the layers of a given composition, increase the hardness of steel parts to 9-12 GPa compared with traditional methods, increase the productivity of the process 3-5 times and form a surface nitride layer without microcracks.

Keywords: method of ion-plasma nitriding temperature cycling, hardness, wear resistance, strength.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.2013



ОСНОВНІ ІДЕЇ МЕТОДУ ВАН-ДЕР-ПОЛЯ ДЛЯ КОЛИВАНЬ ПОЗДОВЖНЬО-РУХОМИХ ПРИВІДНИХ КАНАТІВ ТРАНСПОРТЕРІВ

Ляшук О.Л., Золотий Р.З.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Гнучкі трубчаті конвеєри забезпечують якісне транспортування сипких насінєвих матеріалів по криволінійних трасах без травмування. Для гнучких привідних елементів (канатів) трубчатих конвеєрів метод Ван-Дер-Поля дозволяє ще на стадії проектування визначити спектр власних частот, вибрати параметри та режими експлуатації таким чином, щоб уникнути резонансні явища у них, а значить забезпечити довготривалу їх експлуатацію. Зробити це можна тільки на основі побудови та аналізу розв'язків математичних моделей, які адекватні динамічному процесу. Побудовані аналітичні розв'язки нелінійних математичних моделей коливань гнучких елементів привідних елементів конвеєрних канатів, які враховують постійну складову швидкості їх руху та аналізу на їх основі впливу кінематичних, фізико-механічних, геометричних параметрів на динамічний процес.

У результаті теоретичних досліджень отримані аналітичні залежності для визначення закону зміни амплітуди і фази хвиль, диференціальне співвідношення, а також амплітудно-частотні характеристики динамічного процесу каната, як у випадку рівномірного розподілу сипкого середовища між скребками. Приведені графічні залежності в часі амплітуди та частоти коливань каната за різних швидкостей їх руху. Установлена складова швидкості поздовжнього руху каната суттєво впливає як на частоту власних коливань, так і амплітуду.

Ключові слова: амплітудно-частотні характеристики, метод Ван-Дер-Поля, конвеєрні канати.

Постановка проблеми. Для гнучких привідних елементів (канат) конвеєрів метод Ван-Дер-Поля дозволяє ще на стадії проектування визначити спектр власних частот, вибрати параметри та режими експлуатації таким чином, щоб уникнути резонансні явища у них, а значить, забезпечити довготривалу їх експлуатацію. Зробити це можна тільки на основі побудови та аналізу розв'язків математичних моделей, які адекватні динамічному процесу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Побудова аналітичних розв'язків нелінійних математичних моделей коливань гнучких елементів привідних елементів конвеєрних канатів, які враховують постійну складову швидкості їх руху та аналіз на їх основі впливу кінематичних, фізико-механічних, геометричних параметрів на динамічний процес є предметом розгляду роботи. Вона базується на: а) принципі одночастотності коливань у нелінійних системах із багатьма ступенями вільності та розподіленими параметрами [1, 2]; б) хвильовій теорії рух [3, 4, 5], яка адаптована для поздовжньо-рухомих систем [6-7]; в) поширенні основної ідеї методу Ван-дер-Поля [8] на розглядувані класи динамічних систем.

Мета роботи. Визначити зміни функцій у залежності від швидкості транспортування сипкого середовища та закону його розподілу між скрепками, сили опору, нелінійно пружних властивостей матеріалу каната, крайових умов.

Реалізація результатів роботи. Максимальне значення нелінійних сил у порівнянні із лінійною складовою відновлюючої сили є малою величиною, тобто величиною пропорційною μ . Для цього, перш за все, задачі із неоднорідними крайовими умовами замінами змінних:

$$u_i(x_i, t) = v_i(x_i, t) + \mu w_i(x_i, t), \quad (1)$$

зведемо до більш простих – задач із однорідними крайовими умовами. Дійсно, якщо функції $w_i(x_i, t)$ та $v_i(x_i, t)$ є розв'язками диференціальних рівнянь

$$\frac{\partial^2 w_i(x_i, t)}{\partial x_i^2} = 0, \quad (2)$$

та



$$\frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial t^2} + 2V \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial t \partial x_i} - \left(\frac{EA}{m_0} - V^2 \right) \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^2} = \mu F_i \left(v_i(x_i, t), \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^2}, g \right), \quad (3)$$

і задовольняють відповідно крайові умови

$$w_i(x_i, t)|_{x_i=0} = \mu g_{i0} \left(v(x_i, t), \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial x_i}, \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial t} \right)|_{x_i=0},$$

$$w_i(x_i, t)|_{x_i=L} = \mu g_{iL} \left(v(x_i, t), \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial x_i}, \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial t} \right)|_{x_i=L} \quad (4)$$

та

$$v(x, t)|_{x=0} = 0,$$

$$v(x, t)|_{x=L} = 0, \quad (5)$$

то отримані таким способом функції $u_i(x_i, t)$ будуть у першому наближенні задовольняти поставленій задачі із неоднорідними крайовими умовами.

Примітки:

1. У статті розглядається перше наближення розв'язку задачі про коливання привідного каната транспортера, тому під $v_i(x_i, t)$ у правих частинах крайових умов (4) треба розуміти розв'язки відповідних незбурених задач;

2. Функції $F_i \left(v_i(x_i, t), \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^2}, g \right)$, $g = \frac{\pi}{2l} Vt - \varphi_0$ у диференціальних співвідношеннях (3), як випливає із наведеної заміни змінних, мають вигляд

$$F_i \left(v_i(x_i, t), \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^2}, g \right) = f_i \left(v_i(x_i, t), \frac{\partial v_i(x_i, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^2}, g \right) - \frac{\partial^2 w_i(x_i, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 w_i(x_i, t)}{\partial t \partial x_i}.$$

Знайти розв'язки крайових задач (1), (4), із урахуванням наведеного, не становить значних труднощів. Дійсно, безпосередньою перевіркою переконуємось, що функції $w_i(x_i, t)$ мають вигляд:

$$w_i(x_i, t) = g_{i0} \left(v(x_i, t), \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial x_i}, \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial t} \right)|_{x_i=0} + x_i g_{iL} \left(v(x_i, t), \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial x_i}, \frac{\partial v(x_i, t)}{\partial t} \right)|_{x_i=L}.$$

Останнє дозволяє перейти до знаходження функцій $v_i(x_i, t)$. Для цього застосуємо загальні ідеї методів збурень [9, 10, 11], адже права його частина є пропорційна малому параметру. Найбільш простим із них та одночасно зручним для практичної реалізації є метод Ван-дер-Поля [8]. Поширити основну його ідею на досліджувані класи задач значною мірою полегшує принцип одночастотності коливань нелінійних систем. Із його урахуванням перше одночастотне наближення розв'язку рівняння (3) за крайових умов (4) будемо шукати у вигляді:

$$v(x, t) = a(t) [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi(t)) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi(t))], \quad (6)$$

де – параметри K, H, Ω зокрема власна частота коливань Ω та хвильові числа K, H .

Функції $a(t)$ та $\varphi(t)$ є невідомими і їх необхідно знайти таким чином, щоб представлення (6) з точністю до величин порядку μ^2 задовольняло рівнянню (4). Тому, шляхом диференціювання залежності (6) за змінними x, t , із урахуванням вказаного, отримаємо:



$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = a\Omega[-\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] + a_t [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a\varphi_t [\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)];$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = & a_{tt} [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] + a\varphi_{tt} [\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + \\ & + \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a(\varphi_t)^2 [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - \\ & - 2a_t\varphi_t [\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - 2\omega a\varphi_t [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \\ & - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a\Omega^2 [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)]; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t \partial x} = a\Omega[-K \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - H \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a_t [K \sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) - H \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a\varphi_t [K \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) + H \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)];$$

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x_i^2} = a[-K^2 \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) + H^2 \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)].$$

Якщо підставити наведені вище залежності у вихідне диференціальне рівняння (4), то отримуємо зв'язок між невідомими параметри $a(t)$ і $\varphi(t)$, їх похідними та функцією, що описує нелінійні сили, у вигляді:

$$\begin{aligned} & a_{tt} [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] + a\varphi_{tt} [\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + \\ & + \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a(\varphi_t)^2 [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - \\ & - 2a_t\varphi_t [\sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - 2\omega a\varphi_t [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \\ & - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a\Omega^2 [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] + \\ & + 2V \{ a\Omega[-K \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi) - H \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a_t [K \sin(Hx_i + \Omega t - \varphi) - \\ & - H \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi)] - a\varphi_t [K \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) + H \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] \} - \\ & - \left(\frac{EA}{m_0} - V^2 \right) \{ a[-K^2 \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) + H^2 \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)] \} = \mu \bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}), \end{aligned} \quad (8)$$

де $\bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta})$ відповідає значенню правої частини рівняння (4) за умови, що похідні шуканої функції визначаються відповідно до розв'язку незбуреної задачі, а $\psi = \Omega t + \varphi$, $\bar{\vartheta} = 2 \frac{V}{l} t$.

Правою частиною диференціального рівняння (8) є аналітична функція, яка вказує на малу величину максимального значення нелінійних сил порівняно із відновлюючою силою гнучкого елемента (відновлююча сила – геометрична сума сил натягу та пружної сили зумовленої видовженням каната). Як показано у [12,13], мале збурення в автономних системах (та і в неавтономних нерезонансних системах) викликає повільну зміну в часі амплітуди і початкової фази коливань. Це, для першого наближення поставленої задачі, дозволяє знехтувати доданками порядку малини μ^2 , тобто доданками пропорційними a_{tt} ; φ_{tt} ; $(\varphi_t)^2$; $a_t\varphi_t$ і т.д.

Таким чином, із (8), приймаючи до уваги наведене, отримаємо для визначення закону зміни амплітуди і фази хвиль диференціальне співвідношення:

$$a \{ -2\Omega \sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) - 2\Omega \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi) \} \quad (9)$$



$$- 2VK \sin(Kx_i + \Omega t + \varphi) + 2VN \sin(Hx_i - \Omega t - \varphi) + \\ + 2\Omega a \dot{\varphi} \{- \cos(Kx + \Omega t + \varphi) + \cos(Hx - \Omega t - \varphi) - \\ - 2V\kappa \cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - 2V\chi \cos(Hx_i - \Omega t - \varphi)\} = \mu \bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}).$$

Долучаючи до нього рівняння, яке випливає із основної ідеї методу Ван-дер-Поля $a_i [\cos(Kx_i + \Omega t + \varphi) - \cos(Hx - \Omega t - \varphi)] - a \varphi_i [\sin(Kx + \Omega t + \varphi) + \sin(Hx - \Omega t - \varphi)] = 0$ (10)

отримуємо систему двох звичайних диференціальних рівнянь, які зв'язують шукані функції.

Шляхом нескладних перетворень залежності (9) можна привести до вигляду:

$$\cos \psi \{ \dot{a} \Psi(x_i) + a \dot{\varphi} \Theta(x_i) \} + \sin \psi \{ \dot{a} \Theta(x_i) - a \dot{\varphi} \Psi(x_i) \} = \mu \bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}), \quad (11)$$

де $\Psi(x) = -2(\Omega + VK) \sin(Kx_i) - 2(\Omega - VN) \cos(Hx_i)$,

$\Theta(x) = -2(\omega + VK) \cos(Kx_i) + 2(\Omega - 2VN) \cos(Hx_i)$.

Правою частиною диференціального співвідношення (11) є 2π -періодична функція за змінними $\psi, \vartheta, \bar{\vartheta}$. Доданки пропорційні $\sin \vartheta, \cos \vartheta, \sin \bar{\vartheta}, \cos \bar{\vartheta}$ відіграють роль періодичного збурення, тобто природа періодичного збурення за змінною ϑ лежить у крайових умовах. Дійсно, за рахунок проходження скребоків кутових точок змінюється періодично кут нахилу каната до труби. Це означає, що періодично змінюється величина сили натягу каната за рахунок проходження кутових точок скребоків.

Деякі інші фізичні сутності мають доданки пропорційні гармонікам $\bar{\vartheta}$. Виходячи із їх фізичного змісту (додаткова сила натягу у довільному перерізі каната зумовлена вагою відсіченої частини разом із сипким середовищем) у змінних Ейлера. До того ж, гармоніки $\vartheta = \frac{2}{l} Vt - \varphi_0$ та $\bar{\vartheta} = \frac{\pi V}{2l} t$ навіть при $\varphi_0 = 0$ не мають спільної міри (не існує таких взаємно простих чисел p та q , для котрих виконується рівність $p\vartheta = q\bar{\vartheta}$ за виключенням $p = q = 0$). Тому, формально розглядаючи (11) як рівняння, яке еквівалентне диференціальному рівнянню вимушених коливань, для нього можливі наступні випадки:

- нерезонансний ($p\Omega \neq q \frac{\pi}{2l} V$ та $p\Omega \neq q \frac{2V}{l}$);
- резонансний, зумовлений періодичним збуренням крайових умов ($q\Omega \approx p \frac{2V}{l}$);
- резонансний, зумовлений поданням у змінних Ейлера додаткової складової сили натягу – вагою умовно відсіченої частини каната разом із сипким середовищем ($q\Omega \approx p \frac{\pi V}{2l}$).

Розглянемо спочатку найбільш простий, нерезонансний випадок. Як показано у [14, 15], рівняння першого наближення, які визначають закони зміни амплітуди та частоти коливального процесу у нерезонансному випадку не залежать від фази зовнішнього періодичного збурення. Процедура усереднення дозволяє отримати систему звичайних диференціальних рівнянь відносно параметрів \dot{a} та $\dot{\varphi}$ вигляду:

$$\dot{a} \Psi(x_i) + a \dot{\varphi} \Theta(x_i) = \frac{\mu}{4\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \cos \psi d\psi d\vartheta d\bar{\vartheta}; \\ \dot{a} \Theta(x_i) - a \dot{\varphi} \Psi(x_i) = \frac{\mu}{4a\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \bar{f}(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \sin \psi d\psi d\vartheta d\bar{\vartheta}. \quad (12)$$



Зважаючи на те, що ми розглядаємо випадок коротких систем, тобто систем для яких амплітуда та фаза коливань вздовж довжини каната змінюється незначною мірою ($a = a(t)$ та $\varphi = \varphi(t)$) систему диференціальних рівнянь (12) можна усереднити по лінійній змінній та отримати закони зміни амплітудно-частотної характеристики коливань каната у вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{a} &= \frac{\mu}{\pi L_i [(\Omega + VK)^2 + (\Omega - VH)^2]} \times \\ &\left(\int_0^{L_i} (\Psi(x_i) \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \cos \psi d\vartheta d\bar{\vartheta} d\psi + \Theta(x) \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \sin \psi d\vartheta d\bar{\vartheta} d\psi) dx_i; \right) \\ \dot{\varphi} &= \frac{\mu}{\pi L_i a [(\Omega + VK)^2 + (\Omega - VH)^2]} \times \\ &\left(\int_0^{L_i} (\Psi(x) \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \sin \psi d\vartheta d\bar{\vartheta} d\psi - \Theta(x) \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(a, x_i, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) \cos \psi d\vartheta d\bar{\vartheta} d\psi) dx_i \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Отримані співвідношення (13) є базовими для дослідженні нелінійних нерезонансних коливань віток каната. Вони дають можливість визначити закони зміни амплітуди та її частоти у загальному випадку, тобто у випадку динамічного процесу що відповідає вихідним крайовим задачам.

Достовірність отриманих залежностей підтверджується граничним переходом при $V \rightarrow 0$. У вказаному випадку вихідні математичні моделі коливань віток каната не ураховують швидкості поздовжнього руху і для їх аналізу можна використати більш просту методологію [14-16].

Як було наголошено вище, до однієї з найсуттєвіших причин виникнення нелінійних коливальних процесів у механізмах чи елементах конструкцій є нелінійність їх пружних характеристик (фізична нелінійність), наявність сили опору, урахування геометричної форми об'єкта (геометрична нелінійність) та крайові умови. Останні для розглядуваного випадку дещо спростимо. Приймаючи до уваги що $\frac{D}{2l} \ll 1$, перша визначна границя дозволяє $\sin \alpha$ замінити величиною кута нахилу каната у кутових точка, тобто α . Зберігаючи вказаний порядок точності у крайових умовах, функції $w_i(x_i, t)$ подамо у вигляді:

$$\begin{aligned} w_1(x_1, t) &= \left(\frac{D}{2l}\right)^2 x_1 \cos^2 \frac{V}{l} t, \\ w_2(x_2, t) &= -\left(\frac{D}{2l}\right)^2 (1 + x_2) \cos^2 \frac{V}{l} t, \\ w_3(x_3, t) &= \left(\frac{D}{2l}\right)^2 \cos^2 \frac{V}{l} t. \end{aligned} \quad (14)$$

Враховуючи наведене вище, праві частини рівнянь (4), набувають вигляду:



$$\begin{aligned} \bar{f}_1(a, x, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) &= \frac{a^3}{m_0} EA \left(k[-K \sin(Kx_1 + \psi) + H \sin(Hx_1 - \psi)]^2 \right) \left([-K^2 \cos(Kx_1 + \psi) + H^2 \cos(Hx_1 - \psi)] \right) \\ &- \frac{k_1}{km_0} (a\Omega(-\sin(Kx_1 + \psi) - \sin(Hx_1 - \psi))) - \left(\frac{DV}{2l^2} \right)^2 x_1 \cos 2\frac{V}{l}t - \left(\frac{D}{2l} \right)^2 \frac{V}{l} \sin 2\frac{V}{l}t - \\ &+ \frac{m_1}{m_0} a\Omega[\Omega + 2V(K - H)](\cos(Kx_1 + \psi) - \cos(Hx_1 - \psi)) \cos\left(\frac{\pi}{2l}(x_1 - Vt) + \varphi_0\right), \\ \bar{f}_3(a, x, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) &= \frac{a^3}{m_0} EA \left(k[-K \sin(Kx_3 + \psi) + H \sin(Hx_3 - \psi)]^2 \right) \times \\ &\times \left([-K^2 \cos(Kx_3 + \psi) + H^2 \cos(Hx_3 - \psi)] \right) - \\ &- \frac{k_1}{km_0} (a\Omega(-\sin(Kx_3 + \psi) - \sin(Hx_3 - \psi))) + \left(\frac{DV}{2l^2} \right)^2 (1 + x_3) \cos 2\frac{V}{l}t + \left(\frac{D}{2l} \right)^2 \sin 2\frac{V}{l}t + \\ &+ \frac{m_1}{m_0} a\Omega[\Omega + 2V(K - H)](\cos(Kx_3 + \psi) - \cos(Hx_3 - \psi)) \cos\left(\frac{\pi}{2l}(x_3 - Vt) + \varphi_0\right), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \bar{f}_2(a, x_2, \psi, \vartheta, \bar{\vartheta}) &= \frac{a^3}{m_0} EA \left(k[-K \sin(Kx_1 + \psi) + H \sin(Hx_1 - \psi)]^2 \right) \left([-K^2 \cos(Kx_1 + \psi) + H^2 \cos(Hx_1 - \psi)] \right) \\ &- \frac{k_1}{km_0} (a\Omega(-\sin(Kx_1 + \psi) - \sin(Hx_1 - \psi))) + \left(\frac{DV}{2l^2} \right)^2 (1 + x_2) \cos 2\frac{V}{l}t + \left(\frac{D}{2l} \right)^2 \sin 2\frac{V}{l}t + \\ &+ \frac{m_1}{m_0} a\Omega[\Omega + 2V(K - H)](\cos(Kx_2 + \psi) - \cos(Hx_2 - \psi)) \times \\ &\times \cos\left(\frac{\pi}{2l}(x_2 - Vt) + \varphi_0\right) + g(x_2 - Vt) + \frac{m_1}{m_0} g \frac{2l}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{2l}(x_2 - Vt) + \varphi_0\right). \end{aligned}$$

Відповідно визначається також амплітудно-частотна характеристика динамічного процесу каната, яка у випадку рівномірного розподілу сипкого середовища між скребками, визначається диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \frac{-\mu k_1 \Omega (2\Omega + V(H - X))}{2[(\Omega + VK)^2 + (\Omega - VH)^2]} a, \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{\mu EA \{ \omega(K^4 + 4K^2H^2 + H^4) + V(K^5 + 2K^3H^2 - 2K^2H^3 - H^5) \}}{4m_0 k \pi [(\Omega + VK)^2 + (\Omega - VH)^2]} a^2. \end{aligned} \quad (16)$$

Нижче, на рис. 1 та рис. 2 представленні залежності в часі амплітуди та частоти коливань каната за різних швидкостей її руху.

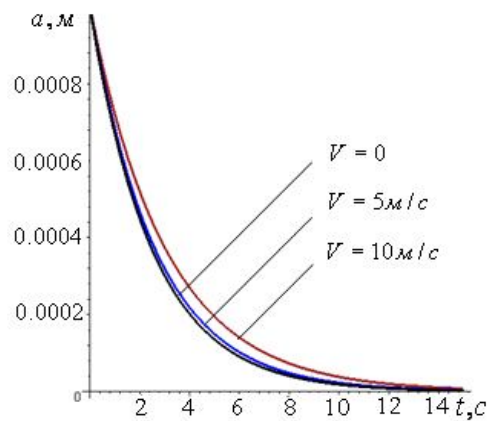


Рисунок 1 – Зміна в часі амплітуди коливань каната за різних значень швидкостей її поздовжнього руху

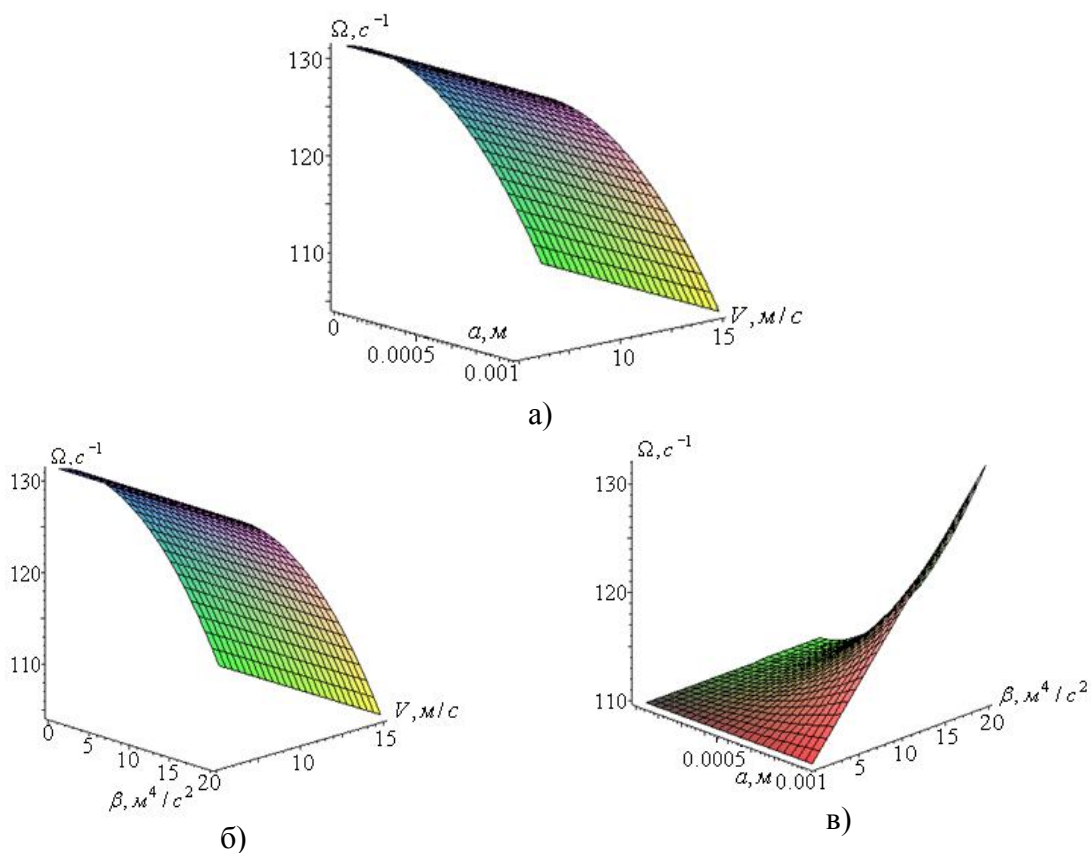


Рисунок 2 – Вплив амплітуди, швидкості руху та параметрів $\beta = \frac{kEA}{m_0}$ на частоту власних коливань системи

Представлені графічні залежності показують, що:

- для більших значень швидкості руху каната час затухання амплітуди є меншою;
- домінуючу роль впливу на частоту коливань каната відіграє швидкість її поздовжнього руху. Наведене вище слід враховувати для дослідження більш складного випадку коливань каната – резонансного.

Висновки:

1. Встановлено, що стала складова швидкості поздовжнього руху каната суттєво впливає як на частоту власних її коливань, так і її амплітуду. Для більших значень сталої складової поздовжньої швидкості частота власних коливань є меншою.



2. У зв'язку із наведеним вище, явище резонансу для більших швидкостей поздовжнього руху має місце за менших власних частот вимушуючої сили.
3. Резонансне значення амплітуди залежить як від геометричних розмірів каната, так і швидкості його поздовжнього руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Боголюбов Николай Николаевич, Митропольский Юрий Алексеевич. – М. : Наука, 1974. – 501 с.
2. Митропольский Ю. А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю. А. Митропольский., Б. И. Мосеенков. – К. : Вища школа, 1976. – 589 с.
3. Митропольский Ю. А. О построении асимптотического решения возмущенного уравнения Клейна-Гордона / Ю. А. Митропольский // Укр. мат. журн. – 1995. – 47, № 9. – С. 1209-1216.
4. Митропольский Ю. А. О построении асимптотического решения возмущенного уравнения Брезертонна / Ю. А. Митропольский // Укр. мат. журн. – 1998. – 59, № 1. – С. 58-71.
5. Митропольський Ю. О. Про застосування Атеб-функцій для побудови асимптотичного розв'язку збуреного нелінійного рівняння Клейна-Гордона / Ю. О. Митропольський, Б. І. Сокіл // Укр. мат. журн. – 1998. – 50, № 5. – С. 665-670.
6. Chen L.Q. Nonlinear parametric vibration of axially moving beams: asymptotic analysis and differential quadrature verification / Li-Qun Chen, Bo Wang, Hu Ding // Journal of Physics : Conference Series. – 181. – 2009. – P. 1-8.
7. Харченко Є. Багаточастотні коливання одновимірних нелінійно-пружних рухомих середовищ та методика побудови асимптотичних наближень крайових задач, що їх описують / Є. Харченко, М. Сокіл // Машинознавство : Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал. – 2007. – № 1. – С. 19-25.
8. В. Wan der Pol. A Teory of the Amplitude of Free and Forced Triode Vibrations // Radio Review. – 1920. – № 1.
9. Коул Дж. Методы возмущений в прикладной математике / Джулиан Коул ; [пер. с англ. А. И. Державиной и В. Н. Диесперова ; под ред. [и с предисл.] О. С. Рыжова]. – М. : Мир, 1972. – 276 с.
10. Найфэ А. Х. Методы возмущений / А. Х. Найфэ : [пер. с англ. А. А. Мелияна и А. А. Миронова. Под ред. Ф. Л. Черноуського]. – М. : Мир, 1976. – 456 с.
11. Проскураков А. П. Метод Пуанкаре в теории нелинейных колебаний / А. П. Проскураков – М. : Наука, 1977. – 256 с.
12. Справочник в 6-ти т. Вибраций в технике. / [под. ред. Челомей В. Н.]. – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 2 : Колебания нелинейных систем. – 1979. – 351 с.
13. Справочник в 6-ти т. Вибраций в технике / [под. ред. Челомей В. Н.] – М. : Машиностроение, 1980. – Т. 3 : Колебания машин, конструкций и их элементов. – 1980. – 544 с.
14. Гащук П. М. Вимушені коливання рухомих одновимірних нелінійно-пружних систем і метод Ван-дер-Поля у їх дослідженні / П. М. Гащук, І. І. Назар // Наук. вісник : зб. наук.-техн. праць. – Львів : НЛТУУ, 2007. – Вип. 17.1. – С. 300-304.
15. Гробов В. А. Асимптотические методы расчета изгибных колебаний валов турбомашин / Гробов Валериан Александрович. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 165 с.
16. Доценко П. Д. О колебаниях и устойчивости прямолинейного трубопровода / П. Д. Доценко // Прикладная механика. – 1971. – Вып. 3. – С. 85-91.

**Ляшук О.Л., Золотый Р.З. ОСНОВНЫЕ ИДЕИ МЕТОДА ВАН-ДЕР-ПОЛЯ ДЛЯ КОЛЕБАНИЙ ПРОДОЛЬНО-ПОДВИЖНЫХ ПРИВОДНЫХ КАНАТОВ ТРАНСПОРТЕРА**

Гибкие трубчатые конвейеры обеспечивают качественную транспортировку сыпучих семенных материалов по криволинейным трассам без травмирования. Для гибких приводных элементов (канатов) трубчатых конвейеров метод Ван-дер-Поля позволяет еще на стадии проектирования определить спектр собственных частот, выбрать параметры и режимы эксплуатации таким образом, чтобы избежать резонансных явлений в них, а значит обеспечить долговременную их эксплуатацию. Сделать это можно только на основе построения и анализа решений математических моделей, адекватные динамическому процессу. Построенные аналитические решения нелинейных математических моделей колебаний гибких элементов приводных элементов конвейерных канатов, которые учитывают постоянную составляющую скорости их движения и анализа на их основе влияния кинематических, физико-механических, геометрических параметров в динамическом процессе.

В результате теоретических исследований получены аналитические зависимости для определения закона изменения амплитуды и фазы волн, дифференциальное соотношение, а также амплитудно-частотные характеристики динамического процесса каната, как в случае равномерного распределения сыпучей среды между скребками. Приведены графические зависимости во времени амплитуды и частоты колебаний каната при различных скоростях их движения. Установленная составляющая скорости продольного движения каната существенно влияет как на частоту собственных колебаний, так и амплитуду.

Ключевые слова: амплитудно-частотные характеристики, метод Ван-дер-Поля, конвейерные канаты.

Lyashuk O.L., Zoloty R.Z. FUNDAMENTALS OF THE VAN-DER-POL METHOD FOR VIBRATIONS OF THE CONVEYORS LONGITUDINAL-MOVABLE DRIVING ROPES.

Flexible tube conveyors provide required transporting of dry seeds along the curvilinear tracks without damage. The van-der-Pol method makes possible to find own frequency spectrum while designing, to choose parameters and operation regimes for the flexible tube conveyors driving elements (ropes) in order to avoid resonant phenomena in them, that is, to provide their long-term operation. It is possible only if the mathematic models solutions, which are similar to that of dynamic process, were built and analysed. Analytical solutions of non-linear mathematic models of the conveyor ropes flexible driving elements vibrations have been built, which take into account the constant speed component of their movement, and analyze on basis the kinetic, physical-mechanical, geometric parameters effect on the dynamic process.

As the result of theoretical investigations the analytical dependencies for statement the law of amplitude and wave phases change, differential relation, as well as amplitude-frequency characteristics of the dynamic process of the rope, similar to that as in the case of uniform distribution of the dry environment between the scrapers, have been obtained. Graphical dependencies of the amplitude time and the rope vibration frequency at different speeds of their movement, have been presented. The found component of the rope longitudinal movement speed affects both the frequency of its own vibration and the amplitude.

Keywords: frequency response, the method of Van der Pol, conveyor ropes.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.2013



УДК 621.92

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИ РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОПТИКИ

Маляренко А.Д., Митенков М.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В работе рассмотрены вопросы повышения точности обработки изделий оптики. Выявлено, что основным фактором, влияющим на нагрев полировальной суспензии, является двигатель питателя полировальной суспензии. Поэтому предлагаемая методика расчета изменения температуры полировальной суспензии при работе оборудования для обработки оптики условно разделена на три этапа: нагрев вала двигателя питателя; подогрев суспензии в объеме питателя; изменение температуры суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу станка. Предложена методика расчета изменения этих температур при работе оборудования для обработки изделий оптики, основанная на описании данных процессов уравнениями их теплового баланса, для которых получены расчетные зависимости и выполнены соответствующие расчеты, подтверждающие достоверность разработанной методики.

Ключевые слова: теплообразование, температурные деформации, уравнение теплового баланса.

Введение. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований.

Повышение производительности, точности и качества обработки изделий для оптических систем является актуальной и важной задачей. При этом на них влияет большое количество различных факторов, что требует их систематизации, изучения и устранения.

При работе на металлорежущих станках было замечено [1], что отдельные части станка в ряде случаев нагреваются до сравнительно высоких температур. Теплообразование в механизмах станков является существенным фактором, определяющим температурное поле и температурные деформации станков, влияющие далее на точность обработки изделий.

Отличие станков оптико-обрабатывающей группы от описанной заключается в том, что при обработке происходит копирование детали поверхности инструмента в результате их взаимного притирания. Основным фактором, влияющим на точность обработки, будет термическая деформация корпуса притира, возникающая в результате изменения температуры полировальной суспензии [2].

В свете вышесказанного, актуальным является вопрос оценки влияния работающих узлов оборудования на изменение температурного режима обработки и изменение температуры полировальной суспензии. Решение данной задачи является *главной целью* выполняемой работы.

Поиск путей решения поставленной задачи. Как показал опыт работы на станках для обработки оптических поверхностей, основным фактором, влияющим на нагрев полировальной суспензии, является двигатель питателя полировальной суспензии. Поэтому предлагаемая методика расчета изменения температуры полировальной суспензии при работе оборудования для обработки оптики условно разделена на три этапа: нагрев вала двигателя питателя; подогрев суспензии в объеме питателя; изменение температуры суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу станка.

1. Для оценки нагрева электрического двигателя в первом приближении его необходимо представить как однородное тело с источниками тепла (потерями), равномерно распределенными внутри его объема. При неизменных во времени потерях процесс нагревания поверхности двигателя описывается уравнением теплового баланса [3].

$$\sum P dt = Cd (\Delta \vartheta) + \alpha S \Delta \vartheta dt, \quad (1)$$

где $\sum P$ – сумма потерь мощности в объеме двигателя, Вт; C – теплоемкость двигателя, $C = ct$, c – удельная теплоемкость материала двигателя Дж/(кг°С); t – масса двигателя,



кг; α – коэффициент теплоотдачи с поверхности, Вт/(м²°С); S – поверхность охлаждения, м²; $\Delta\vartheta$ – превышение температур поверхности двигателя над температурой охлаждающей среды, °С.

При длительной работе с неизменной нагрузкой наступает тепловое равновесие, при котором все выделенные внутри двигателя потери рассеиваются в окружающую среду, нагрев двигателя прекращается [$d(\Delta\vartheta)=0$]. Т.е. имеет место установившийся режим работы ($\Delta\vartheta_{уст} = const$). Тогда уравнение (1) переписывается:

$$P \Delta t = \alpha S \Delta \vartheta_{уст} \Delta t .$$

Отсюда:

$$\Delta \vartheta_{уст} = \frac{P}{\alpha S} . \tag{2}$$

Определив используемый тип двигателя, можно определить потери P в нем. В частном случае нагрев машины из практически холодного состояния (при $t=0$ $\Delta\vartheta_0=0$ при $t=\infty$ $\Delta\vartheta_\infty=\Delta\vartheta_{уст}$)

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_{уст} \left(1 - e^{-t/T} \right) , \tag{3}$$

где T – постоянная времени нагрева, с:

$$T = \frac{C}{\alpha S} . \tag{4}$$

Передача тепла от двигателя в вал осуществляется через муфту, т.е. через стык. Для практических расчетов сложный процесс передачи тепла через стык может быть рассмотрен как эквивалентный процесс теплопередачи путем соприкосновения. Для этого вводят некоторый эквивалентный коэффициент теплопередачи стыка. В этом случае количество тепла Q_c переданное путем соприкосновения, определяется следующим выражением:

$$Q_c = \alpha_{ст} F (\vartheta_1 - \vartheta_2) , \tag{5}$$

где $\alpha_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стыка, представляющий собой количества тепла, проходящее в единицу времени через единицу площади стыка при перепаде температур контактирующих поверхностей в 1°С, Вт/м²°С; F – площадь стыка, м²; ϑ_1 и ϑ_2 – избыточные температуры контактирующих поверхностей, °С.

Определив тепловой поток, можно рассчитать нагрев вала в месте его соединения с двигателем. Температурное поле вала может быть определено, если его с тепловой точки зрения уподобить стержню.

При указанных допущениях температурное поле вала в данной точке определяется по формуле:

$$\vartheta_x = \vartheta_0 e^{-mx} , \tag{6}$$

$$\vartheta_0 = \frac{Q_c}{\alpha_1 \lambda_1 F \cdot U_1} , \tag{7}$$



$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 U_1}{\lambda_1 F}}, \quad (8)$$

где ϑ_x – температура вала, °C; ϑ_0 – средняя температура шейки вала, °C; α_1 – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² °C; λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/м °C; U_1 – периметр теплоотдающей поверхности вала, м; F – площадь поперечного сечения вала, м²; x – расчетная координата вала, м.

Нагрев вала происходит также за счет теплообразования в подшипниках. Теплообразование Q_k в подшипнике качения определяется по формуле:

$$Q_k = 0,885 M_T n, \quad (9)$$

$$M_T = (T_{on} + f_n P_n) \frac{r_n}{1000}, \quad (10)$$

где M_T – момент трения в подшипнике, Н·м; T_{on} – сила трения на плече, равному радиусу вала при отсутствии нагрузки ($C = \frac{T_{on}}{d} = 0,005$ [1]), Н; f_n – условный коэффициент трения, равный отношению приращения силы к приращению нагрузки ($f_n = 0,001$); P_n – нагрузка, Н; r_n – радиус вала, мм; n – число оборотов вала в минуту.

Температурное поле вала при действии подшипников может быть определено по формулам:

$$\vartheta_x^{подш} = \vartheta_0^{подш} \frac{ch[m(L-x)]}{ch(mL)}, \quad (11)$$

$$\vartheta_0^{подш} = \frac{Q_k m}{\alpha_1 U_1 * th(mL)}, \quad (12)$$

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 U_1}{\lambda_1 F}}, \quad (13)$$

где $\vartheta_x^{подш}$ – температура вала, °C; $\vartheta_0^{подш}$ – средняя температура шейки вала в подшипниках, °C; L – длина вала, м.

Общая температура вала определяется суммированием:

$$T_B = \vartheta_x + \sum_{i=1}^k \vartheta_x^{подш}, \quad (14)$$

где k – количество используемых в конструкции подшипников.

Коэффициента теплоотдачи α , входящий в вышеуказанные выражения, в первом приближении можно рассчитывать по формулам для определения коэффициентов теплоотдачи в воздух, приведенным к условиям ($\vartheta_0 = 20^\circ$) и размерностям, относящимся к резанию материалов.

2. Подогрев суспензии в объеме питателя происходит в результате передачи тепла от вала двигателя. При этом в контакте находится лишь часть вала. Таким образом, теплота P , отданная в жидкость, рассчитывается из формулы:

$$P = \alpha S (T_B - T_1), \quad (15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/м² °C; S – площадь, омываемая суспензией, м²; T_1 – начальная температура суспензии.



Подогрев суспензии в результате работы двигателя определится [4] как:

$$T_c = \frac{P}{cW}, \quad (16)$$

где W – расход суспензии, л/мин.

Подогретая суспензия поступает в трубопровод, где часть тепла суспензии тратится на его нагрев. После ряда упрощений, приемлемых для расчета сравнительно длинных проводников [4], определим потерянную суспензией температуру.

Будем считать, что удельные потери p (Вт/м³), выделяемые в единице объема проводника, при температуре охлаждающей среды на входе в канал равны p_0 и их зависимость определяется соотношением:

$$p = p_0(1 + \beta T_k), \quad (17)$$

где T_k – превышение температуры проводника в рассматриваемом сечении над температурой охлаждающей среды при входе в канал; β – температурный коэффициент.

Охлаждение полировальной суспензии в результате ее циркуляции по трубопроводу можно определить по формуле:

$$\Delta T_c = \frac{p_0 S}{cW} x, \quad (18)$$

где x – длина трубопровода, м.

Превышение температуры проводника ΔT_k в рассматриваемом сечении канала определится

$$\Delta T_k = \frac{p_0 S}{cW} x + \frac{p_0 S}{\alpha \Pi}, \quad (19)$$

где α – коэффициент теплоотдачи трубопровода, Вт/(м² °С); Π – эффективный периметр канала, м.

Коэффициент теплоотдачи α может быть определен на основе критериального уравнения теплообмена в каналах.

3. При попадании суспензии в зону обработки, она уносит часть тепла с поверхности обрабатываемой детали, нагреваясь при этом. Количества тепла, уносимого с поверхности обрабатываемой заготовки можно определить по формуле (15), а подогрев суспензии по формуле (16).

Далее суспензия попадает в выходной трубопровод и по нему стекает обратно в питатель полировальной суспензии. Охлаждение полировальной суспензии и повышение температуры проводника выходного трубопровода определяются из соотношений (17)-(19).

Результаты исследований. Нами были проведены расчеты изменения температуры полировальной суспензии в объеме питателя и в зоне обработки в результате работы оборудования, используя приведенную методику. Кроме того, нами экспериментально контролировалась изменение температуры полировальной суспензии в течение рабочей смены в указанных зонах. Сходимость результатов экспериментов и численных исследований представлена на рис. 1. Анализ кривых показывает их качественное соответствие.

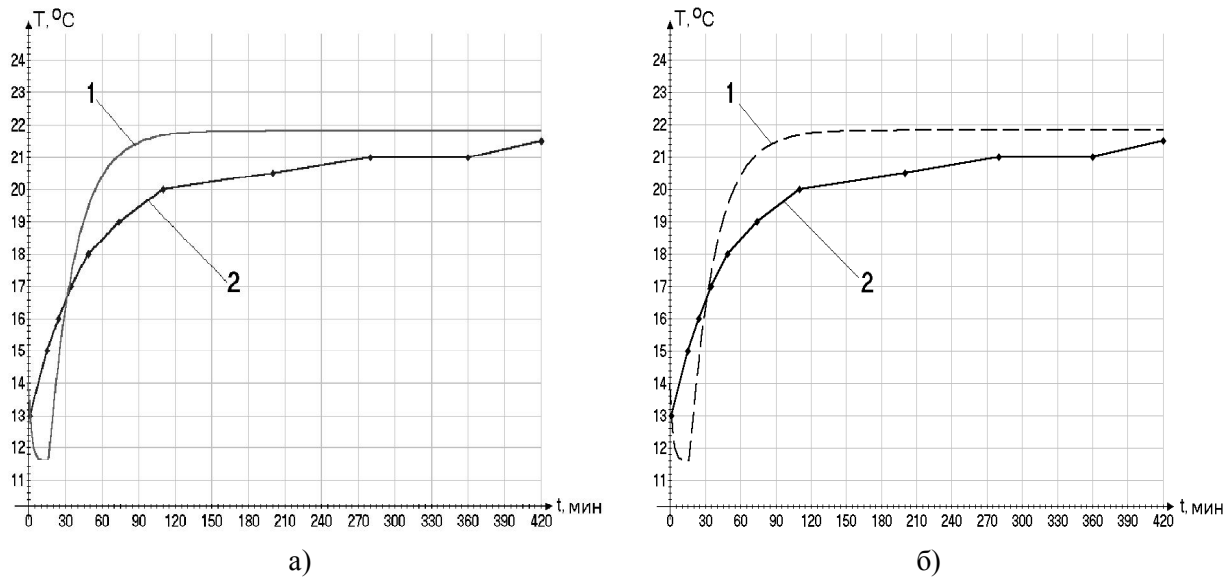


Рисунок 1 – Изменение температуры полировальной суспензии T в течение рабочей смены (1 – результаты расчета; 2 – эксперимент) при температуре окружающей среды $T_c=11^\circ\text{C}$: а – в объеме питателя; б – в зоне обработке

Выводы. Используя приведенную методику и расчетные соотношения можно рассчитать температурное поле и определить изменение температуры полировальной суспензии как результат работы оборудования.

В перспективе использование данной методики позволяет исключить выход в диапазон температур, недопустимых для обработки изделий оптики, что повисит их качество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скраган В. А. Жесткость, точность и вибрации при механической обработке / В. А. Скраган. – М. : Машгиз. – 1956. – С. 169-191.
2. Маляренко А. Д. Причины изменения температуры технологической среды при доводке оптических линз / А. Д. Маляренко, М. В. Митенков // Материалы междунар. 54 научно-технич. конференции БГПА. – Минск : Белор. госуд. политехн. Академия, 2000. – Часть 5. – С. 89.
3. Проектирование электрических машин / Под ред. И. П. Копылова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.
4. Филиппов И. Ф. Теплообмен в электрических машинах : учеб.пособие для вузов / И. Ф. Филиппов. – Л. : Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

Маляренко А.Д., Митенков М.В. ЗМІНА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПРИ РОБОТІ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ОПТИКИ

У роботі розглянуті питання підвищення точності обробки виробів оптики. Виявлено, що основним чинником, що впливає на нагрів поліровальної суспензії, є двигун живильника поліровальної суспензії. Тому пропонується методика розрахунку зміни температури поліровальної суспензії при роботі обладнання для обробки оптики умовно розділена на три етапи: нагрівання вала двигуна живильника; підігрів суспензії в обсязі живильника; зміна температури суспензії в результаті її циркуляції по трубопроводу верстата. Запропоновано методику розрахунку зміни цих температур при роботі обладнання для обробки виробів оптики, заснована на описі даних процесів рівняннями їх теплового балансу, для яких отримані розрахункові залежності і виконані відповідні розрахунки, що підтверджують достовірність розробленої методики.

Ключові слова: теплоутворення, температурні деформації, рівняння теплового балансу.



Malyarenko A.D., Mitenkov M.V. CHANGE OF TEMPERATURE CONDITION DURING WORK OF EQUIPMENT FOR TREATMENT OF OPTICS

The paper discusses the issues of improving the accuracy of product processing optics. Revealed that the main factor influencing the heat polishing slurry is a polishing slurry feeder motor . Therefore, the proposed method of calculating the change in temperature of the polishing slurry when the equipment for processing optics is roughly divided into three stages: the heating of the motor shaft feeder , heating the slurry in the volume of the feeder, the change in temperature as a result of the suspension of its circulation through the pipeline machine. A method of calculating the change of temperature when the equipment for processing optics, based on the description of these processes their thermal balance equations for which the calculated curves obtained and made the appropriate calculations , confirming the accuracy of the developed technique .

Keywords: heat generation, thermal deformation, the heat balance equation .

Статтю прийнято
до редакції 1.11.2013



УДК 621.865.8

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ OpenFOAM

Савків В.Б., Проць Я.І., Скочиляс В.В., Федорів П.С.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Досліджено залежності присмоктувальної сили та витрати стисненого повітря струминного захоплювального пристрою з плоскою активною поверхнею від діаметра найменшого перерізу заокругленого сопла шляхом числового моделювання у середовищі обчислювальної гідрогазодинаміки OpenFOAM. Встановлено, що виконання заокруглення соплового каналу шляхом звузження з наступним розширенням на вході у радіальний проміжок між активною поверхнею струминного захоплювального пристрою і плоского об'єкта, дозволяє отримати значний (52-56 %) приріст присмоктувальної сили при незначному (6-9 %) зростанні витрати стисненого повітря.

Ключові слова: струминний захоплювальний пристрій, сопло, аеродинамічний ефект, метод скінченних об'ємів.

Вступ. У промисловому виробництві для вирішення завдань автоматизації процесів завантаження і розвантаження технологічного обладнання, міжопераційного транспортування заготовок та упакування готових виробів з використанням промислових роботів широкого розповсюдження набули струминні захоплювальні пристрої (СЗП). Особливістю СЗП є відсутність механічного контакту з поверхнею об'єкта маніпулювання, що важливо при роботі з легкопошкоджуваними, крихкими об'єктами та об'єктами із зовнішніми покриттями.

Аналіз результатів досліджень. Найшвидше такі пристрої знайшли застосування у електроніці при виробництві напівпровідникових пластин [1]. У роботі [2] авторами запропоновано спосіб безконтактного маніпулювання скляними листами при виконанні операцій порізки, шліфування, нагріву, охолодження, гнуття при високих температурах, загартовування скла тощо, за допомогою СЗП. Використання запропонованих пристроїв дозволяє забезпечити відсутність оптичних спотворень та подряпин на поверхні скла чи нанесених на цю поверхню покриттів. Також відомі застосування СЗП у поліграфії при виготовленні та наступному використанні літографічних друкарських форм [3], у харчовій промисловості для маніпулювання нарізаними м'ясними [4] та овочевими [5] пластинками, у текстильній промисловості [6].

Постановка задачі. Оскільки технологічні процеси суттєво різняться, то до функціональних та експлуатаційних характеристик захоплювальних пристроїв ставляться різні вимоги. У проаналізованих роботах не досліджувався вплив конструктивних параметрів СЗП, а саме форми сопла, на величину сили притягання та витрати стисненого повітря. У роботі [2] лише зазначено, що сопло з конічною чи еліптичною поверхнею забезпечить краще входження повітряного потоку в проміжок між поверхнями СЗП та скляного листа, а для зменшення відштовхувальної сили пропонується використовувати відхиляючу вставку у каналі сопла. Тому існує потреба у дослідженні та обґрунтуванні конструктивних параметрів СЗП із метою підвищення їх силових характеристик, зменшення витрати стисненого повітря.

Мета роботи. Провести розрахунково-теоретичне дослідження, що стосується вивчення залежності силових та витратних характеристик струминних захоплювальних пристроїв від конструктивних параметрів цих пристроїв з використанням CAD/CAE технологій.

Основна частина. Поставлена задача вирішується із застосуванням методів обчислювальної гідрогазодинаміки та інформаційних технологій для імітаційного числового моделювання методом скінченних об'ємів (МСО). МСО дозволяє з високою точністю визначати розподіли тиску, швидкостей, отримувати лінії течії та інші параметри потоків.



Відомо, що робочі характеристики струминних захоплювальних пристроїв залежать від параметрів джерела живлення та тих геометричних параметрів захоплювачів, які мають вплив на формування потоку газу. Для СЗП, в якому напрям струменя повітря перпендикулярний до площини об'єкта маніпулювання такими параметрами є радіус сопла r_0 , радіус захоплювача r_2 , висота проміжку між краєм сопла і об'єктом h_0 (рис. 1а).

Для зменшення втрат енергії потоку повітря у проміжку між торцем захоплювача і об'єктом необхідно, щоб поверхня, яка взаємодіє з об'єктом, була гладкою, без будь-яких виступів чи заглибин, що можуть спричинити додаткові втрати енергії потоку.

Потік повітря, що витікає із отвору сопла 1 в проміжок між активною поверхнею СЗП і плоского об'єкта, плавно звужується. При великих значеннях відстані $h_0 > 15$ мм, струмінь повітря діє на об'єкт відштовхувальною силою. При зменшенні відстані між поверхнями СЗП та об'єкта присмоктувальна дія струменя повітря стає переважаючою, порівняно з відштовхувальною силою. Свого максимуму присмоктувальна сила досягає при відстані $h_0 = 0.2..0.5$ мм. Для уникнення бічних зміщень об'єкта у площину власного торця доцільно використовувати бічні упори 3.

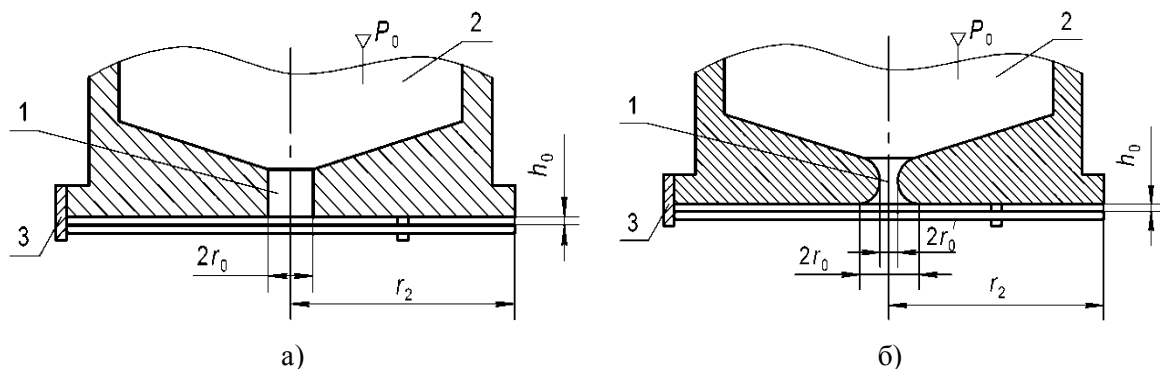


Рисунок 1 – Геометричні параметри струминних захоплювальних пристроїв з плоскою активною поверхнею з циліндричним соплом (а) та заокругленим соплом (б)

Для зменшення величини відштовхувальної сили у момент захоплення об'єкта маніпулювання ($h_0 > 1$ мм) доцільно, щоб потік при проходженні через сопло звужувався з наступним розширенням на вході у радіальний проміжок між активною поверхнею СЗП і плоского об'єкта. Таку геометрію потоку забезпечує конструкція СЗП із заокругленим соплом (рис. 1, б). Діаметр найменшого перерізу сопла визначається з умови, що площа потоку на вході у радіальний проміжок між активною поверхнею СЗП і об'єкта ($S_{вх.}$) повинна бути співвимірною з площею найменшого перерізу сопла ($S_{н.п.с}$) з коефіцієнтом пропорційності n ($n = S_{н.п.с}/S_{вх.}$), тобто:

$$\frac{\pi d_0'^2}{4} = \pi d_0 h_0 \cdot n \Rightarrow d_0' = \sqrt{4n d_0 h_0} . \quad (1)$$

За наявності звукової швидкості на вході потоку у радіальний проміжок аеродинамічний ефект зумовлює утворення зон розрідження між взаємодіючими поверхнями захоплювача та об'єкта. Збільшення площі поперечного перерізу надзвукового потоку призводить до зростання його швидкості з одночасним зменшенням статичного тиску в зазорі. На радіусі $r_{ст}$ надзвуковий потік стрибком переходить у дозвуковий. Унаслідок подальшого розширення швидкість дозвукового потоку спадає, а статичний тиск у проміжку плавно зростає до величини атмосферного p_a .

Математична модель, що описує процес витікання повітря крізь сопло у радіальний проміжок між активною поверхнею захоплювача і плоского об'єкта складається з рівнянь нерозривності, руху, енергії, та рівнянь моделі турбулентності. Процес витікання вважається стаціонарним, масовими силами нехтується.

Рівняння нерозривності матиме вигляд:



$$\frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Рівняння руху представлені рівняннями Нав'є-Стокса динаміки в'язкого газу з використанням осереднення за Рейнольдсом та гіпотези Бусінеска, які мають вигляд [7]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho V_x V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_x)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z V_x)}{\partial z} &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) + T_x; \\ \frac{\partial(\rho V_x V_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z V_y)}{\partial z} &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) + T_y; \\ \frac{\partial(\rho V_x V_z)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_z)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z V_z)}{\partial z} &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_e \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_e \frac{\partial V_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_e \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) + T_z, \end{aligned} \quad (3)$$

де ρ – густина газу, V_x, V_y, V_z – проекції вектора швидкості осередненого потоку газу, g_x, g_y, g_z – проекції вектора масових сил, P – надлишковий тиск, μ_e – ефективний коефіцієнт динамічної в'язкості, $\mu_e = \mu + \mu_t$, μ – молекулярний коефіцієнт динамічної в'язкості, μ_t – турбулентний (вихровий) коефіцієнт динамічної в'язкості (вираз буде подано нижче), T_x, T_y, T_z – втрати на внутрішнє тертя,

$$\begin{aligned} T_x &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial x} \right), \\ T_y &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial y} \right), \\ T_z &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial V_z}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння повної енергії виражене у термінах температури гальмування і для випадку стиснутого газу з врахуванням теплопереносу має наступний вигляд [8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (\rho V_x c_p T_0) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho V_y c_p T_0) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho V_z c_p T_0) &= \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\kappa_e \frac{\partial T_0}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\kappa_e \frac{\partial T_0}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa_e \frac{\partial T_0}{\partial z} \right) + W^V + E^k + \Phi + \frac{\partial P}{\partial t} \end{aligned} \quad (5)$$

$$T_0 = T + \frac{V^2}{2c_p}, \quad (6)$$

$$W^V = V_j \mu \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \frac{\partial V_k}{\partial x_j} \right], \quad (7)$$

$$E^k = -\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\kappa}{c_p} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} |V^2| \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\kappa}{c_p} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} |V^2| \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\kappa}{c_p} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} |V^2| \right) \right], \quad (8)$$

$$\Phi = \mu \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_k} + \frac{\partial V_k}{\partial x_i} \right) \frac{\partial V_i}{\partial x_k}, \quad (9)$$

де c_p – питома теплоємність газу при сталому тиску, T_0 – температура гальмування,



T – абсолютна температура, V – величина вектора швидкості, κ_e – ефективний коефіцієнт теплопровідності, $\kappa_e = \kappa + \kappa_t$, κ – коефіцієнт теплопровідності, κ_t – турбулентний коефіцієнт теплопровідності, $\kappa_t = (\mu_t c_p) / Pr_t$, $Pr_t = 0,9$, W^V – доданок, що характеризує роботу сил в'язкого тертя, записаний в тензорній формі, E^k – кінетична енергія, Φ – в'язка дисипація.

Для опису турбулентності вибрано, створену Ф. Р. Ментером у 1993 р. [9], модель переносу напружень зсуву (Shear Stress Transport, SST). Двадцятирічний досвід використання цієї моделі свідчить, що за сукупністю своїх якостей SST модель є однією з найкращих серед існуючих RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes equations) моделей турбулентності [10]. SST модель є комбінацією раніше відомих k - ϵ і k - ω моделей та забезпечує сукупність кращих якостей цих моделей. А саме, k - ϵ модель краща для розрахунку вільних і зсувних струминних потоків, а k - ω модель забезпечує значно точніший опис пристінкових граничних шарів [7]. Ф. Р. Ментер об'єднав ці моделі за допомогою емпіричної функції F_1 , яка забезпечує близькість сумарної моделі до k - ϵ моделі на відстані від твердих стінок, і до k - ω моделі в пристінковій частині потоку.

Формулювання SST моделі турбулентності містить два рівняння – для кінетичної енергії турбулентності k і питомої швидкості дисипації кінетичної енергії турбулентності ω , які виглядають таким чином [9]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i k)}{\partial x_i} = \tilde{P}_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right], \quad (10)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i \omega)}{\partial x_i} = \alpha \rho S^2 - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, \quad (11)$$

$$P_k = \mu_t \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) \rightarrow \tilde{P}_k = \min(P_k, 10 \cdot \beta^* \rho k \omega), \quad (12)$$

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)}, \quad (13)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right); \quad S^2 = 2S_{ij}S_{ij}, \quad (14)$$

Емпірична функція F_1 визначається наступним чином:

$$F_1 = \tanh \left\{ \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500 \mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4 \rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \right\}, \quad (15)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2 \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right), \quad (16)$$

де y – відстань до найближчої стінки. F_1 дорівнює нулю на відстані від поверхонь (k - ϵ -модель) і змінює своє значення на одиницю всередині граничного шару (k - ω модель).

Друга емпірична функція F_2 визначається так:

$$F_2 = \tanh \left[\left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500 \mu}{\rho y^2 \omega} \right) \right]^2 \right]. \quad (17)$$



Емпіричні константи моделі визначаються через відповідні константи k - ε та k - ω моделей за допомогою першої емпіричної функції:

$$\sigma_k = \sigma_{k1}F_1 + \sigma_{k2}(1-F_1), \quad \sigma_\omega = \sigma_{\omega1}F_1 + \sigma_{\omega2}(1-F_1),$$

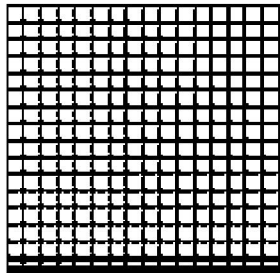
$$\alpha = \alpha_1F_1 + \alpha_2(1-F_1), \quad \beta = \beta_1F_1 + \beta_2(1-F_1).$$

Значення інших модельних констант: $\sigma_{k1} = 0.85$, $\sigma_{\omega1} = 0.5$, $\alpha_1 = 5/9$, $\beta_1 = 3/40$, $\beta^* = 0.09$, $\alpha_2 = 0.31$, $\sigma_{k2} = 1$, $\sigma_{\omega2} = 0.856$, $\alpha_2 = 0.44$, $\beta_2 = 0.0828$

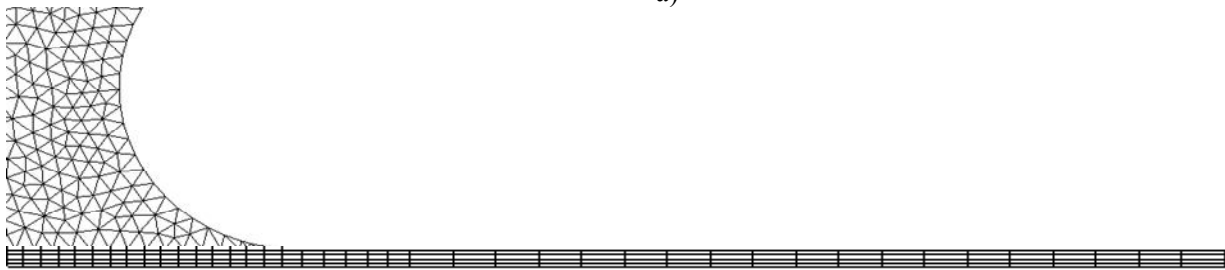
Числове моделювання. Розрахунки виконувались у середовищі обчислювальної гідрогазодинаміки з відкритим вихідним кодом OpenFOAM (OpenCFD) [11].

Для визначення оптимального діаметра найменшого перерізу сопла проведено моделювання з такими геометричними параметрами: зовнішній діаметр СЗП $d_2 = 60$ мм, діаметр сопла $d_0 = 6$ мм, діаметр найменшого перерізу сопла $d'_0 = 2,245; 2,298; 2,4; 2,498; 2,592; 2,683; 6$ мм, висота радіального проміжку $h_0 = 0,2$ мм. Діаметр d'_0 вибирався таким чином, щоб площа потоку на вході в радіальний проміжок була на 5, 10, 20, 30, 40, 50 % більшою від площі найменшого перерізу сопла.

Розрахункова сітка скінченних елементів наведена на рис. 2. В якості матеріалу використано повітря як ідеальний газ з бібліотек програми ($c_p=1,0044$ кДж/(кг·К) =const; $M=28,96$ кг/кмоль⁻¹; $\mu=18,31$ мкПа/с; $\kappa=0,0261$ Вт/(м·К) при $T=298$ К).



а)



б)

Рисунок 2 – Розрахункова сітка повітряного потоку у струминному захоплювальному пристрої з плоскою активною поверхнею з прямим соплом (а) та заокругленим соплом (б)

Граничні умови прийняли наступні (рис. 3): тиск живлення на вході $P_n=100..400$ кПа; тиск на виході з радіального проміжку вважали атмосферним $P_n=0$ кПа; параметр турбулентності для k та $\omega - I = 5\%$; стінки вважали гладкими (smooth wall) без проковзування (no-slip wall); процес витікання – ізотермічний, $T=287$ К.

Результати дослідження. За результатами виконаних розрахунків з використанням розв'язувального модуля для близьких до звукових та надзвукових турбулентних потоків стисливих газів *sonicTurbFoam* були побудовані розподіли тиску, швидкостей та лінії течії.

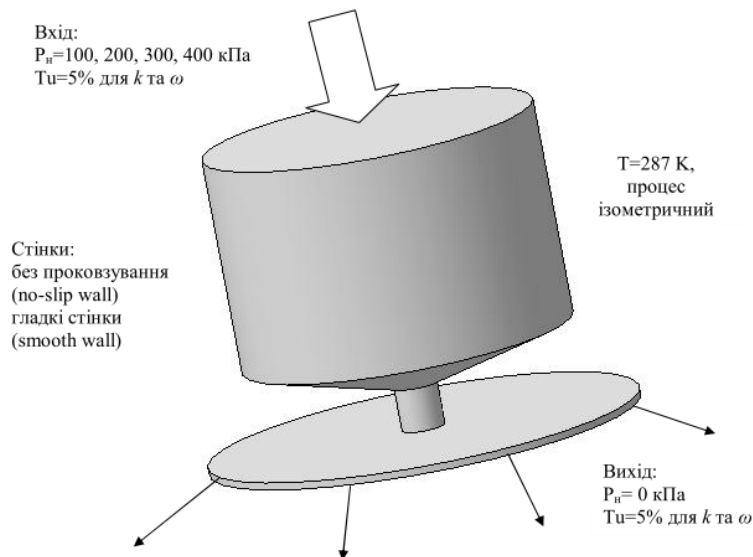


Рисунок 3 – Граничні умови для моделі потоку повітря у СЗП із плоскою активною поверхнею

Для кількісної оцінки величини присмоктувальної сили СЗП із різними параметрами, чисельно проінтегрували отримані при розрахунку табличні дані розподілів тиску повітря в проміжку між взаємодіючими поверхнями захоплювача та об'єкта за допомогою методу трапецій:

$$F = \sum_k \frac{P_{k-1} + P_k}{2} \cdot \pi \left((k\Delta r)^2 - ((k-1)\Delta r)^2 \right), \quad (18)$$

де P_k – значення тиску на k -ому інтервалі інтегрування; Δr – довжина інтервалу інтегрування, $\Delta r = 3,03 \cdot 10^{-4}$ м.

Для аналізу ефективності струминних захоплювачів в статичному режимі, коли об'єкт маніпулювання вже захоплений і займає фіксоване положення відносно захоплювального пристрою доцільно використовувати показник ефективності K_{ef} [Н/Вт], що характеризує відношення величини присмоктувальної сили F до затрачуваної потужності P_3 .

$$K_{ef} = \frac{F}{P_3} = \frac{\rho_a F}{\rho_0 G_0}, \quad (19)$$

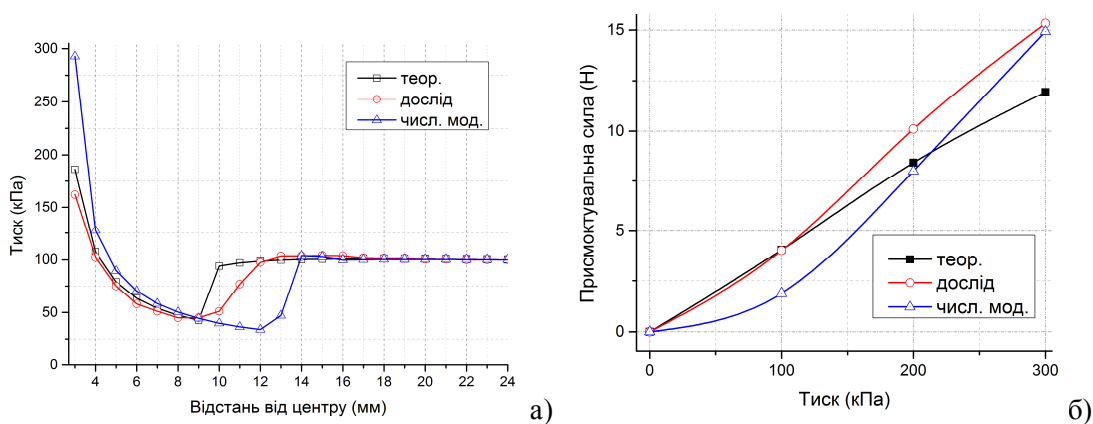


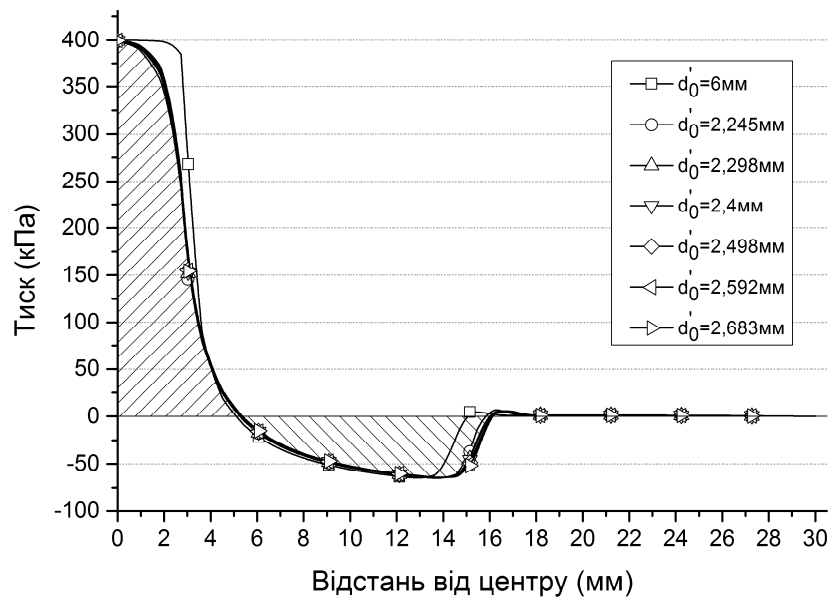
Рисунок 4 – Графіки розподілу тиску повітря в проміжку між взаємодіючими поверхнями СЗП та об'єкта при надлишковому тиску живлення $p_{0н} = 300$ кПа (а) та силові характеристики (б) СЗП із плоскою активною поверхнею та циліндричним соплом

Для перевірки, отриманих при чисельному розрахунку, результатів виконали порівняння з теоретичними розрахунками та дослідом наведеними у [12]. Як видно з

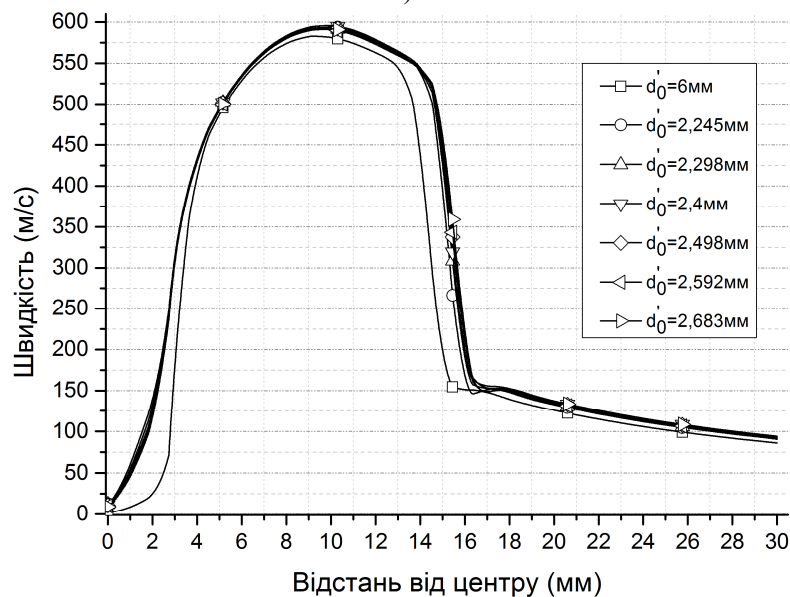


рис. 4, результати отримані при числовому моделюванні узгоджуються з результатами, отриманими при теоретичних розрахунках та дослідним шляхом.

Як видно з рис. 5а площа під кривою розподілу тиску з додатними значеннями буде меншою для конструкцій із заокругленим соплом, ніж у конструкції з прямим соплом. А це означає, що відштовхувальна сила струменя буде меншою для захоплювачів із заокругленим соплом. Також з розподілів тиску та швидкості видно, що радіус стрибка $r_{ст}$ надзвукового режиму руху потоку в дозвуковий для конструкцій захоплювачів із заокругленим соплом буде розміщуватись ближче до краю захоплювача, а отже зона розрідження буде ширшою (площа над кривою розподілу тиску з від'ємними значеннями буде більшою). Це свідчить про значнішу присмоктувальну силу струменя повітря у захоплювачах із заокругленим соплом. Швидкість повітря у конструкції із заокругленим соплом переходить у надзвуковий режим на меншому радіусі та досягає більшого максимуму, що пов'язано із зменшенням втрат енергії потоку, і в результаті підвищується аеродинамічний ефект.



а)



б)

Рисунок 5 – Графіки розподілів тиску повітря (а) та швидкості повітря (б) в проміжку між взаємодіючими поверхнями захоплювача та об'єкта для захоплювачів з плоскою активною поверхнею при надлишковому тиску живлення $p_{0н} = 400\text{кПа}$

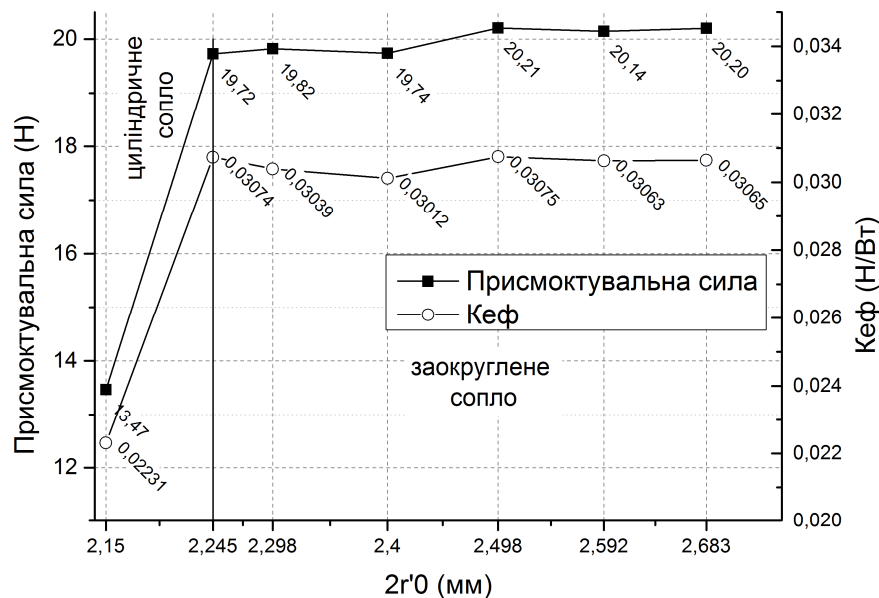


Рисунок 6 – Графіки присмоктувальної сили та показника ефективності для захоплювачів з плоскою активною поверхнею при надлишковому тиску живлення $p_{0н} = 400\text{кПа}$

Таблиця 1 – Силкові та витратні характеристики СЗП із прямим та заокругленим соплом

Найменший діаметр сопла $2r'_0$, мм	6	2,245	2,298	2,4	2,498	2,592	2,683
ΔS , %	-	5	10	20	30	40	50
Сила F , Н	13,61	19,72	19,82	19,74	20,21	20,14	20,20
ΔF , %	-	52,81	53,54	52,91	56,39	55,94	56,34
G_0 , г/с	1,8318	1,9474	1,9791	1,98855	1,99421	1,99584	2,00015
ΔG_0 , %	-	6,31	8,04	8,56	8,87	8,96	9,19
$K_{еф}$, Н/Вт	0,02231	0,03074	0,03039	0,03012	0,03075	0,03063	0,03065

Аналіз отриманих характеристик (рис. 6, табл. 1) дозволяє встановити необхідний переріз сопла, що забезпечує максимальний приріст присмоктувальної сили при допустимому зростанні витрати стисненого повітря. Показник ефективності у цьому випадку буде найбільшим.

На рис. 7 зображено силкові характеристики для СЗП із циліндричним соплом та із заокругленим соплом, з яких видно, що значення присмоктувальної сили для конструкції із заокругленим соплом є більшими на усьому діапазоні тисків живлення.

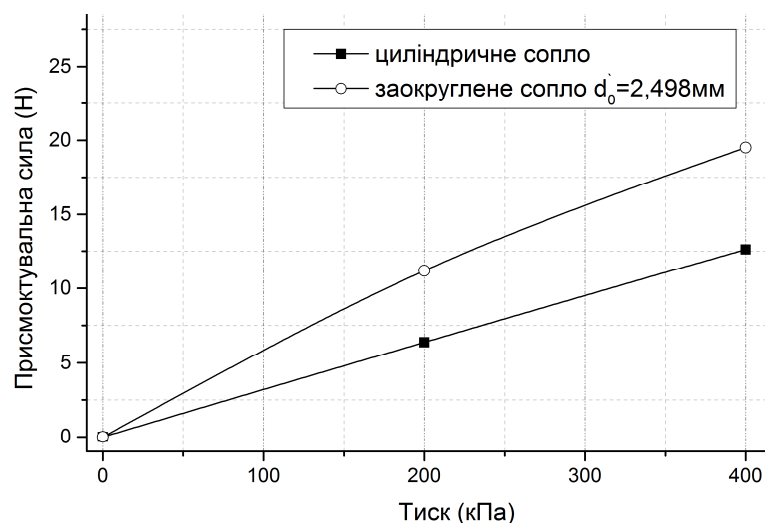


Рисунок 7 – Силкові характеристики СЗП із циліндричним соплом та заокругленим соплом з найменшим діаметром сопла 2,498 мм



Висновки. Установлено залежності присмоктувальної сили та витрати стисненого повітря струминного захоплювального пристрою з плоскою активною поверхнею від діаметра найменшого перерізу сопла шляхом числового моделювання у середовищі обчислювальної гідрогазодинаміки з відкритим вихідним кодом OpenFOAM. На основі досліджень встановлено, що доцільно вибирати радіус заокруглення сопла струминного захоплювального пристрою таким чином, щоб це заокруглення забезпечувало збільшення площі потоку на вході в радіальний проміжок між поверхнею захоплювача та об'єкта маніпулювання на 30 %. У цьому випадку приріст присмоктувальної сили становить 56,4 % при зростанні витрати стисненого повітря на 8,9 %. Наступні дослідження у цьому напрямку дозволять встановити закономірності, які дозволять проектувати струминні захоплювальні пристрої з оптимальними силовими та витратними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pat. 4029351 United States : Int. Cl.⁷: B66C 1/02. Bernoulli Pickup head with self-restoring anti-tilt improvement / Donald Harlem Apgar, Richard Fleming Kilburn ; Assignee : International Business Machines Corporation, Armonk, N. Y. – Appl. No. : 692068 ; filed 02.06.1976; date of patent 14.06.1977.
2. Pat. 4921520 United States : Int. Cl.⁷: C03B 25/035. Process for applying forces to glass sheets, in particular at a high temperature / Giovanni M. Carlomagno (Italy). – Appl. No. : 149400 ; filed 28.01.1988; date of patent 01.05.1990 ; priority 03.02.1987, № 40404 A/87 (Italy).
3. pat. 6601888 United States : Int. Cl.⁷: B25J 15/06. Contactless handling of objects / Lon McIlwraith, Andrew Christie ; Assignee : Creo Inc., Burnaby (CA) – Appl. No.: 09/810408 ; filed 19.03.2001; date of patent 05.08.2003 ; priority 19.09.2002, US 2002/0130524 A1.
4. Erzincanli F. Design and Operational Considerations of a Non-contact Robotic Handling System for Non-rigid materials / F. Erzincanli, J. M. Sharp, S. Erhal // Int. J. Mach. Tools and Manufacture – 1998. – Vol. 38, № 4, – P. 353-361.
5. Davis S. An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables / S. Davis, J. O. Gray, Darwin G. Caldwell // Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing – 2008. – Vol. 24, № 2, – P. 249-257.
6. Ozelik B. A non-contact end-effector for the handling of garments / B. Ozelik, F. Erzincanli // Robotica – 2002. – Vol. 20, № 4, – P. 447-450.
7. Гарбарук А. В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений : учебное пособие / А. В. Гарбарук, М. Х. Стрелец, М. Л. Шур. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
8. Шабаров В. В. Применение системы ANSYS к решению гидрогазодинамических задач : учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» / В. В. Шабаров. – Нижний Новгород, 2006. – 108 с.
9. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / F. R. Menter // AIAA Journal. – 1994. – Vol. 32, № 8. – P. 1598-1605.
10. Menter F. R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model / F. R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry // Turbulence, Heat and Mass Transfer 4 ; ed : K. Hanjalic, Y. Nagano, M. J. Tummers – Begell House, Inc., 2003. – P. 625-632.
11. OpenFOAM. The Open Source CFD Toolbox: User Guide. Version 2.2.0 / Electronic edition, 2013-02-22. – OpenFOAM Foundation, 2013. – 211 p.
12. Савків В. Б. Оптимізація форми активної поверхні струменевих захоплювальних пристроїв промислових роботів / В. Б. Савків, Я. І. Проць, О. М. Фендьо, Г. В. Савків // Вісник ТДТУ. Сер. «Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки». – Тернопіль : Видавництво ТДТУ ім. Івана Пулюя, 2010. – № 1. – С. 73-80.



Савкив В.Б., Проць Я.И., Скочиляс В.В., Федорив П.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУЙНЫХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ OPENFOAM

Исследованы зависимости присасывающей силы и расхода сжатого воздуха струйного захватывающего устройства с плоской активной поверхностью от диаметра наименьшего сечения сопла путем численного моделирования в среде вычислительной гидрогазодинамики OpenFOAM. Установлено, что выполнение закругления соплового канала путем сужения с расширением на входе в радиальный зазор между активной поверхностью струйного захватывающего устройства и плоского объекта, позволяет получить значительный (52-56 %) прирост присасывающей силы при незначительном (6-9 %) росте расхода сжатого воздуха.

Ключевые слова: струйное захватывающее устройство, сопло, аэродинамический эффект, метод конечных объемов.

Savkiv V.B., Prots Y.I., Skochylyas V.V., Fedoriv P.S. FORCE CHARACTERISTICS INVESTIGATION OF AIR-JET GRIPPING DEVICES BY NUMERICAL SIMULATION IN OPENFOAM SOFTWARE

The gripping force dependencies and compressed air consumption dependencies from the diameter of the smallest rounded nozzle section of air-jet gripping device with a flat active surface were investigated by numerical simulation using open source computational fluid dynamics (CFD) software OpenFOAM. Established that making rounded nozzle channel with constriction and extension of it at the entrance to the radial gap between the active surface of the air-jet gripping device and a flat object, provides a significant (52-56%) increase of gripping force with a slight (6-9%) increase in consumption of compressed air.

Keywords: air-jet gripping device, nozzle, aerodynamic effect, the finite volumes method.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.2013



УДК 621.436.13

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ РАМОВИХ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ

Савчук В.П.

Херсонська державна морська академія

Деформації корпусу судна впливають на зміну геометричної осі колінчастих валів малооберткових суднових двигунів внутрішнього згоряння. Складність конструкції та умов навантаження підшипникових вузлів вимагає застосування сучасних програмних комплексів, що здійснюють чисельні розрахунки напружено-деформованого стану їх елементів.

Розроблено твердотільну модель підшипникового вузла та схему його навантаження. Проведено дослідження впливу зміни геометричної вісі рамової шийки колінчастого валу малооберткового суднового двигуна 8S80MC-C на напружено-деформований стан тонкостінних підшипників. Проведено числові розрахунки напружено-деформованого стану елементів підшипникового вузла, що демонструють збільшення максимальних напружень в матеріалі тонкостінного підшипника в 2,5 рази при величині максимально допустимого перекосу шийки колінчастого валу. Визначено необхідність впровадження оптимізації геометричної форми робочої поверхні підшипника.

Ключові слова: рамовий підшипник, колінчастий вал, скінчений елемент, напруження.

Вступ. Відомо, що експлуатаційні деформації корпусу судна викликають вигин остову малооберткових дизелів (МОД), оскільки вони мають значну довжину й жорстко з'єднані з фундаментом судна. Деформація остову МОД в умовах плавання судна приводить до порушення точності взаємного розташування осей рамових підшипників і, як наслідок, до скривлення осі колінчастого вала й до просторових відхилень деталей, пов'язаних з цим. Зсув рамових підшипників фундаментної рами викликає нерівномірне їхнє навантаження й порушення умов контакту «вкладиш - шийка вала». Крім того, зі скривлення вісі колінчастого вала виникають перекоси поршнів у циліндрах, збільшується ймовірність ослаблення посадки елементів складеного вала. Збільшення зламів дійсної осі у вертикальній і горизонтальній площинах мають місце після зварювальних робіт корпусу судна в районі фундаменту дизеля [1]. Очевидно, відбувається деформація фундаментів дизеля й підшипників валопровода.

Актуальність дослідження. Відомо, що швидкість зношування підшипників, збільшується, якщо колінчастий вал сприймає додаткові пружні деформації через недостатню міцність фундаменту. У залежності від різного набору факторів умови роботи підшипників можуть значно відрізнятись, що безумовно буде відзначатися на їх терміні служби. Для визначення дійсного терміну служби стосовно умов експлуатації необхідно враховувати весь комплекс складних напружень, які сприймає колінчастий вал.

У теперішній час, нестаток уявлення про процеси, що відбуваються у парі «вал - підшипник», компенсується системою планових оглядів, які пов'язані з простом судна. Більш точне уявлення може бути отримане за допомогою сучасних методів моделювання, поєднаних з безперервним моніторингом умов роботи підшипника. Сучасні методи моделювання дозволяють враховувати значну кількість факторів, наближаючи властивості моделі до властивостей реального об'єкту.

Фірма MAN B&W створила розширену версію програмного забезпечення, яке виконує оцінку робочих характеристик підшипників ковзання колінчастого вала. Останнім часом це програмне забезпечення використовувалося, щоб оптимізувати робочі характеристики товстостінних рамових підшипників двигунів серії S-MC/MC-C [2]. Конструкція вдосконаленого товстостінного корінного підшипника «flex-edge» (пружна крайка) (рис. 1) була введена на двигунах серії L/S-MC.

У товстостінній конструкції корпусу «flex-edge» є дві важливі особливості:

– деформація корпусу підшипника відбувається під впливом дотичних (тангенціальних) тиску в оболонці;



– крайка, що пружно деформується.

Той факт, що вищезгадане описане «прийняття компромісних рішень» між навантаженням на краю кормової частини й навантаженням на центральній частині підшипника є оптимальним, був доведений випробуваннями в підшипниках, які досліджувались на uszkodження з лівого борту крайки кормової частини [2]. Підшипники «flex-edge» тепер мали напрацювання з гарними результатами протягом декількох тисяч годин навпроти декількох сотень годин роботи зі старими стандартними конструкціями. У такий спосіб оптимізована конструкція підшипника була успішно випробована на найбільш навантаженому рамовому підшипнику й, тому, дизайн «flex-edge» був уведений як стандарт для всіх товстостінних підшипників на двигунах S/L-МС.

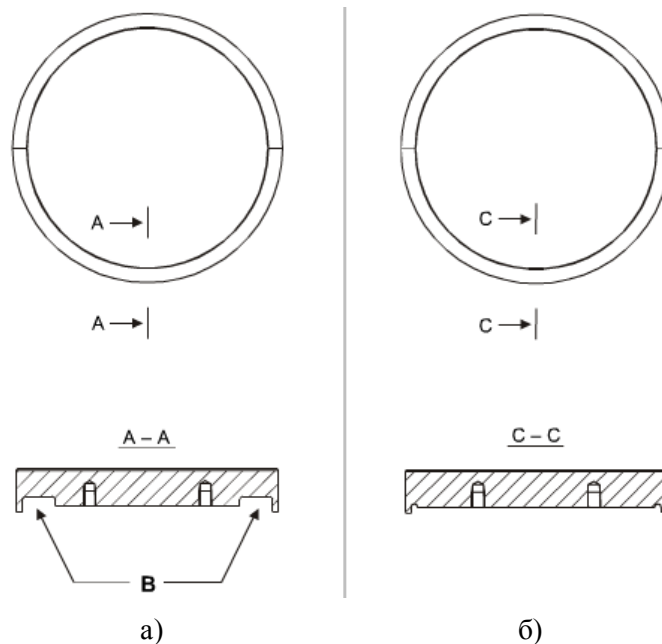


Рисунок 1 – Конструкція товстостінного рамового підшипника фірми MAN B&W:
а – нова конструкція «flex-edge»; б – стара конструкція; В – кільцеві канавки на тильній стороні рамових підшипників

У конструкції тонкостінних підшипників колінчастих валів сучасних МОД не має можливості такого вдосконалення, а отже даний спосіб покращення їх НДС не може бути застосовано.

Метою проведення розрахунків є визначення впливу номінального режиму навантаження двигуна на напружений стан в матеріалі тонкостінних рамових підшипників. Характерною особливістю навантаження рамових шийок колінчастих валів ДВЗ є асиметричність прикладених сил.

Результати дослідження. Для дослідження впливу зміни геометричної осі колінчастих валів МОД на умови роботи тонкостінних рамових підшипників за допомогою чисельних розрахунків, було розроблено спрощену трьохвимірну модель підшипникового вузла на прикладі головного двигуна 8S80MC-C.

Розроблена твердотільна модель рамового підшипника двигуна 8S80MC, має наступні геометричні параметри [3]:

- діаметр шийки $D_{ш} = 992$ мм;
- ширина шийки $B_{ш} = 400$ мм;
- товщина вкладиша $t = 20$ мм;
- радіальний зазор $\Delta = 0,6$ мм.

Згідно до теплового та динамічного розрахунків даного двигуна на номінальному режимі експлуатації, шоста рамова шийка сприймає результуючу силу $F_5 / 2 = 5,6 \cdot 10^6$ Н від шатуна 5-го циліндра (робочий хід) та $F_6 / 2 = 0,24 \cdot 10^6$ Н від шатуна 6-го циліндра (стискування).



Для проведення чисельних розрахунків впливу центрування колінчастого валу на напружено-деформований стан тонкостінних рамових підшипників нами використовувались дві моделі: одна із відсутністю відхилень, а інша із перекосом, що складає $\alpha=0,75 \cdot 10^{-6}$ рад.

Твердотільну модель досліджуваного вузла представлено на рис. 2. Для проведення розрахунків використовуємо програму нелінійного аналізу [4], оскільки при прикладенні навантаження прогнозується зміна поверхні контакту досліджуваного вузла.

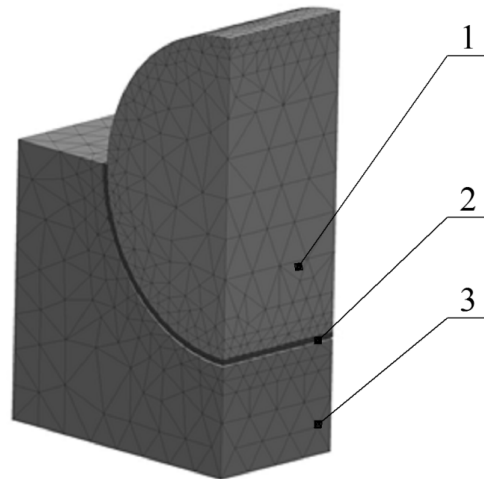


Рисунок 2 – Розрахункова твердотільна модель підшипникового вузла із сіткою кінцевих елементів: 1 – вал; 2 – підшипник; 3 – корпус рамового підшипника

Далі наводяться результати першого етапу досліджень пов'язаних із визначенням напружень та деформацій що виникають у підшипнику та його опорах під дією сил від тиску газів та дії сил інерції у кривошипно-шатунному механізмі. Виходячи з відомостей наданих фірмою MAN [2], найбільш напруженим, для восьмициліндрового двигуна типу 8S80MC-C є рамовий підшипник розташований між п'ятим та шостим циліндром. Саме для даного підшипника було змодельовано умови роботи [5]. Діючі навантаження було прийнято виходячи з теплового та динамічного розрахунку двигуна.

Для спрощення розрахунків нами застосовано граничну умову «симетрія», що дозволяє у розрахунку використати половину моделі. Закріплення моделі здійснюється за привалочну поверхню корпусу підшипника. Навантаження шийки здійснюється до бокових поверхонь, із використанням дистанційного навантаження. Відстань від площини симетрії шийки до місця прикладення сили складає 0,3 м. Це дозволяє винести діючі сили на 0,1 м від бокової поверхні шийки. Параметри сітки кінцевих елементів приведено в табл. 1.

Таблиця 1– Параметри кінцевих елементів сітки

<i>Назва параметру</i>	<i>Значення</i>
Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Розбиття, яке використовується	Сітка на основі кривизни
Точки Якобіана	4 точки
Максимальний розмір елемента, мм	131,277
Якість сітки	Висока
Кількість вузлів	32158
Кількість елементів	18292
Процент елементів із співвідношенням сторін <3	83,80
Процент елементів із співвідношенням сторін >10	0,055
Процент деформованих елементів (Якобіан)	0,0

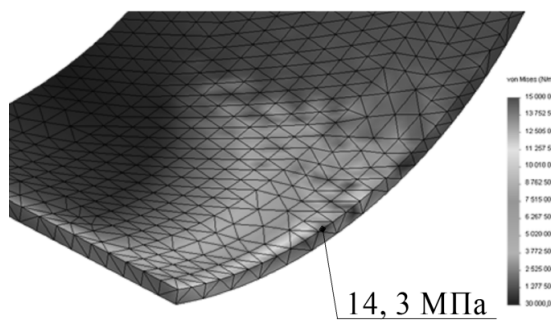


Рисунок 3 – Розподілення напружень у матеріалі підшипника (сталевий корпус умовно не показано)

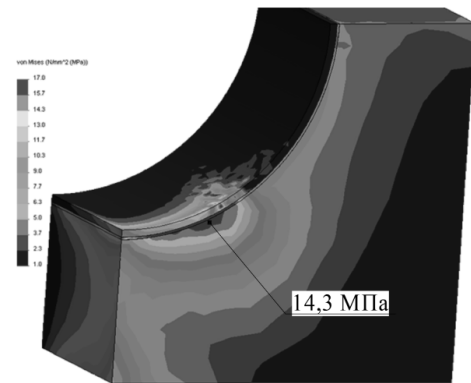


Рисунок 4 – Напружено-деформований стан моделі (шийка вала умовно не показана)

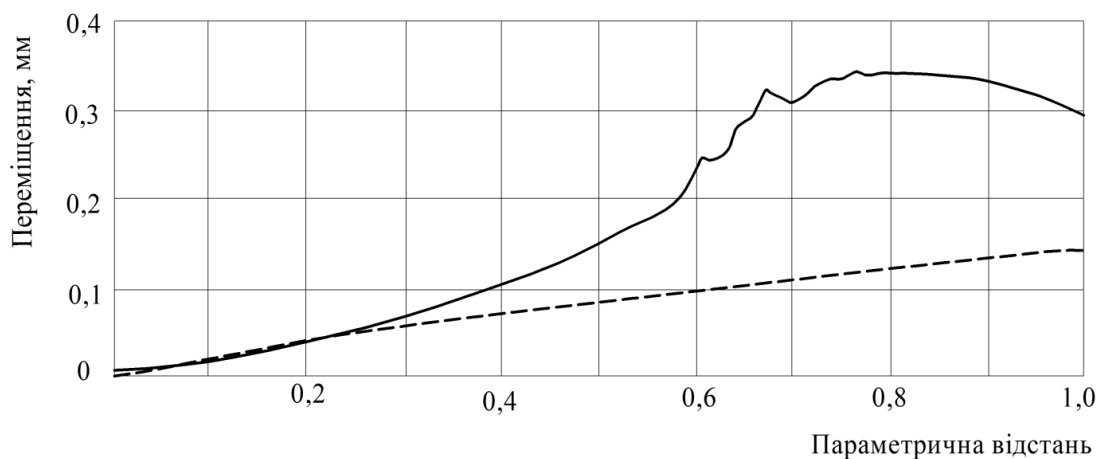
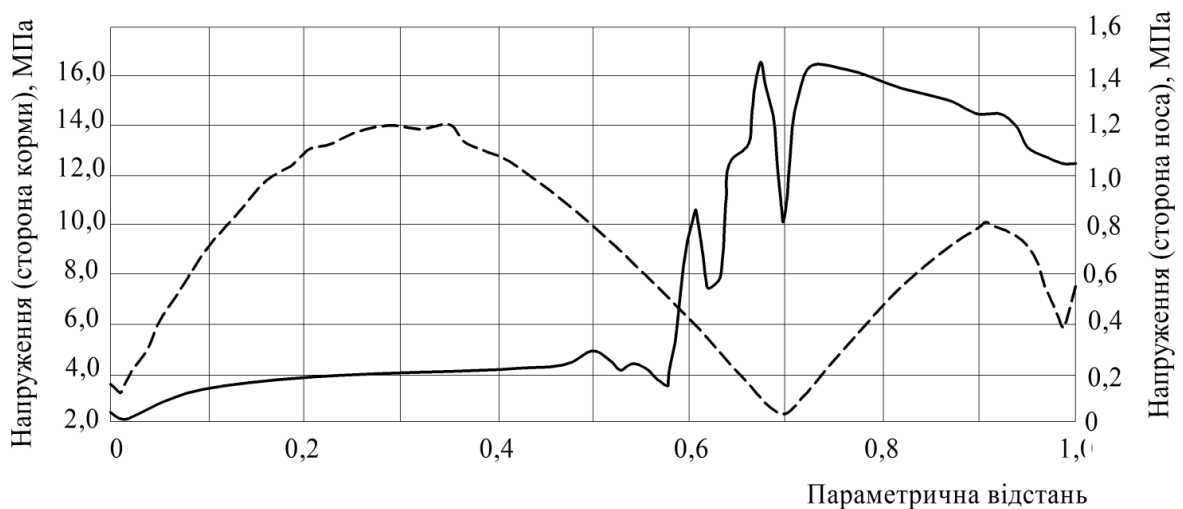


Рисунок 5 – Залежність напруженого стану крайки підшипника за його довжиною: - - - - сторона носа; — – сторона корми

З метою здійснення порівняльного аналізу впливу параметрів центрування на НДС досліджуваного вузла проведено чисельні дослідження при перекосі шийки вала на кут $\alpha=0,75 \cdot 10^{-6}$ рад. Цьому значенню кута відповідає мінімальний зазор між шийкою вала та вкладишем біля крайки (сторона носа) $\Delta = 0,15$ мм. Інші вихідні параметри розрахунку не зазнали змін. Оскільки досліджувалися умови нелінійного контакту, то додатково у розрахункову програму було введено 5 часових інтервалів, яким відповідає поступове

пропорційне збільшення навантаження. Результати розрахунку НДС представлено на рис. 7 і 8.

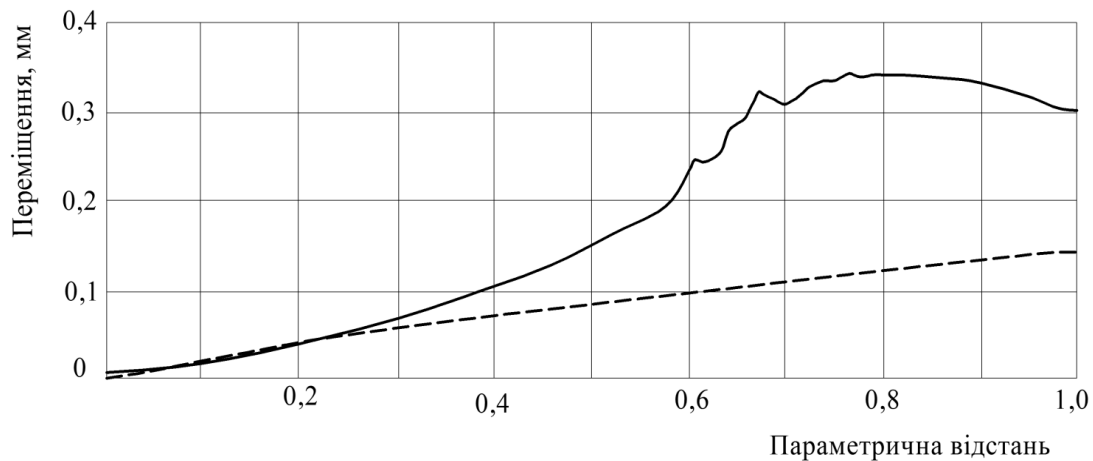


Рисунок 6 – Залежність переміщення крайки підшипника за його довжиною:
- - - - сторона носа; — — — сторона корми

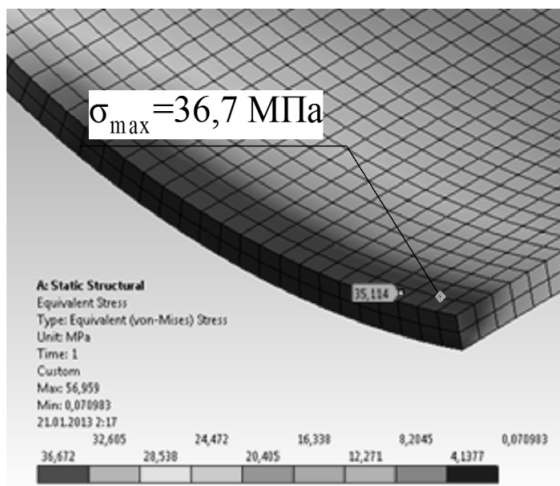


Рисунок 7 – Напружений стан крайки підшипника (сторона корми)

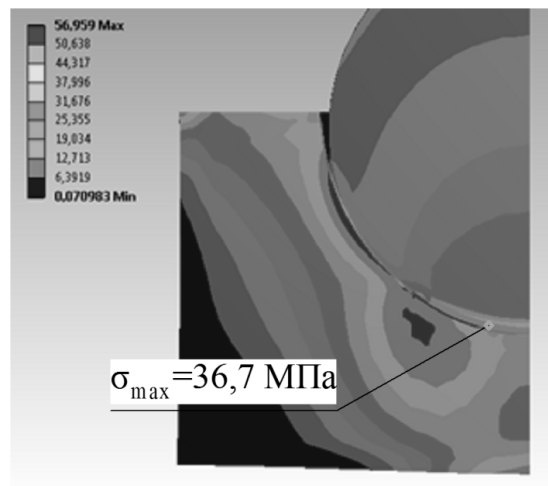


Рисунок 8 – Напружений стан деталей підшипникового вузла (варіант із перекосом осей)

Висновки. У результаті проведених розрахунків можна вказати на збільшення максимальних напружень у матеріалі підшипника з 14,3 МПа до 36,7 МПа (у 2,5 рази). Оскільки існуючий діапазон напружень не виходить за межі текучості матеріалу підшипника ($[\sigma_T] \approx 90$ МПа) і має більш ніж двократний запас міцності, то це додатково підтверджує відсутність значного зносу підшипника (оскільки інтенсивність зношування і товщина масляної плівки залежать від тиску на матеріал підшипника).

Іншим важливим параметром, який має найбільший вплив на показники безвідмовності рамових і мотилевих підшипників є температура. Можна стверджувати, що мінімальне значення товщини змащувальної плівки буде з краю підшипника (сторона корми), а отже і максимальні температури вкладиша будуть розвиватися теж в цьому місці.

З метою зменшення напружено-деформованого стану крайки рамових підшипників, нами пропонується проводити модернізацію геометричних параметрів антифрикційного слою, а саме необхідно оптимізувати форму поперечного перерізу зі сторони краю вкладиша.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маницин В. В. Техническое обслуживание и устранение дефектов дизелей судовым экипажем. Справочное пособие / В. В. Маницин, В. Д. Чайка. – Владивосток : Дальрыбвтуз, 1999. – 321 с.
2. Elasto-Hydro-Dynamic Evaluation of Main Bearing Performance / MAN B&W Diesel A/S.
3. MAN B&W S80MC-C8-II / [Project Guide Camshaft Controlled Two-stroke Engines] – 1-st Edition, April 2010.
4. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008 – 1040 с.
5. Білоусов Є. В. Обґрунтування доцільності безперервного моніторингу стану підшипників колінчатого валу судового малооборотного двигуна відповідно до концепції переходу на систему технічного обслуговування та ремонту за дійсним станом // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова / Є. В. Білоусов, В. П. Савчук – Севастополь : АВМС ім. П.С. Нахімова, 2012. – Вип. 4 (12). – С. 152-158.

Савчук В.П. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ РАМОВЫХ ПОДШИПНИКОВ СУДОВЫХ МАЛОБОРОТИСТЫХ ДИЗЕЛЕЙ *Деформации корпуса судна влияют на изменение геометрической оси коленчатых валов малооборотистых двигателей внутреннего сгорания. Сложность конструкции и условий нагружения подшипниковых узлов требует применения современных программных комплексов, которые производят численные расчеты напряженно-деформированного состояния их элементов. Разработано твердотельную модель подшипникового узла и схему его нагружения. Произведено исследование влияния изменения геометрической оси рамовой шейки коленчатого вала малооборотного двигателя 8S80MC-C на напряженно-деформированное состояние тонкостенных подшипников. Произведены численные расчеты напряженно-деформированного состояния элементов подшипникового узла, что демонстрируют увеличения максимальных напряжений в материале тонкостенного подшипника в 2,5 раза при величине максимально-допустимого перегиба шейки коленчатого вала. Определена необходимость внедрения оптимизации геометрической формы рабочей поверхности подшипника.*

Ключевые слова: рамовой подшипник, коленчатый вал, конечный элемент, напряжение.

Savchuk V.P. PROBE OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION THIN-WALLED MAIN BEARINGS SHIP МАЛОБОРОТИСТЫХ ДИЗЕЛЬ ENGINES

Strains of the cage of a vessel influence change of a geometrical shaft of bent shafts low speed explosion engines. Complexity of a construction and conditions of a stressing of bearing assemblies demands application of modern program complexes which fabricate numerical calculations of the is intense-deformed condition of their elements.

It is developed a solid-state sample piece of a bearing assembly and the circuit of its stressing. Probe of influence of change of a geometrical shaft main crankshaft journals low speed engine 8S80MC-C on the is intense-deformed condition of thin-walled bearings is fabricated. Numerical calculations of the is intense-deformed condition of elements of a bearing assembly that increases in the maximum stress in a material of the thin-walled bearing in 2,5 times show at magnitude of an is maximum-admissible distortion of a crankshaft journal are fabricated. Necessity of introduction of optimisation of the geometrical shape of a working surface of the bearing is defined.

Keywords: main bearing, a crankshaft, a finite element, tension.

Статтю прийнято
до редакції 30.10.2013



УДК 667.64:678.026

ВПЛИВ ВМІСТУ І ПРИРОДИ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО НАПОВНЮВАЧА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І СТРУКТУРУ ПОЛІМЕРНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Сапронов О.О., Нігалатій В.Д., Клецов К.М.

Херсонська державна морська академія,

Смирнов І.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

Долгов М.А.

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ

Досліджено залежність вмісту дисперсних наповнювачів на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних композитів для формування адгезійного і когезійного шару покриттів. Установлено, що дисперсність наповнювача визначає його критичний вміст у зв'язувачі. Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу композитних матеріалів наповнених дрібнодисперсними частками пічної сажі та бору кристалічного. Аналіз фрактограм зламу дозволив встановити фізико-хімічні процеси взаємодії в системі на межі поділу фаз.

Ключові слова: епоксидний композит, дрібнодисперсний наповнювач, адгезійний і когезійний шар, фрактограми зламу.

Постановка проблеми. Проблема захисту металів та сплавів від корозії існує досить давно. Тому збільшення міжремонтного ресурсу експлуатації технологічного устаткування за рахунок захисту від корозії металевих конструкцій є важливою науково-технічною проблемою сьогодення. Найбільш доступним і перспективним способом такого захисту є нанесення на поверхню обладнання антикорозійних покриттів. Однак, незважаючи на велику кількість розроблених вітчизняних і закордонних покриттів, проблема захисту від корозії залишається досить актуальною і не до кінця вирішеною. Це пояснюється наступними чинниками: відсутністю простих і надійних способів контролю захисних властивостей покриттів, великою вартістю якісних захисних покриттів, недостатнім вивченням процесів руйнування покриттів в умовах впливу зовнішніх чинників на елементи конструкцій, що захищають та які експлуатуються в різних агресивних середовищах.

Слід зазначити, що полімерні матеріали, які містять дрібнодисперсні мінеральні чи полімерні наповнювачі, є типовими гетерогенними системами з високорозвиненою поверхнею розділу фаз. При цьому гетерогенність визначається як власне наявністю дисперсної фази у полімерній матриці, так і відмінностями у структурі полімеру в поверхневих шарах і у об'ємі. Наповнення зв'язувача різними за формою і природою дрібнодисперсними частками є одним із способів надання композитним матеріалам (КМ), а, отже, і покриттям на їх основі, прогнозованих технологічних та експлуатаційних властивостей [1]. Слід зазначити, що важливим є не тільки активність наповнювача до зв'язувача, але і його вартість та наявність їх на території України. Зважаючи на вище зазначене, КМ знайшли широке застосування у багатьох галузях промисловості, зокрема і в суднобудуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З кожним роком створюються нові КМ на основі різних матриць та наповнювачів. Використання таких матеріалів забезпечує підвищення надійності устаткування і водночас зменшення маси та вартості виробів, збільшення ресурсу роботи та покращення властивостей матеріалів. Властивості зв'язувача і наповнювача суттєво впливають на перебіг фізико-хімічних процесів при формуванні КМ, що визначає його експлуатаційні характеристики [2]. Тому важливе значення на початковому етапі формування матеріалу має дослідження властивостей полімерного зв'язувача і вплив на нього введених добавок. Зважаючи на це, до важливих показників експлуатаційної надійності КМ насамперед слід віднести адгезійну і когезійну міцність, які насамперед залежать від розміру і форми наповнювача, його вмісту



у полімері, а також температурно-часових режимів формування захисних покриттів. Виходячи з цього, одним із важливих напрямків дослідження та технології виготовлення композитів, у тому числі і на епоксидній основі, є визначення оптимального вмісту наповнювача у системі «епоксидний олігомер – дрібнодисперсний наповнювач – твердник», що в свою чергу дозволяє використовувати КМ в якості антикорозійних покриттів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Мета роботи – на основі залежності властивостей матеріалів від вмісту наповнювачів встановити критичний вміст дисперсних часток у епоксидному зв'язувачі для формування захисних покриттів з необхідним комплексом характеристик.

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 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 [1], що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$. Зшивали КМ, вводячи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювачі використано дрібнодисперсні частки пічної сажі (ПГМ-33) і бору кристалічного (БК). ПГМ-33 – це вуглецевий матеріал, що утворюється при неповному згорянні або термічному розкладанні вуглеводнів. Останні містяться в природному або промисловому газі, в рідких продуктах (оливах) нафтового або кам'яновугільного походження. Елементарний склад ПГМ-33: С = 98,9 %; Н = 0,4 %; S = < 0,1 %; О = 0,6 %; мінеральний залишок - 0,1 % [3].

Бор кристалічний має ромбоєдричну форму (густина $\rho = 2,45 \text{ г/см}^3$), яка складається з майже правильних ікосаєдрів В12 із частково деформованим кубічним щільним формоутворенням. Ця фаза формується за присутності вуглецю або азоту і залежно від способу отримання приймає наступний вигляд – $B_{50}C_2$ або $B_{50}N_2$.

Епоксидний композит, наповнений частками дрібнодисперсних наповнювачів, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = 353 \pm 2 \text{ К}$ і її витримка при даній температурі упродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1 \text{ хв.}$; дозування дрібнодисперсного наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсного наповнювача упродовж часу $\tau = 1 \pm 0,1 \text{ хв.}$; УЗО композиції упродовж часу $\tau_3 = 1,5 \pm 0,1 \text{ хв.}$; охолодження композиції до кімнатної температури упродовж часу $\tau = 60 \pm 5 \text{ хв.}$; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1 \text{ хв.}$ Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання упродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1 \text{ год.}$ при температурі $T = 293 \pm 2 \text{ К}$, нагрівання зі швидкістю $v = 3 \text{ К/хв.}$ до температури $T = 393 \pm 2 \text{ К}$, витримання КМ упродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05 \text{ год.}$, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2 \text{ К}$. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували упродовж часу $\tau = 24 \text{ год.}$ на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2 \text{ К}$ з наступним проведенням експериментальних випробувань.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: адгезійна міцність при відриві, залишкові напруження, руйнівні напруження та модуль пружності при згинанні, теплостійкість (за Мартенсом).

Адгезійну міцність матриці до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження («метод грибоків») при рівномірному відриві пари склесених зразків згідно ГОСТу 14760-69. Вимірювали силу відривання клейових з'єднань сталевих зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10 \text{ Н/с}$. Діаметр робочої частини сталевих зразків при відриві становив – $d = 25 \text{ мм}$. Залишкові



напруження у матриці визначали консольним методом [4]. Покриття товщиною $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм формували на сталій 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. Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно ГОСТу 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).

Дослідження структури КМ 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. Відомо [1, 5], що властивості епоксидних КМ суттєво залежать не лише від фізичної природи і вмісту наповнювача, але й від його дисперсності. Зважаючи на зазначене, використовували як наповнювач частки ПГМ-33 і БК з дисперсністю $8 \dots 12$ мкм. На початковому етапі досліджували вплив вмісту дрібнодисперсних наповнювачів на міцність адгезійних з'єднань при відриві (σ_a) і залишкові напруження (σ_3) у КМ.

Експериментально встановлено (рис. 1), що міцність адгезійних з'єднань модифікованої ультразвуком епоксидної матриці становить $\sigma_a = 24,4$ МПа. Введення у епоксидний олігомер часток дрібнодисперсного наповнювача ПГМ-33 за вмісту $q = 5$ мас.ч. (тут і далі за текстом вміст дисперсних часток наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру) призводить до незначного зниження показників міцності адгезійних з'єднань при відриві відносно матриці і становить $\sigma_a = 23,0$ МПа (рис. 1, крива 1). Наступне введення ПГМ-33 у зв'язувач за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. приводить до монотонного підвищення міцності адгезійних з'єднань до $\sigma_a = 32,6 \dots 45,0$ МПа. Можна припустити, що за наявності дисперсних часток розміром $8 \dots 12$ мкм відбувається міжфазова взаємодія компонентів системи «зв'язувач – наповнювач». При цьому, на наш погляд, важливе значення (за незначного вмісту наповнювача у системі) мають ван-дер-ваальсові сили взаємодії, які починають діяти, коли відстань між молекулами адгезиву і активними центрами на поверхні субстрату є меншою, ніж $0,5$ нм (5Å) [5]. Слід зазначити, що субстратом у нашому випадку була поверхня як металевої основи, так і наповнювача. Крім того, слід звернути увагу на те, що композицію додатково обробляли ультразвуком. Відомо [1], що під час впливу високочастотних імпульсів відбувається рівномірний розподіл дрібнодисперсних часток наповнювача за об'ємом, додаткове змочування наповнювача зв'язувачем, а також утворення вільних радикалів у епоксидному олігомері. Тому підвищення міцності адгезійних з'єднань КМ за вмісту часток $q = 10 \dots 20$ мас.ч. зумовлено комплексом наступних чинників: рівномірним розподілом часток ПГМ-33 у об'ємі зв'язувача, активацією макромолекул з утворенням вільних радикалів і впливом ван-дер-ваальсових сил взаємодії між компонентами системи.

Введення дисперсного наповнювача за вмісту $q = 30$ мас.ч. сприяє утворенню максимуму на кривій залежності міцності адгезійних з'єднань від вмісту наповнювача ($\sigma_a = 55,0$ МПа). Можна припустити, що це зумовлено не тільки дією ван-дер-ваальсових сил взаємодії, а й збільшенням енергії адсорбції, що в свою чергу приводить до поліпшення міжмолекулярної взаємодії компонентів системи. Надалі збільшення вмісту часток ПГМ-33 до $q = 40 \dots 50$ мас.ч. призводить до погіршення адгезії КМ, показники якої становлять $\sigma_a = 27,0 \dots 44,0$ МПа. Це зумовлено підвищенням в'язкості системи, що супроводжується збільшенням температури композиції при механічному суміщенні компонентів і, як наслідок, формується матеріал зі значною кількістю дефектів. Крім того, при цьому слід зауважити наступне. Додатково у процесі експериментальних досліджень



встановлено, що введення дрібнодисперсної пічної сажі за вмісту понад $q = 50$ мас.ч. не є раціональним, позаяк відбувається скипання компонентів при механічному суміщенні.

При введенні дрібнодисперсних часток бору кристалічного встановлено такі закономірності. Наповнення системи частками БК за вмісту $q = 5 \dots 20$ мас.ч. сприяє монотонному зростанню міцності адгезійних з'єднань з $\sigma_a = 24,4$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 31,0 \dots 36,6$ МПа (рис. 1, крива 2). Максимум на кривій залежності міцності адгезійних з'єднань від вмісту БК встановлено за умови введення добавки при $q = 30$ мас.ч. У цьому випадку спостерігали показники міцності адгезійних з'єднань – $\sigma_a = 41,0$ МПа. Як зазначено вище, встановлений максимум пов'язаний не тільки впливом сил міжмолекулярної взаємодії, але й формуванням надмолекулярних структур навколо часток наповнювача за його критичного вмісту. За рахунок адсорбційної взаємодії відбувається зміна кінетики процесу зшивання матриці. При цьому адсорбована макромолекула своїми функціональними групами взаємодіє з активними центрами на поверхні наповнювача або з іншими макромолекулами, внаслідок чого спостерігається зростання міцності адгезійних з'єднань. Введення наповнювача за вмісту $q = 40 \dots 50$ мас.ч. призводить до зменшення міцності адгезійних з'єднань до $\sigma_a = 25,0 \dots 36,0$ МПа. Поясненням цього є гальмування процесів міжфазової фізико-хімічної взаємодії при введенні у зв'язувач надмірної кількості наповнювача. Це зумовлює підвищення в'язкості системи і водночас зменшення ступеня змочування наповнювача. В результаті вище зазначених явищ утворюються концентратори напружень у КМ, які сприяють утворенню дефектів. В результаті міцність адгезійних з'єднань зменшується.

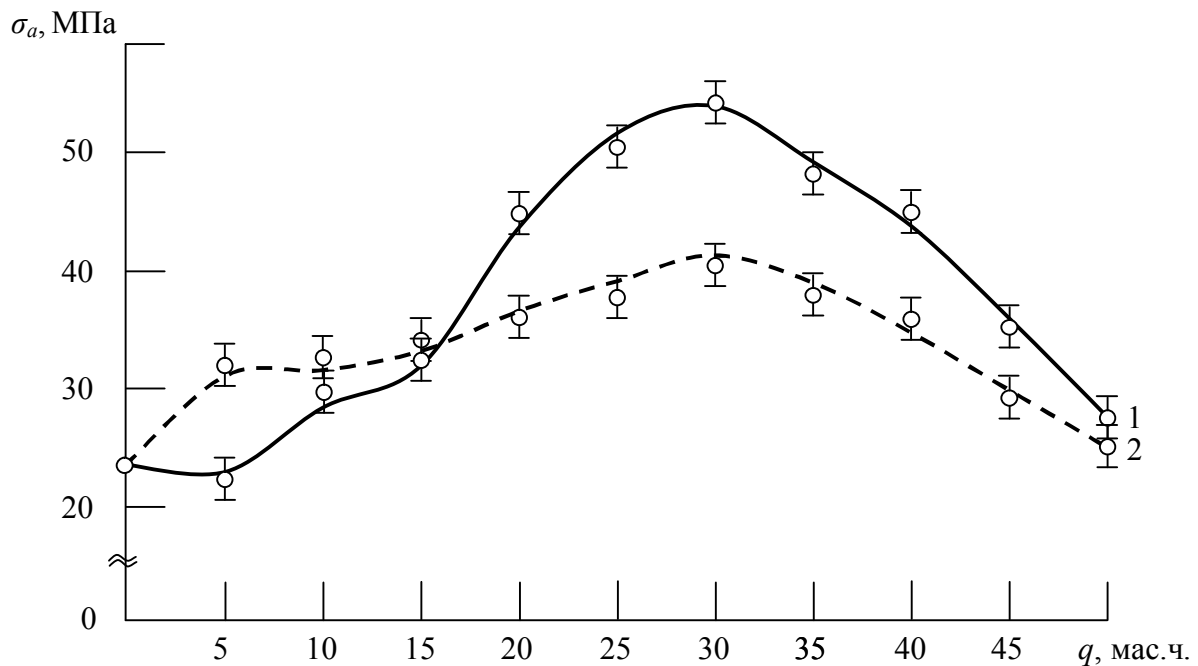


Рисунок 1 – Залежність адгезійних властивостей (σ_a) КМ від вмісту дрібнодисперсних наповнювачів: 1 – пічна сажа; 2 – бор кристалічний

Не менш важливим з практичної і теоретичної точки зору є дослідження залишкових напружень у КМ. Встановлено, що величина залишкових напружень для модифікованої ультразвуком матриці становить $\sigma_3 = 1,4$ МПа. Введення часток ПГМ-33 за вмісту $q = 5$ мас.ч. призводить до зменшення залишкових напружень відносно модифікованої матриці і становить $\sigma_3 = 0,70$ МПа (рис. 2, крива 1). Подальше введення дисперсного наповнювача за вмісту $q = 10 \dots 20$ мас.ч. приводить до збільшення залишкових напружень ($\sigma_3 = 0,81 \dots 0,84$ МПа). Максимум на кривій залежності залишкових напружень від вмісту пічної сажі встановлено при вмісті часток $q = 30$ мас.ч. ($\sigma_3 = 0,93$ МПа). Тобто, наведені дані добре узгоджуються з результатами



експериментальних досліджень міцності адгезійних з'єднань при відриві. Адгезійна міцність за даного вмісту наповнювача ($q = 30$ мас.ч.) також є максимальною. Зважаючи на проведені експериментальні дослідження, можна стверджувати про інтенсифікацію процесів зшивання матеріалів за такого наповнення. Це свідчить про виникнення значної кількості як фізичних, так і хімічних зв'язків на межі поділу фаз «полімер – наповнювач», «полімер – металева основа», що, у свою чергу, підвищує ступінь зшивання композитів та приводить не лише до підвищення показників міцності адгезійних з'єднань, але й залишкових напружень. Надалі введення наповнювача за вмісту $q = 40...50$ мас.ч. призводить до зменшення залишкових напружень до $\sigma_3 = 0,90...0,92$ МПа, а, отже, і зменшення ступеня зшивання КМ за рахунок формування дефектної структури розробленого матеріалу.

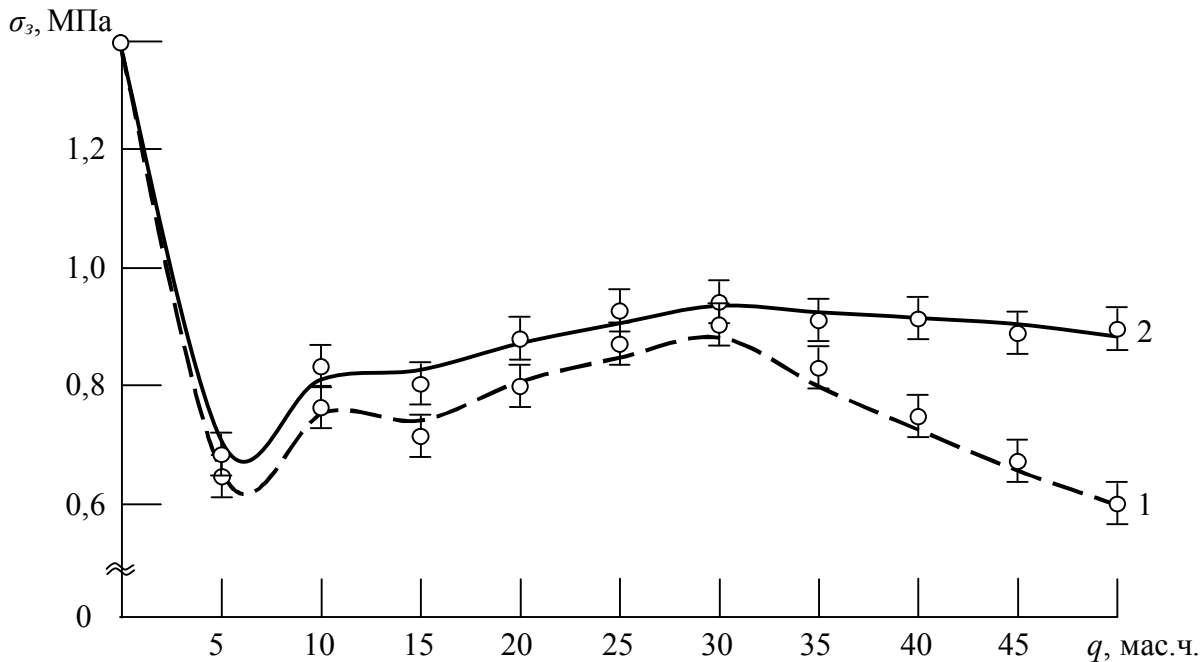


Рисунок 2 – Залежність залишкових напружень (σ_3) КМ від вмісту дисперсних наповнювачів:
1 – пічна сажа; 2 – бор кристалічний

Експериментально встановлено, що динаміка залишкових напружень КМ від вмісту БК корелює з аналогічною залежністю міцності адгезійних з'єднань при відриві зразків. Зокрема, введення дисперсного наповнювача за вмісту $q = 5$ мас.ч. призводить до зменшення залишкових напружень відносно модифікованої матриці і становить $\sigma_3 = 0,62$ МПа (рис. 2, крива 2). Проте подальше введення дрібнодисперсного наповнювача за вмісту $q = 10...20$ мас.ч. приводить до збільшення залишкових напружень до $\sigma_3 = 0,73...0,78$ МПа. Максимум на кривій залежності залишкових напружень від вмісту часток БК встановлено при $q = 30$ мас.ч., при цьому $\sigma_3 = 0,89$ МПа. Надалі збільшення вмісту дисперсного наповнювача призводить до зменшення показників залишкових напружень (при $q = 40...50$ мас.ч. залишкові напруження становлять $\sigma_3 = 0,60...0,73$ МПа).

Зважаючи на проведені експериментальні дослідження було визначено оптимальний вміст наповнювачів для формування адгезійного шару захисних покриттів, який становить $q = 30$ мас.ч. наповнювача пічної сажі ПГМ-33 або $q = 30$ мас.ч. наповнювача бору кристалічного (БК) на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. поліетиленполіаміну.

Наступним етапом було дослідження впливу вмісту дрібнодисперсних наповнювачів на руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}), модуль пружності при згинанні (E) і теплостійкість (за Мартенсом) (T) КМ (табл. 1). Встановлено, що руйнівні напруження при згинанні модифікованої матриці становлять $\sigma_{32} = 48,00$ МПа. Максимальне значення руйнівних напружень $\sigma_{32} = 61,55$ МПа спостерігали при веденні



у зв'язувач часток ПГМ-33 за вмісту $q = 5$ мас.ч. Тобто вважали, що введення наповнювача зумовлює градієнт швидкості перебігу фізико-хімічних процесів у об'ємі КМ, внаслідок чого навколо часток формується матеріал у стані зовнішніх поверхневих шарів з підвищеним ступенем зшивання. Надалі підвищення вмісту часток ПГМ-33 у КМ до $q = 10...50$ мас.ч. призводить до погіршення когезійних властивостей КМ ($\sigma_{32} = 23,29...55,44$ МПа).

Таблиця 1 – Залежність руйнівного напруження, модуля пружності при згинанні, теплостійкості (за Мартенсом) від вмісту дрібнодисперсних наповнювачів

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Руйнівні напруження при згинанні, σ_{32} , МПа		Модуль пружності при згинанні, E , ГПа		Теплостійкість (за Мартенсом), T , К	
	ПГМ-33	БК	ПГМ-33	БК	ПГМ-33	БК
–	48,00		2,90		341	
5	61,55	69,05	3,37	3,43	344	342
10	55,44	72,00	3,43	3,59	344	343
15	50,53	77,05	3,48	3,71	345	344
20	41,58	74,00	3,66	3,71	344	346
30	36,72	73,66	3,60	4,05	344	348
40	30,90	55,00	3,43	4,70	343	350
50	23,29	52,10	3,21	4,24	339	347

Введення дрібнодисперсного БК за вмісту $q = 5...10$ мас.ч. сприяє монотонному зростанню когезійних властивостей КМ, при цьому руйнівні напруження при згинанні збільшуються $\sigma_{32} = 48,00$ (для епоксидної матриці) до $\sigma_{32} = 69,05...72,00$ МПа. Максимальне значення руйнівних напружень спостерігали при введенні наповнювача за вмісту $q = 15$ мас.ч., при цьому $\sigma_{32} = 77,05$ МПа. Збільшення вмісту наповнювача до $q = 20...50$ мас.ч. призводить до незначного зменшення когезійної міцності КМ, позаяк $\sigma_{32} = 52,10...74,00$ МПа.

Слід зазначити, що дані результати не зовсім корелюють з попередньо дослідженими адгезійними властивостями та залишковими напруженнями у КМ. На наш погляд, це зумовлено тим, що при формуванні матеріалів на металевій основі (при дослідженні міцності адгезійних з'єднань і залишкових напружень) визначальне значення має взаємодія на межі поділу фаз «полімер – металева основа», «полімер – наповнювач». Водночас при дослідженні руйнівних напружень при згинанні визначальними є процеси взаємодії на межі поділу фаз «полімер – наповнювач». У цьому випадку введення часток різної фізичної природи за критичного вмісту зумовлює формування матеріалів зі значною густиною просторової сітки, що водночас приводить до не лише до поліпшення когезійних властивостей КМ, але й до підвищення жорсткості і крихкості композитів. Підтвердженням даного припущення є результати дослідження модуля пружності при згинанні КМ та їх теплостійкості.

Експериментально встановлено, що модуль пружності при згинанні модифікованої матриці становить $E = 2,90$ ГПа. При введенні дрібнодисперсного ПГМ-33 за вмісту $q = 5...15$ мас.ч. встановлено монотонне зростання модуля пружності до $E = 3,37...3,48$ ГПа. Максимальне збільшення модуля пружності при згинанні КМ ($E = 3,66$ ГПа) встановлено при введенні у зв'язувач ПГМ-33 за вмісту $q = 20$ мас.ч., що зумовлено ефективним змочуванням поверхні дисперсних часток. В результаті у процесі міжфазової фізико-хімічної взаємодії бере участь значна кількість активних центрів наповнювача, в зв'язку з чим після структуроутворення матеріалу покращуються фізико-механічні властивості КМ. Ведення наповнювача у епоксидний зв'язувач понад $q = 20$ мас.ч. (а саме, за вмісту $q = 30...50$ мас.ч.) призводить до зниження модуля пружності матеріалів до $E = 3,21...3,60$ ГПа (табл. 1).

Аналіз результатів дослідження впливу вмісту дрібнодисперсного БК на модуль пружності КМ дозволив виявити наступне. Введення наповнювача за вмісту



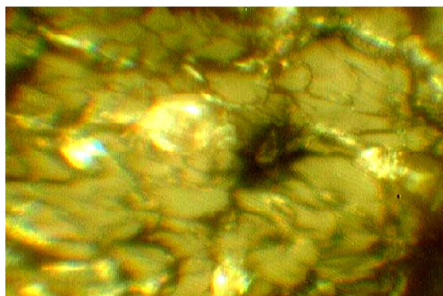
$q = 5 \dots 30$ мас.ч. приводить до монотонного зростання модуля пружності при згинанні з $E = 2,90$ ГПа (для епоксидної матриці) до $E = 3,43 \dots 4,05$ ГПа (табл. 1). Максимальне збільшення модуля пружності ($E = 4,70$ ГПа) встановлено за вмісту наповнювача у КМ – $q = 40$ мас.ч. Доведено, що надалі збільшення вмісту часток призводить до зменшення показників модуля пружності при згинанні КМ (табл. 1). У першу чергу це зумовлено утворенням матеріалу з пористою, а, отже, і дефектною структурою.

Цікавим з практичної точки зору є результати експериментальних досліджень теплостійкості (за Мартенсом) КМ. Встановлено, що теплостійкість модифікованої матриці становить $T = 341$ К. Введення у зв'язувач дисперсних часток ПГМ-33 за вмісту $q = 5 \dots 30$ мас.ч. сприяє зростанню теплостійкості відносно вихідної матриці, при цьому формуються матеріали з теплостійкістю в межах $T = 344 \dots 345$ К. Подальше введення дрібнодисперсного наповнювача за вмісту $q = 40 \dots 50$ мас.ч. призводить до погіршення теплофізичних властивостей матеріалу ($T = 339 \dots 343$ К).

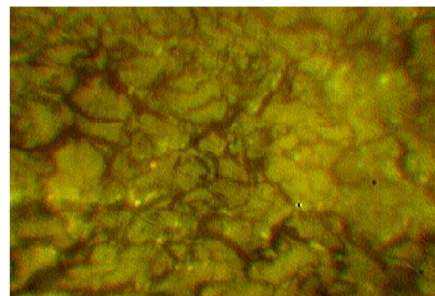
Додатково встановлено, що введення наповнювача БК за вмісту $q = 5 \dots 40$ мас.ч. приводить до монотонного зростання теплостійкості від $T = 341$ К (для епоксидної матриці) до $T = 342 \dots 350$ К. Слід зазначити, що отримані результати залежності теплостійкості від вмісту БК корелюють із динамікою руйнівних напружень і модуля пружності при згинанні досліджуваних КМ. Підтвердженням цього є те, що збільшення вмісту БК до $q = 50$ мас.ч. призводить до погіршення теплофізичних властивостей матеріалу ($T = 347$ К).

Отже, зважаючи на проведені експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей і теплостійкості КМ з різним вмістом дрібнодисперсних наповнювачів, було оптимізовано вміст добавок для формування когезійного шару захисних покриттів. Встановлено, що для формування матеріалів з поліпшеними когезійними властивостями необхідно вводити $q = 15$ мас.ч. пічної сажі ПГМ-33 або $q = 30 \dots 40$ мас.ч. бору кристалічного (БК) на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. поліетиленполіаміну.

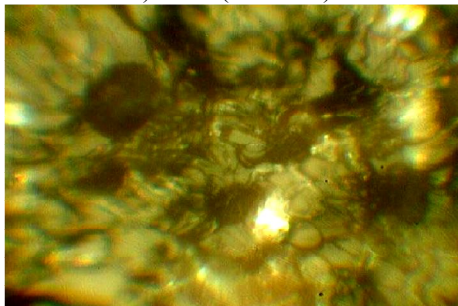
На останньому етапі методом оптичної мікроскопії досліджували топологію зламу КМ за різного вмісту дисперсних наповнювачів. Значна частина фрактограм зламу КМ, наповнених ПГМ-33 і БК, дає можливість стверджувати про міжфазову взаємодію полімеру з частками наповнювачів. Аналіз поверхні зламу КМ із вмістом часток ПГМ-33 $q = 5$ мас.ч. (рис. 3а) дозволяє констатувати, що при такому наповненні формуються матеріали з поліпшеними когезійними властивостями, але незначною їх стабільністю при подальшій експлуатації за рахунок термодинамічно і кінетично невірнівної структури. Досліджувана поверхня зламу КМ із вмістом часток ПГМ-33 $q = 10$ мас.ч. (рис. 3в) дозволяє констатувати, що при такому наповненні формуються матеріали з в'язким станом та хаотичним розподіленням наповнювача за об'ємом. Це забезпечує незначне збільшення адгезійних та водночас зниження когезійних властивостей КМ. Проте слід зазначити, що покращення міцності адгезійних з'єднань при вмісті $q = 30$ мас.ч. та когезійних властивостей КМ при вмісті ПГМ-33 $q = 15$ мас.ч. підтверджено структурами зламу КМ (рис. 3д, 3і). Структура зламу за вказаного наповнення характерна рівномірним розподілом наповнювача за об'ємом, що зумовлює структурні перетворення при зшиванні полімеру з утворенням надмолекулярних структур. При цьому збільшується ступінь зшивання матеріалу і поліпшуються його властивості. Водночас аналіз фрактограми КМ (рис. 3ж, 3л, 3н) дозволяє стверджувати про формування КМ з нерівномірним розподілом часток наповнювача, а також їх неповним змочуванням зв'язувачем, що сприяє утворенню дефектної структури досліджуваного матеріалу.



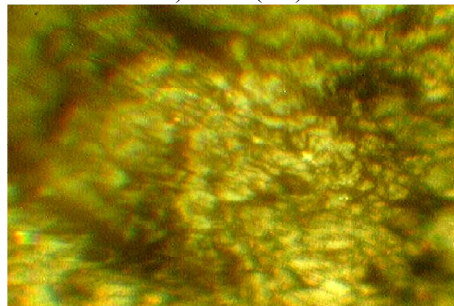
а) $\times 800$ (ПГМ-33)



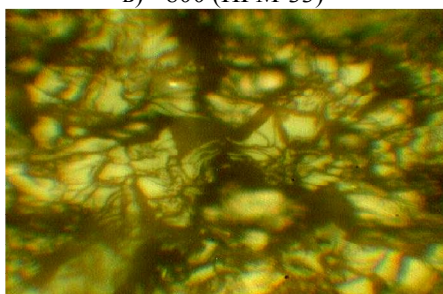
б) $\times 600$ (БК)



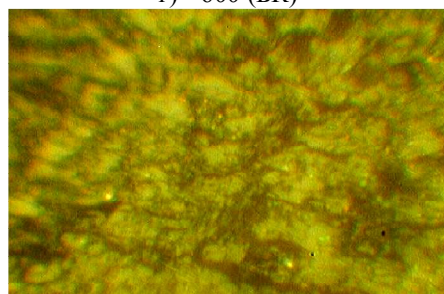
в) $\times 800$ (ПГМ-33)



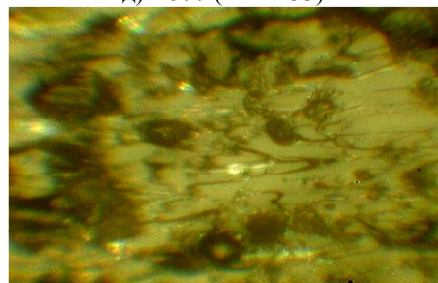
г) $\times 600$ (БК)



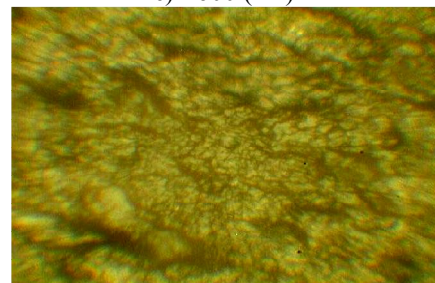
д) $\times 800$ (ПГМ-33)



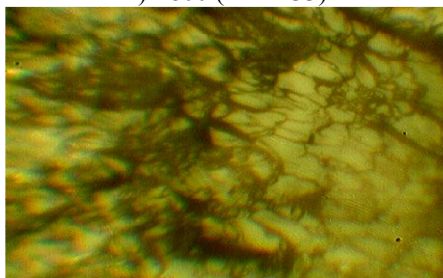
е) $\times 600$ (БК)



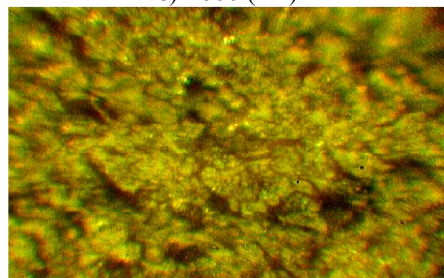
ж) $\times 800$ (ПГМ-33)



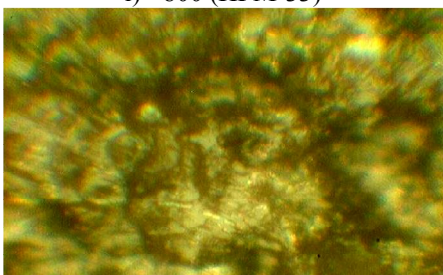
з) $\times 600$ (БК)



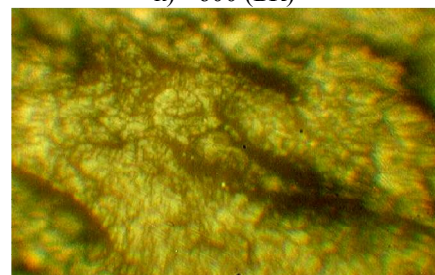
і) $\times 800$ (ПГМ-33)



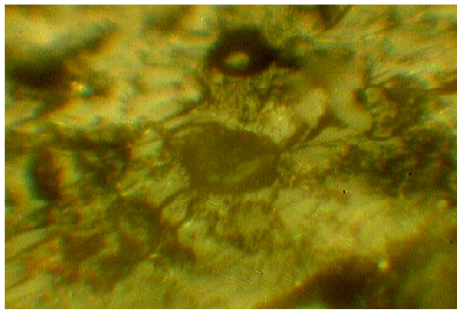
к) $\times 600$ (БК)



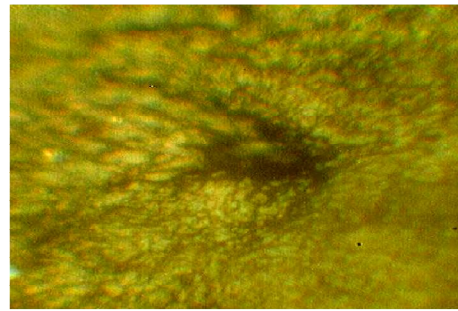
л) $\times 800$ (ПГМ-33)



м) $\times 800$ (БК)



н) $\times 800$ (ПГМ-33)



о) $\times 800$ (БК)

Рисунок 3 – Фрактограми зламу КМ: а) 5 мас.ч. ПГМ-33; б) 5 мас.ч. БК; в) 10 мас.ч. ПГМ-33; г) 10 мас.ч. БК; д) 15 мас.ч. ПГМ-33; е) 15 мас.ч. БК; ж) 20 мас.ч. ПГМ-33; з) 20 мас.ч. БК; і) 30 мас.ч. ПГМ-33; к) 30 мас.ч. БК; л) 40 мас.ч. ПГМ-33; м) 40 мас.ч. БК; н) 50 мас.ч. ПГМ-33; о) 50 мас.ч. БК

Додатково експериментальними дослідженнями встановлено, що при введенні БК за вмісту $q = 5...40$ мас.ч. спостерігали майже однорідну структуру зламу (рис. 3б, г, е, з, к, м). Така топологія поверхні зразків характерна для композитів з рівномірним розподілом напружень за об'ємом, які вказують на формування міцнозшитой структури матеріалів. Внаслідок цього КМ за даного наповнення частками БК відзначаються покращеними адгезійними та когезійними властивостями. Структура зламу КМ, наповненого $q = 50$ мас.ч. БК, вказує на перенасичення у зв'язувачі наповнювача. Свідченням цього є конгломерація часток у вигляді темного включення на фрагменті світлин (рис. 3о). Такі КМ відзначаються незначними адгезійними і когезійними властивостями.

Висновки. За результатами проведених фізико-механічних і теплофізичних досліджень композитних епоксидних матеріалів встановлено критичний вміст дрібнодисперсних наповнювачів (8...12 мкм) для захисних покриттів з поліпшеними властивостями.

Встановлено, що для формування покриттів з підвищеними показниками адгезійної міцності до епоксидного олігомеру необхідно вводити частки пічної сажі ПГМ-33 за вмісту $q = 30$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД- 20. Для таких КМ міцність адгезійних з'єднань при відриві становить $\sigma_a = 55,0$ МПа, а залишкові напруження – $\sigma_3 = 0,93$ МПа. Водночас при введенні часток бору кристалічного за критичного вмісту $q = 30$ мас.ч. формуються матеріали з такими властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 41,0$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 0,89$ МПа.

Встановлено оптимальний вміст наповнювачів для формування композитів з поліпшеними когезійними властивостями. Доведено, що введення часток пічної сажі ПГМ-33 за критичного вмісту $q = 15$ мас.ч. формуються композити з такими властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 50,53$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 3,48$ ГПа, теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 345$ К.

Для композитів, наповнених дрібнодисперсними частками бору кристалічного, виявлено такі критичні значення вмісту часток – $q = 30...40$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД- 20. У цьому випадку формуються матеріали з такими властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 73,66$ МПа; модуль пружності при згинанні – $E = 4,70$ ГПа; теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 350$ К.

Слід зазначити, що при розробці захисних покриттів ефективність, надійність і тривалий час експлуатації досягається створенням багат шарових композитів. Тому в нашому випадку, зважаючи на проведені експериментальні дослідження, доцільно формувати двошарові покриття, використовуючи обидва досліджені наповнювачі за оптимального вмісту. Тобто, для формування адгезійного шару слід використовувати частки пічної сажі ПГМ-33 за вмісту $q = 30$ мас.ч., а для створення когезійного шару – частки бору кристалічного за вмісту $q = 40$ мас.ч, який відзначається покращеними фізико-механічними і теплофізичними властивостями.



Результати, отримані методом оптичної мікроскопії, добре узгоджуються з випробуваннями фізико-механічних та теплофізичних властивостей матеріалів. При цьому аналіз фрактограм зламу дозволив, враховуючи структурні особливості взаємодії часток, оптимізувати вміст дисперсних наповнювачів для формування захисних покриттів з поліпшеними фізико-механічними і теплофізичними властивостями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.
2. Нарусберг В. Л. Устойчивость и оптимизация оболочек из композитов / В. Л. Нарусберг, Г. А. Тетере. – Рига : Зинатне, 1988. – 299 с.
3. Энциклопедия полимеров / [ред. коллегия. В. А. Кабанов]. – Т. 2 – М. : Советская Энциклопедия, 1974. – 1032 с.
4. Корякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Корякина. – М. : Химия, 1988. – 272 с.
5. Справочник по композиционным материалам / [под ред. Дж. Любина ; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта ; под ред. Б. Э. Геллера]. – В 2-х кн. Кн. 1 – М. : Машиностроение, 1988. – 448 с.

Сапронов А.А., Нигалатий В.Д., Клевцов К.Н., Смирнов И.В., Долгов Н.А. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПРИРОДЫ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Исследована зависимость концентрации дисперсных наполнителей на физико-механические и теплофизические свойства эпоксидных композитов для формирования адгезионного и когезионного слоя покрытий. Установлено, что дисперсность наполнителя определяет его критическое содержание в связующем. Методом оптической микроскопии исследованы поверхность излома композитных материалов, наполненных мелкодисперсными частицами печной сажи и бора кристаллического. Анализ фрактограм излома позволил установить физико-химические процессы взаимодействия в системе на границе раздела фаз.

Ключевые слова: эпоксидный композит, мелкодисперсный наполнитель, адгезионный и когезионный слой, фрактограммы излома.

Sapronov A.A., Nyhalatyy V.D., Klevtsov K.N., Smirnov I.V., Dolhov M.A. THE INFLUENCE OF THE CONCENTRATION AND NATURE OF THE PARTICULATE FILLER ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF PROTECTIVE COATINGS

The dependence of the concentration of particulate fillers on the physical, mechanical and thermal properties of epoxy composites to form an adhesive layer coatings and cohesion. Found that the dispersion of the filler determines the content of the binder is critical. By optical microscopy the fracture surface of composite materials filled with fine particles furnace black and crystalline boron. Analysis of fraktograms break it possible to establish physical and chemical processes of interaction in the system at the interface.

Keywords: epoxy composite, particulate filler, adhesive and cohesive layer, fraktograms fracture.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.2013



УДК 621.3.08

МЕТОД АПРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Швец И.А.

Первомайский политехнический институт Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Первомайск

Рассмотрен и описан метод аппроксимации массивов данных, полученных в ходе экспериментального исследования процессов периодического характера, основанный на рассеянии графической зависимости периодического характера семейством параллельных прямых. Приведены результаты аппроксимации для произвольной функции и показаны возможные области применения метода, в том числе при исследовании газодинамических процессов в двигателе внутреннего сгорания.

Ключевые слова: аппроксимация, экспериментальные данные, периодические процессы, гармоника.

Введение. Современные технические средства измерений и диагностирования, используемые для получения текущих (мгновенных) параметров и динамических характеристик процессов, отражающих реальное состояние исследуемого объекта, имеют очень большой спектр выполняемых функций. Их взаимодействие с современными персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ), дает возможность значительно расширить область их использования.

Исследователь, при решении конкретной задачи характерной для данной области исследования, при всем многообразии предоставленных в его распоряжение технических и программных средств, сталкивается с некоторыми специфическими аспектами, требующими индивидуального подхода к решению поставленной задачи.

Так применение современных осциллографов работающих по принципу аналого-цифрового преобразования входящего сигнала, в паре с ПЭВМ позволяет получить и отобразить на мониторе характер протекания исследуемого процесса в реальном времени. Благодаря функции маркерных измерений есть возможность получения информации об исследуемом процессе в данный момент. Учитывая большой объем данных поступающих от объекта исследования, аппаратное и программное обеспечение осциллографов позволяет осуществлять определенный объем выборки данных с определенным интервалом. При этом ключевая задача исследования остается не решенной, так как исследователь, имея массив экспериментальных данных и графическую зависимость исследуемой величины на мониторе компьютера, не имеет её математической зависимости.

Получение математической зависимости возможно в ходе аппроксимации полученных данных. Основные методики аппроксимации описаны в источниках [1, 2, 3, 5]. В соответствии с рекомендациями, представленными в указанных источниках, выбор метода аппроксимации определяется конкретикой проблемы стоящей перед исследователем, а также характером исследуемого процесса или явления.

Постановка задачи. Характерной особенностью тепловых машин, и двигателя внутреннего сгорания в том числе, является циклический характер их работы. Для цикличности происходящих процессов и явлений характерным проявлением является повторяемость или периодичность процессов. Поэтому при наличии большого объема экспериментальных данных, полученных в ходе исследования периодического процесса, очень важно найти взаимосвязь между основными факторами, оказывающими существенное влияние на процесс и представить эту зависимость математически.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, **целью статьи** является разработка метода аппроксимации экспериментальных данных с целью получения математической зависимости для процессов периодического характера.

Основная часть. Для решения поставленной задачи предлагается метод аппроксимации данных с применением тригонометрического разложения функции в ряд.



Как показывает практика аппроксимации данных согласно [4] наиболее точное и адекватное математическое описание процессов периодического характера возможно с применением тригонометрического разложения функции в ряд.

Предложенный в данной работе метод аппроксимации экспериментальных данных базируется на той гипотезе что, любой массив данных, для которого можно выделить периодичность, имеет свой неповторимый гармонический «характер», или говоря другими словами графическую и математическую зависимость, характерную только данного массива. Для выявления этой зависимости необходимо найти характерные точки, которые могут быть получены в результате в результате пересечения графика исследуемой функции с любой произвольной функцией, или в нашем случае, с семейством параллельных линий. Таким образом, указанные точки пересечения, будут корнями системы линейных уравнений, причем единственными во всем множестве возможных решений. Соответственно весь процесс аппроксимации сводится к нахождению таких точек и решению системы линейных уравнений, с нахождением амплитудных коэффициентов гармоник.

Для большей наглядности представим задачу графически (рис. 1).

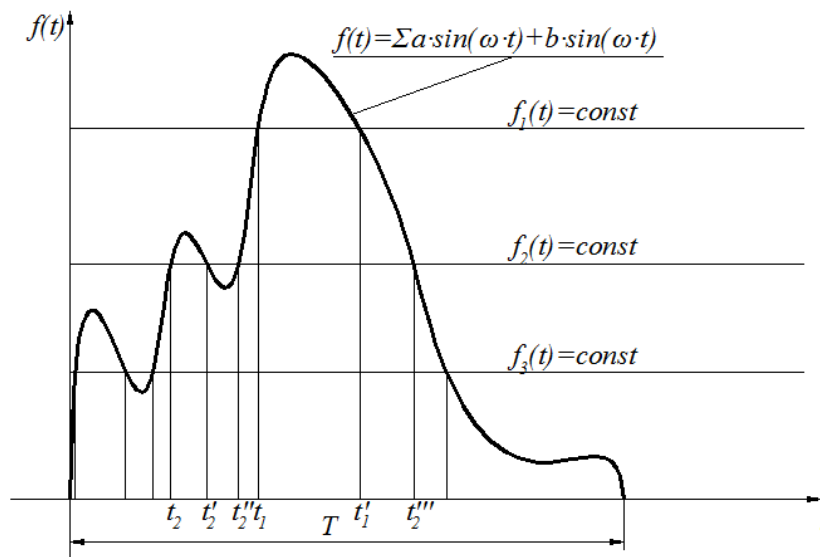


Рисунок 1 – Графическое представление задачи

К уже сказанному необходимо прибавить, что для периодических функций, необходимым и достаточным условием для реализации метода есть получение корней на полупериоде рассматриваемой функции. Это является очень весомой положительной стороной метода, так как позволяет практически в два раза уменьшить объем необходимых исходных данных для обработки.

Предположим, что в ходе экспериментальных измерений с применением аналого-цифрового преобразователя, исследователь получил графическую зависимость такую как на рис. 1. Тогда с помощью функции маркерных измерений, он может выявить характерные точки на оси абсцисс, или как в нашем случае t_1, t_1' и другие. Если на основе полученных данных составить систему линейных уравнений, то получим:

$$a_{00} \cdot t_0' + a_{01} \cdot t_0'' + a_{02} \cdot t_0''' + \dots + a_{0n} \cdot t_0 = f_1(t);$$

$$a_{10} \cdot t_1' + a_{11} \cdot t_1'' + a_{12} \cdot t_1''' + \dots + a_{1n} \cdot t_1 = f_2(t);$$

...

$$a_{m0} \cdot t_m' + a_{m1} \cdot t_{m+1}'' + a_{m2} \cdot t_{m+2}''' + \dots + a_{mn} \cdot t_m = f_m(t),$$



где a_{mn} – амплитудный коэффициент; t_i' – абсцисса точки пересечения; $f_i(t)$ – функция семейства параллельных прямых.

После замены слагаемой величины – $a \cdot t$ гармонической составляющей – $a \cdot \sin(t)$ либо $b \cdot \cos(t)$ мы от алгебраического уравнения переходим к гармоническому ряду вида:

$$a_0 \cdot \sin(t_1) + b_1 \cdot \cos(t_1) + \dots + \sum a_1 \cdot \sin(\omega \cdot t_1) + b_1 \cdot \cos(\omega \cdot t_1) = f_1(t);$$

$$a_2 \cdot \sin(t_2) + b_2 \cdot \cos(t_2) + \dots + \sum a_2 \cdot \sin(\omega \cdot t_2) + b_2 \cdot \cos(\omega \cdot t_2) = f_2(t);$$

...

$$a_m \cdot \sin(t_m) + b_2 \cdot \cos(t_m) + \dots + \sum a_m \cdot \sin(\omega \cdot t_m) + b_m \cdot \cos(\omega \cdot t_m) = f_m(t),$$

где m – порядковый номер гармоники.

Используя матричный способ как один из самых распространённых методов решения системы линейных уравнений, выполним соответствующие преобразования и получим:

$$A \times M = F,$$

где A – матрица коэффициентов; M – матрица гармоник; F – матрица столбец ординат секущих функций.

Для проверки работоспособности описанного метода, а также подтверждения его адекватности и точности полученных результатов была разработана и реализована программа в среде MathCAD. В качестве объекта для проверки метода произвольно был выбран гармонический ряд вида $f(t) = 5 \cdot \sin(t) + 9 \cdot \cos(2t)$, по результатам расчета которого были получены массив значений функции $f(t)$ с интервалом $t=0,1 \cdot T$. Этот массив лег в качестве исходных данных в основу расчетной системы уравнений.

В качестве прямых рассекающих искомую зависимость было выбрано семейство параллельных линий следующего вида: $f_1(t) = 10$, $f_2(t) = 5$, $f_3(t) = 0$, $f_4(t) = -5$, и $f_5(t) = -10$. В результате расчета было найдено решение, состоящее из двух корней: $a=5,001$ и $b = 9,000$. Полученные погрешности при определении амплитудных коэффициентов связаны с особенностями численного решения такого рода задач. Исходная графическая зависимость, а также аппроксимирующая её функция отображена на рис. 2.

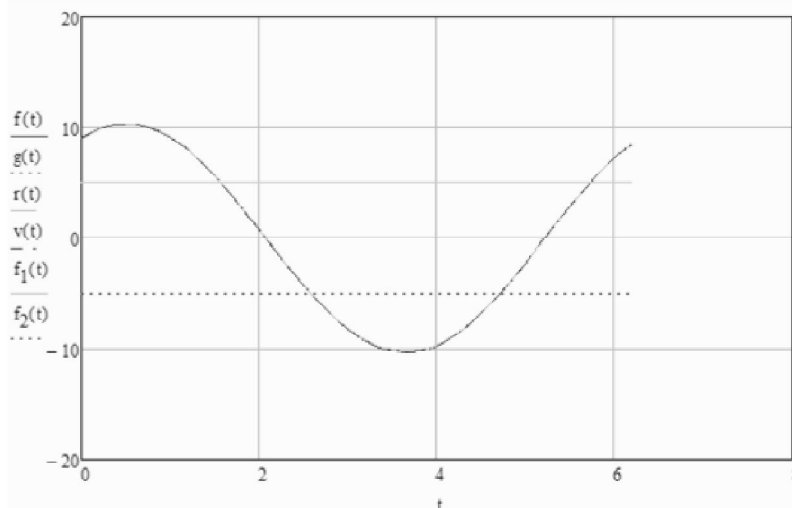


Рисунок 2 – Результаты аппроксимации гармонической гармонического ряда

Учитывая многообразие вариаций тригонометрических зависимостей описывающих гармонические функции, а также большое количество искомых коэффициентов, добиться уменьшения поиска аппроксимирующей функции наиболее приближенной к рассматриваемому процессу можно за счет задействования



гармонического ряда n -го порядка, так и гармонического полинома. Причем как указано в работе [4] с практической точки зрения он не должен превышать 6-й степенной порядок.

Учитывая возможности решения широкого спектра инженерных задач прикладного характера с помощью данного метода аппроксимации, целесообразно будет задействовать его для решения задач в области совершенствования и доводки двигателя внутреннего сгорания.

Например, к числу процессов имеющих сложный, не стационарный, условно периодичный характер относится изменение давления во впускном коллекторе во времени или по углу поворота коленчатого вала (рис. 3). Получение универсальной математической зависимости для описания его протекания, которую можно было бы применить для поршневого двигателя любого типа конструктивного исполнения, остается на сегодня довольно сложной задачей. Среди основных причин: особенности конструктивного исполнения впускного коллектора, объем и геометрия каналов системы впуска, наличие волновых процессов и другие факторы.

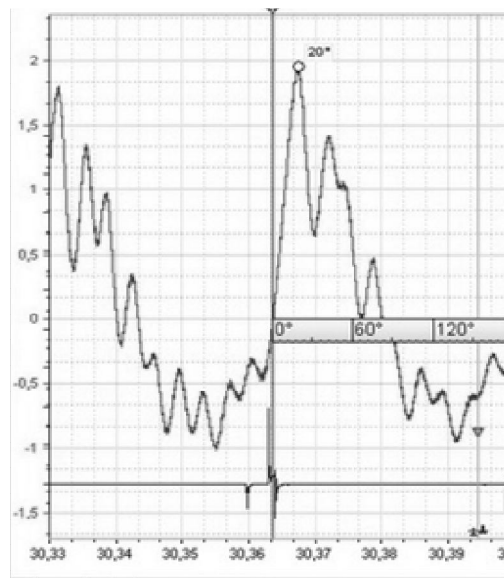


Рисунок 3 – Оциллограмма давления во впускном коллекторе автомобильного двигателя

Так для решения задач исследования характера течения газо-воздушного потока во впускном коллекторе численными методами изначально необходимо знать закон изменения давления во времени. Поэтому получение такой зависимости входе обработки данных позволит значительно уменьшить затраты как на подготовку исходных для моделирования, так и временные затраты на поиск верного решения.

Выводы. Представленный метод аппроксимации в ходе проверки произвольной функцией доказал свою работоспособность, а также подтвердил адекватность и достоверность. Он вполне может быть задействован для поиска аппроксимирующей зависимости при обработке экспериментальных данных периодических процессов, например для нахождения закона изменения давления во впускном коллекторе двигателя внутреннего сгорания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердышев В. И. Аппроксимация функций, сжатие численной информации, приложения / В. И. Бердышев, Л. В. Петрак. – Екатеринбург : УрО РАН, 1999. – 299 с.
2. Косарев В. И. 12 лекций по вычислительной математике (вводный курс) : учеб. пособие для вузов / В. И. Косарев. – М. : Изд-во МФТИ, 2000. – 224 с.
3. Ильин В. П. Численные методы решения задач строительной механики : справ. пособие / В. П. Ильин, В. В. Карпов, А. М. Масленников ; под общ. ред. В. П. Ильина. – Минск : Выш. шк., 1990. – 349 с.



4. Хандрос М. Я. Тригонометрическая аппроксимация дискретных последовательностей. Вычисление естественных спектров / М. Я. Хандрос. – DÜSSELDORF 2012-04-18. – 45 с.

5. Чивилихин С. А. Вычислительные методы в технологиях программирования. Элементы теории и практикум / С. А. Чивилихин. – СПб. : СПб ГУИТМО, 2008. – 108 с.

Швец І.А. МЕТОД АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглянуто та описано метод апроксимації масивів даних, отриманих в ході експериментального дослідження процесів періодичного характеру, який базується на розсіченні графічної залежності періодичного характеру сімейством паралельних прямих. Приведено результати апроксимації для довільної функції та показано можливі області застосування методу, в тому числі при дослідженні газодинамічних процесів в двигуні внутрішнього згорання.

Ключові слова: апроксимація, експериментальні дані, періодичні процеси, гармоніки.

Shvets I.A. METHOD OF APPROXIMATING THE EXPERIMENTAL DATA OF BATCH PROCESSES

And described the method for approximating datasets collected in the pilot study processes periodic nature, based on the dissection of the plot of the periodic nature of the family of parallel lines. Results of approximation for arbitrary functions and the possible applications of the method, including the study of dynamic processes in the internal combustion engine.

Keywords: approximation, the experimental data, batch processes, harmonic.

Статтю прийнято
до редакції 24.11.2013



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДАХ

Бень А.П., Соловей А.С.

Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрены вопросы повышения безопасности выполнения грузовых операций на судах типа Heavy Lift. Предложены подходы к совершенствованию типовой методики выполнения грузовых операций на таких судах путем использования системы поддержки принятия решений, осуществляющей мониторинг и управление рядом параметров судна: количеством балласта и его распределением в балластных танках, углом крена судна, метацентрической высотой, нагрузкой на гак, вылетом стрелы, скоростью ветра, периодом качки. Использование систем поддержки принятия решений судоводителя осуществляющих мониторинг указанных параметров и выработку рекомендаций по проведению погрузо-разгрузочных операций на судах типа Heavy Lift, сможет существенно повысить безопасность процессов перевозки тяжелых негабаритных грузов морем.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, тяжелые негабаритные грузы, специализированные суда Heavy Lift.

Введение. Морские и речные перевозки тяжелых негабаритных грузов на сегодняшний день крайне востребованы ввиду необходимости перевозок специальной, строительной, сельскохозяйственной и прочей техники, больших цистерн, промышленного оборудования для нефтяной и газовой промышленности, ветро- и гидроэнергетики. Для перевозки грузов такого типа активно создаются специализированные суда типа Heavy Lift. Наиболее ответственными, сложными и аварийноопасными этапами перевозки тяжелых негабаритных грузов являются этапы их погрузки и выгрузки на судно. По имеющимся данным [1] большое количество аварийных случаев происходят именно на этих этапах, что обусловлено необходимостью единовременного контроля и управления значительным количеством параметров, влияющих на остойчивость судна.

Актуальность проблемы. Многообразие решаемых судоводителем задач при реализации технологического процесса погрузки тяжелого негабаритного груза, протекающее в общем случае в условиях неопределенности, обуславливает необходимость создания специализированных СППР, позволяющих существенно повысить качество управления процессом погрузки. Такая СППР может быть использована на судне-тяжеловозе в качестве информационно-советующей системы судоводителя, ответственного за осуществление технологического процесса погрузки (старший помощник, капитан судна).

Целью статьи является разработка принципов построения системы поддержки принятия решений для выполнения грузовых операций с негабаритными грузами на специализированных судах.

Анализ последних исследований и публикаций. Решению проблемы обеспечения безопасности грузовых операций на судах типа Heavy Lift посвящено большое количество теоретических и практических разработок [2]. Из анализа представленных работ следует, что повышение безопасности грузовых операций на судах типа Heavy Lift может быть обеспечено в случае наличия комплексных программных средств управления погрузкой/выгрузкой судна. В настоящее время интенсивно развивается разработка соответствующих программных продуктов, наиболее полнофункциональными из которых являются следующие:

1. Грузовая компьютерная программа COLOS (Computer-Loading-System), производитель – DatentechnikRostockGmbH, Германия. Данный программный комплекс создан для предварительной проработки грузовых операций на универсальных судах с



различными типами грузов: специальные (проектные) грузы, контейнеры, насыпной груз. Программа имеет привязку к каждому конкретному судну [3].

2. Seacos MACS3 Loading Computer System, производитель INTERSCHALT maritime systems AG, Германия. Цифровая компьютерная автоматизированная система для транспортных судов, состоит из грузового компьютера и многофункционального программного комплекса, который позволяет просто и быстро определить основные параметры и значения для любых условий погрузки. Программный комплекс выполняет расчет остойчивости и прочности судна, отображает в графическом и цифровом виде результаты для основных параметров погрузки [4].

3. LOCOPIAS грузовая компьютерная программа, производитель SARC BV, Нидерланды. Данная судовая грузовая компьютерная программа используется для получения оптимального варианта погрузки судна с учетом пределов значений для прочности, остойчивости, осадки судна. Программа может быть использована для любого типа судна. В коммерческом варианте поставляется в привязке к конкретному судну [5].

Общим недостатком существующих программных средств является то, что они решают только прямую задачу: по заданной загрузке производится оценка параметров мореходности судна, хотя имеющиеся теоретические разработки и современные компьютерные технологии позволяют разработку программ, способных при заданных допустимых параметрах посадки, остойчивости и общей продольной прочности, а также по предъявленному к перевозке грузу находить оптимальный (или приемлемый) вариант загрузки [6]. Кроме того существующие программные средства, как правило, привязаны к конкретному судну.

Основная часть. Повышение безопасности погрузочных операций на судах Heavy Lift может быть достигнуто путем использования специализированной СППР, обеспечивающей контроль в режиме реального времени следующих параметров, влияющих на остойчивость судна:

- масса груза и расположение его центра тяжести;
- масса (объем) балласта, необходимого для компенсирования массы груза при погрузке/выгрузке;
- поперечная метацентрическая высота GM (расчет этого параметра должен производиться как минимум для 3х этапов погрузки/выгрузки – GM начальная, GM при отрыве груза, GM при пересечении линии борта судна, GM при касании грузом палубы;
- угол крена (учет этого параметра должен производиться на всем протяжении грузовой операции, и не должен превышать, 3^0-5^0);
- подъемный угол (Hoisting angle) – угол отстояния линии подъемного троса от вертикали, значение этого параметра должно быть максимально сведено к нулю;
- угол наклона стрелы (Luffing angle) – от величины этого параметра зависит безопасная рабочая нагрузка на стрелу крана (SWL), а соответственно и лимит нагрузки на гак стрелы [7].

Контроль за изменением указанных параметров судна и погрузочных механизмов необходимо осуществлять в следующей последовательности:

1. Выполнить необходимые действия по обеспечению начальной остойчивости судна перед началом грузовых операций. Принять необходимое количество балласта в диптанки. При этом необходимо избегать свободных поверхностей в балластных танках:

- если возможно переместить понтоны твиндека в нижнюю позицию в трюме;
- принять необходимое количество балласта в креновые танки (в случае если погрузка осуществляется с левого борта судна, как правило, танки левого борта заполняются полностью, танки правого борта оставляют пустыми).

2. Проводится расчет поперечной метацентрической высоты судна:

$$GM=KM-KG,$$



где КМ – возвышение метацентра судна над килем; КG – возвышение центра тяжести судна над килем.

3. Осуществляется расчет количество балласта в креновых танках, необходимого для компенсирования крена судна при подъеме и перемещении на судно единицы груза в соответствии с формулой:

$$S = \frac{(P+Q+R) \cdot \left(\frac{B}{2} + a\right)}{S_y}$$

где P – масса единицы груза; Q – креновая масса стрелы судового крана; R – масса оснащения для подъема; B – теоретическая расчетная ширина судна; a – максимальный вылет стрелы при погрузке единицы груза; S_y – расстояние между центрами тяжести креновых танков правого и левого бортов судна.

4. После закрепления подъемных строп в точках крепления, убедиться, что подъемный угол (Hoisting angle) максимально сведен к нулю.

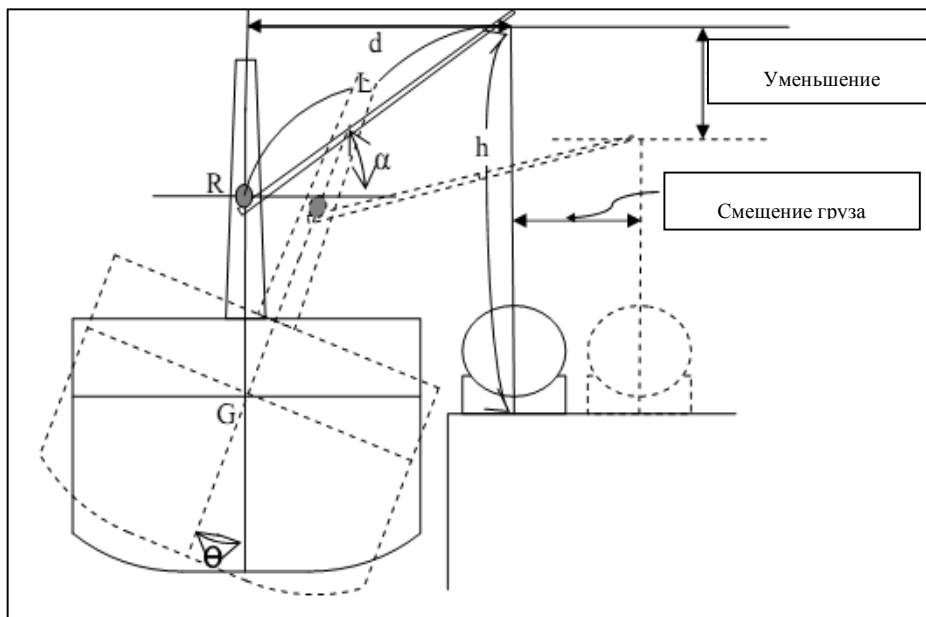


Рисунок 1 – Зависимость угла крена судна от перемещения груза

5. Пошаговыми действиями, увеличивая постепенно нагрузку на гак крана и компенсируя появляющийся крен судна с помощью креновых балластных танков (перемещая балласт из креновых танков с левого на правый борт), поднять груз. Постоянно необходимо вести контроль крена судна и удерживать его в допустимых пределах (не более 3-5°).

$$\text{tg}\theta = \frac{w \cdot L \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta}{(W+w) \cdot GM - w \cdot (RG + L \cdot \sin\alpha)}$$

где W – водоизмещение судна; w – масса единицы груза; α – угол наклона стрелы; β – угол вылета стрелы; L – длина стрелы; RG – расстояние между центром тяжести судна и точкой крепления стрелы.

6. Осуществление отрыва груза от причала с помощью балластной системы.

7. Пошаговыми действиями, поворотом стрелы крана осуществляется перемещение груза в заданную позицию над местом погрузки. Перемещения груза вызывают крен судна, который необходимо компенсировать перемещением балласта в креновых балластных танках с правого на левый борт.

8. Перемещение (по вертикали вниз) груза в необходимую позицию в трюме. После касания груза палубы трюма необходимо постепенно сбрасывать нагрузку на гак стрелы крана, контролируя этот процесс с помощью индикатора нагрузки в кабине крана.

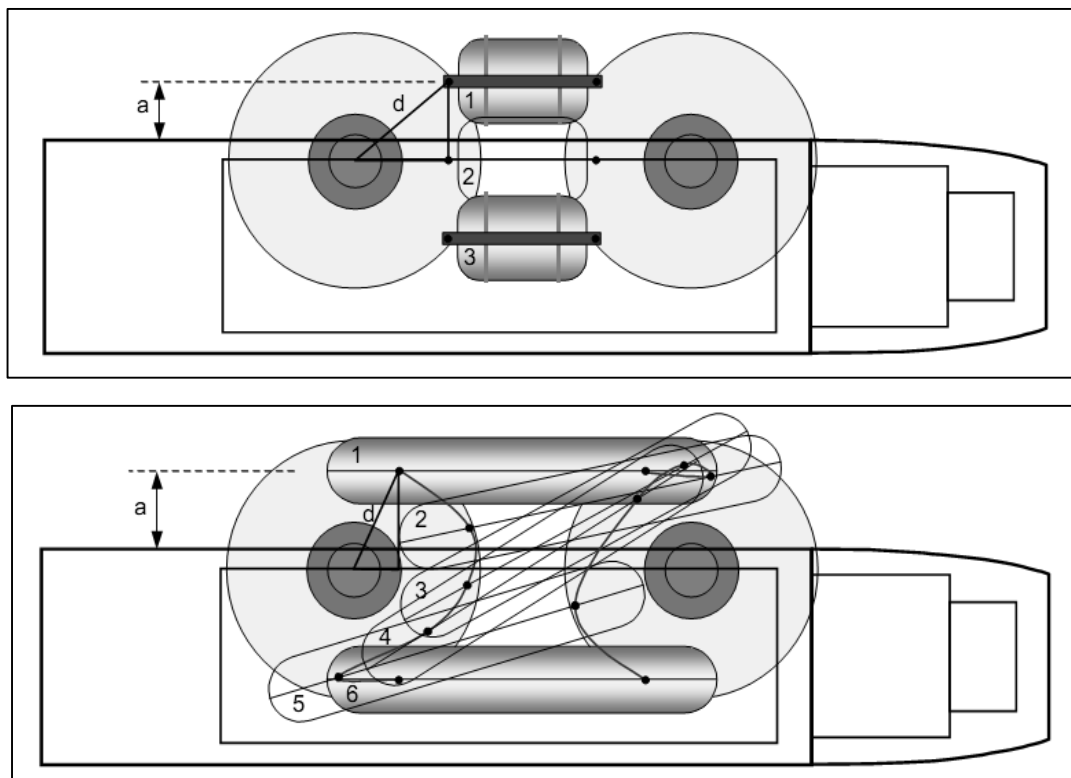


Рисунок 2 – Схема перемещения груза

1, 2, 3, 4, 5, 6 – положения груза на различных этапах погрузки; а – расстояние между грузом и бортом судна; d – вылет стрелы судового крана

Выводы. Применение СППР при операциях с тяжелыми негабаритными грузами на морском транспорте позволяет существенно повысить безопасность выполнения погрузо-разгрузочных операций с такими грузами и сократить время на их выполнение. Важным условием эффективного функционирования таких СППР является необходимость постоянного контроля динамики изменения угла крена судна, метацентрической высоты, массы балласта, подъемного угла и угла наклона стрелы крана.

Перспективным направлением создания СППР по управлению операциями с негабаритными грузами является разработка специализированных программ, способных при заданных допустимых параметрах посадки, устойчивости и общей продольной прочности, находить оптимальный (или приемлемый) вариант загрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагущенко Л. Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко, С. И. Заичко. – Одесса : ФЕНИКС, 2005. – 272 с.
2. User Manual for the loading computer COLOS (Computer-Loading-System).
3. Loading Computer System seacos MACS3 Version NET 1.1 Crane Operation Module Manual // INTERSCHALT maritime systems AG. – Wilhelmstrasse 7-9-24937. – Flensburg.
4. Locopias loading computer software manual // SARC BV Eikenlaan 3. – The Netherlands, Bussum.
5. Николаева Л. Л. Разработка метода оперативной оценки критериев мореходности судна / Л. Л. Николаева, А. В. Гайченя, М. Ю. Соколов // Судовождение. – 2009. – № 16. – С. 132-133.
6. IMO Code of Safe Practice for Cargo Securing and Stowing. – 2003.



7. IMO Resolution A.749 (18) as amended by Resolution MSC.75(69). – Code on Intact Stability.
8. Noble Denton document 0027/ND – Guidelines for Marine Lifting Operations.

Бень А.П., Соловей О.С. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВАЖКИМИ Й НЕГАБАРИТНИМИ ВАНТАЖАМИ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СУДНАХ

У статті розглянуто питання підвищення безпеки виконання вантажних операцій на судах типу Heavy Lift. Запропоновані підходи до вдосконалення типової методики виконання вантажних операцій на таких судах шляхом використання системи підтримки прийняття рішень, що здійснює моніторинг та керування низкою параметрів судна: кількістю баласту та його розподілом у баластних цистернах, кутом крену судна, метацентричною висотою, навантаженням на гак, вильотом стріли, швидкістю вітру, періодом хитавиці. Використання систем підтримки прийняття рішень судоводія, що здійснюють моніторинг зазначених параметрів і вироблення рекомендацій з проведення вантажно-розвантажувальних операцій на судах типу Heavy Lift, зможе суттєво підвищити безпеку процесів перевезення важких негабаритних вантажів морем.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, важкі негабаритні вантажі, спеціалізовані судна Heavy Lift.

Ben A.P., Solovey O.S. WAYS OF SAFETY IMPROVEMENT OF LOADING OPERATIONS WITH HEAVY LIFT CARGO ON BOARD SPECIALIZED VESSELS

The article examines the issues of safety improvement of loading operations on board Heavy Lift vessels. Authors suggested the approaches to improve standard procedure of loading operations on such vessels by using decision support system. This system executes monitoring and management of a number of vessel characteristics: quantity of ballast and its distribution in ballast tanks, heeling angle, metacentric height, hook load, boom outreach, windspeed and rolling period. Application of the decision support system for monitoring of the mentioned characteristics and working out guidelines on loading and discharge operations on board Heavy Lift vessels can considerably improve the safety of heavy lift transportation by sea.

Keywords: decision support system, heavy lift cargo, heavy lift vessels.

Статтю прийнято
до редакції 22.11.2013



ВИПАДКОВА СКЛАДОВА ПОКАЗНИКА НЕСТАЦІОНАРНОГО СТОХАСТИЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНОГО ОПЕРАТОРА

Борсук С.П.

Національний авіаційний університет, м. Київ

Розглянуто питання підтримки професійної підготовки авіаційних операторів переднього краю на високому рівні, вплив цієї підготовки на безпеку польотів та можливість використання стохастичного опису процесу підготовки у поєднанні із експоненційним поданням рівня опанування оператором знань, навиків та вмій. Розглянуто показники процесу підготовки авіаційного оператора, виділено стохастичні та детерміновані показники. Наведено приклади результатів, отриманих оператором та два способи урахування цих результатів із їх перевагами та недоліками. Описані моменти вибірки від першого до четвертого порядку, застосовані до результатів оператора. Наведено висновки та рекомендації щодо подальшої роботи.

Ключові слова: безпека польотів, людський чинник, рівень професійної підготовки авіаційних операторів, стохастичні моделі підготовки, особисті властивості оператора, моменти вибірки.

Вступ. Як відомо, безпека польотів (БП) залежить від багатьох чинників, серед яких є і цілком об'єктивні. Скажімо, неможливо створити абсолютно надійне (безвідмовне) повітряне судно (ПС) – тоді воно просто не літатиме. Так само принципово неможливо добитися і безпомилкових дій авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (пілотів, авіадиспетчерів): людині по її психологічній суті властиво помилятися [1]. У зв'язку з цим перед наукою і практикою стоїть перманентно важливе завдання виключення або максимально можливого зниження числа випадків як відмов авіаційної техніки (АТ) у польоті чи відмов радіотехнічних засобів (РТЗ) управління повітряним рухом (УПР), так і небезпечних помилок АО. Саме тому в рекомендаціях ІКАО «безпека все більшою мірою розглядається як результат управління деякими організаційними процесами, що мають на своїй меті тримати під контролем чинники ризику для безпеки польотів, що виникають як наслідок чинників небезпеки в експлуатаційному контексті» [2].

Зрозуміло, що ефективне додання наслідків відмов АТ та РТЗ УПР можуть забезпечити висококваліфіковані АО. Тому процес їх професійної підготовки (ПП) вимагає постійної уваги та вдосконалення, особливо шляхом моделювання [3]. Це пов'язано з тим, що АО керують складними ергатичними системами, із постійним потенційним ризиком виникнення авіаційних пригод (АП), небезпечних випадків або навіть катастроф. Причому сам процес ПП спирається, з одного боку, на технології, що застосовуються при розробці тренажерних комплексів та навчальних систем, а, з іншого, – на особисті властивості АО. Виявлення та аналіз цих властивостей є актуальним для підвищення ефективності ПП АО.

Аналіз досліджень і публікацій. Стохастичні моделі ПП достатньо відомі [4-6]. Їх особливістю є те, що в абсолютній більшості випадків крива, яка описує ефективність тренування, тобто зростання кількості опанованих знань, вмій та навичок (ЗВН) із часом, має експоненційну природу (рис. 1).

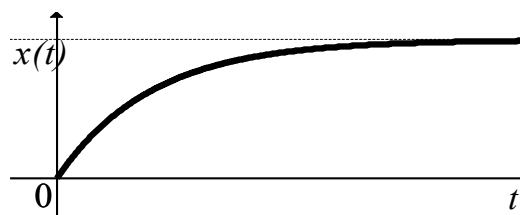


Рисунок 1 – Ідеальна крива підготовки

Недоліки такого роду моделей полягають у тому, що у реальному процесі



підготовки показник навченості завжди містить непередбачувану складову, зумовлену особистими властивостями оператора, його досвідом, емоційним станом та іншими параметрами, які можна віднести до ергономічних [7]. І ця складова, як правило, нівелюється в процесі апроксимації емпіричних даних ПП. Таким чином, наведена на рис. 1 функція демонструє тільки загальний вигляд зміни показника навченості для кожного АО, а її значення у кожний окремий момент часу буде відрізнятися від інших значень. Одним із засобів формального опису таких закономірностей є стохастичні стаціонарні та нестаціонарні моделі [8-10].

Показник підготовленості $x(t)$ може бути уявленим як величина, агрегована двома складовими різної природи: стохастичної та детермінованої, чому зазвичай не приділяється уваги, що створює певні «білі плями» у безперервному ланцюгу досліджень і вдосконалення процесів ПП АО.

Постановка задачі. Таким чином, із вищенаведеного витікає, що моделювання процесу опанування та відтворення ЗВН нібито достатньо вивчене, однак відомі стохастичні методи моделювання не дозволяють провести глибокий аналіз складових елементів показника рівня ПП АО. Внаслідок цього не розрізняються суто стохастичні та детерміновані складові показника ПП, не проводиться аналіз їх взаємодії. Дослідження цих складових, зокрема стохастичних, дозволить розробити рекомендації щодо ефективного планування процесу ПП як невеликих груп АО (льотних екіпажів, диспетчерських змін тощо), так і кожного оператора окремо, та навіть щодо впливу на саму систему підготовки. Це питання завжди є актуальним, оскільки технічно тренажери та системи ПП постійно вимагають нових методологічних та алгоритмічних розробок. Усунення наведених вад в моделюванні стохастичної складової ПП АО і є **метою** цієї статті.

Дослідження стохастичного процесу опанування ЗВН. З графіку на рис. 1 видно, що процес росту рівня опанування ЗВН оператором є стохастичним нестаціонарним. Нестационарні стохастичні процеси можуть бути частково апроксимовані стаціонарними [11], що дозволяє опрацьовувати отримані дані, спираючись на їх показники. У досліджуваному випадку ми знаємо, що в ідеальному випадку модель ПП описується експонентою, отже ми в змозі перейти від нестаціонарної до стаціонарної моделі шляхом декомпозиції суцільної кривої на частини, та вивчення кожної частини окремо.

Показники стаціонарного стохастичного процесу можна подати у вигляді [11-13]:

$$z_t = \mu + \Delta_t,$$

де z_t – показник ефективності процесу ПП; μ – середній рівень (математичне очікування нестаціонарного по середньому випадкового процесу z_t), що показує основну тенденцію-тренд формування ЗВН в АО; Δ_t – випадкове відхилення процесу у час t .

В ідеальному випадку при $\mu = 0$ маємо:

$$\sum_{t \rightarrow \infty} \Delta_t = 0.$$

Якщо прийняти, що функція $x(t)$ дійсно відповідає ідеальній зростаючій експоненті (рис. 1), то вводячи нормований показник процесу $\hat{z}_t = \frac{z_t}{x(t)}$, отримуємо такий опис стохастичного процесу надбання ЗВН із нормованим показником, який набуває вигляду стаціонарного:

$$\hat{z}_t = \frac{\mu}{x(t)} + \frac{\Delta_t}{x(t)}.$$

Оскільки μ є трендом стохастичного процесу, в нашій інтерпретації він дорівнює



детермінованій складовій $\mu = x(t)$, а показник нормованого нестационарного стохастичного процесу у такому випадку дорівнює:

$$\hat{z}_t = 1 + \frac{\Delta_t}{x(t)},$$

тобто описує нестационарний стохастичний процес відносно середнього рівня 1.

АО демонструють рівень опанування ЗВН, що описується ідеальним експоненційним законом, коли $\mu = x(t)$. Проте в реальності вони мають особисті риси [14], що впливають на значення тренду μ . Позначимо ці риси як випадкове відхилення процесу Δ_t , яке агрегує складові: $\Delta_t = \Delta_{tc} + \Delta_{rv}$. Перша з них, Δ_{tc} – це показник прояву постійних особистих властивостей оператора, який пояснює трендові відхилення, зумовлені саме особистими здібностями оператора. Друга складова, Δ_{rv} – це дійсне відхилення випадкової величини. У такому випадку показник нормованого стаціонарного стохастичного процесу приймає вигляд:

$$\hat{z}_t = 1 + \frac{\Delta_{tc}}{x(t)} + \frac{\Delta_{rv}}{x(t)}.$$

Три складові графіків нормованого та ненормованого показників процесу підготовки, що були нами розглянуті, наочно ілюструє рис. 2.

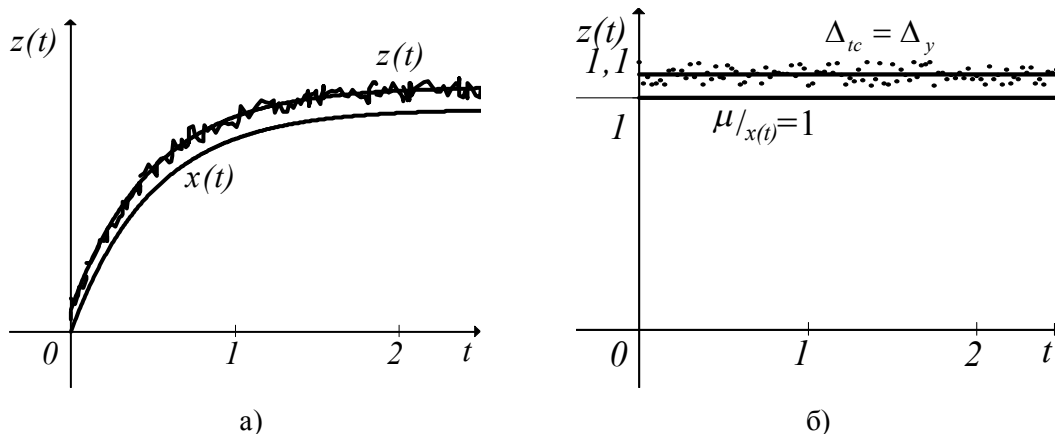


Рисунок 2 – Формування професійних ЗВН авіаційних операторів: а) ненормований процес, б) нормований процес

Випадкова складова нормованого стаціонарного стохастичного процесу має декілька властивостей, які доцільно розглянути та проаналізувати. На основі такого аналізу можна буде зробити висновки щодо несталіх індивідуальних властивостей АО, а в подальшому і про його особисті персоніфіковані рекомендації до ПП.

Отже, нехай кожний результат ПП відображається на графіку у вигляді точки і відповідає кількісній оцінці результатів виконаного слухачем контрольного тренувального завдання. Ця оцінка виставляється за абсолютною шкалою, яка має розмірність від 0 балів до встановленого при її розробці максимального значення. Дійсно, не важливо, чи було завдання дано у вигляді контрольних запитань тестового типу, тренувальних сценаріїв, або у будь-якому іншому вигляді. Єдине, що важливе, – це подання усіх завдань у єдиному форматі та за єдиними правилами для запобігання відхилень, пов'язаних із форматкуванням. При цьому не викликає труднощів навіть застосування якісних бальних оцінок, оскільки відомі процедури їх фазифікації чи застосування шкали бажаності Харингтона [15; 16].

Результати виконання АО кожного завдання оцінюватимуться у певній кількості балів, яка звичайно буде мати межі допуску. Нехай кількість балів m може приймати значення у межах $[0, M]$, де M – це максимально можлива оцінка. Також, нехай існує



таке значення t^* , яке є граничним (мінімально прийнятним) для зарахування виконаного контрольного завдання. Усі результати $t < t^*$ вважатимуться незадовільними, а відповідні контрольні завдання вимагатимуть повторного виконання. Оскільки діапазон оцінювання містить дискретні значення, то для них можна побудувати звичайну таблицю частот появи кожного значення балів із отриманих оператором.

Розглянемо відповідний гіпотетичний приклад результатів випробувань АО (табл. 1). Здійснити їх аналіз можна в два способи. Перший полягає у простому підрахунку отриманих балів по визначених інтервалах. При цьому не виникає потреби у проведенні яких-небудь додаткових обчислень, тому досліджуються отримані емпіричні частоти.

Таблиця 1 – Статистичні дані гіпотетичних випробувань

Результат випробувань	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Частота повторень	4	7	8	8	11	15	17	17	16
Результат випробувань	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Частота повторень	15	11	9	6	5	4	3	1	1

Нехай $t^* = 23$. Тоді від кожного результату випробувань оператора можна відняти t^* без змістовних змін (табл. 2). Гістограму організованих в такий спосіб даних наведено на рис. 3.

Таблиця 2 – Статистичні дані випробувань, подані у перший спосіб

Результат випробувань	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота повторень	4	7	8	8	11	15	17	17	16
Результат випробувань	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Частота повторень	15	11	9	6	5	4	3	1	1

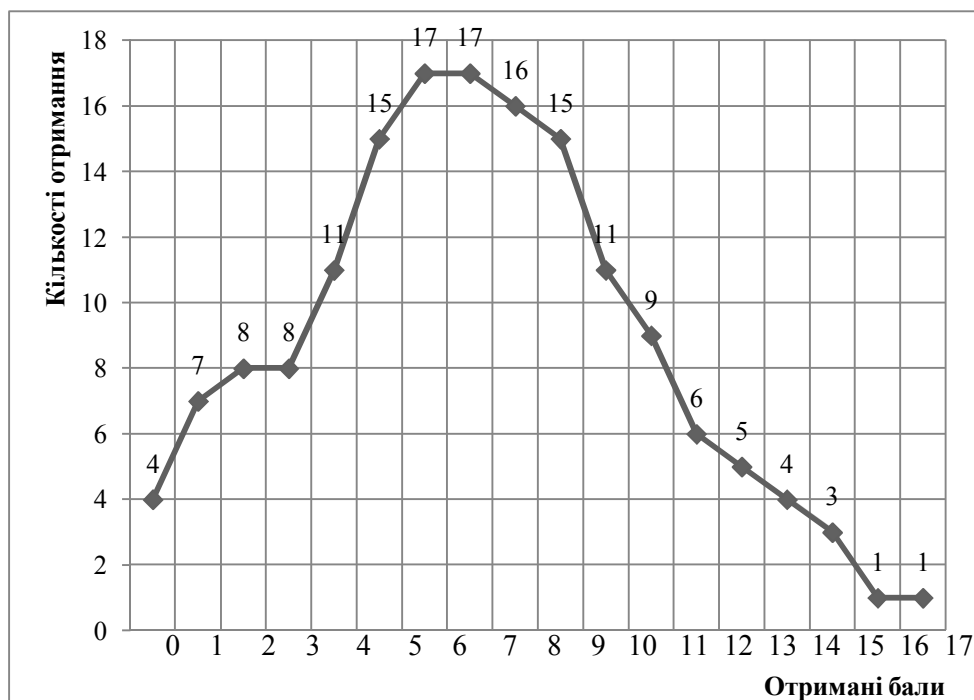


Рисунок 3 – Гістограма гіпотетичних статистичних даних випробувань, що подані у перший спосіб



Отже, при першому способі подання результатів випробувань слід звернути увагу на форму графіку, яка наближається до форми графіку нормального розподілу випадкової величини. Тому найбільші частоти результатів випробувань знаходяться по центру можливого діапазону. Це означає, що оператор опанував певний обсяг ЗВН, він спроможний відтворювати його на обчисленому середньому рівні із деякими відхиленнями в сторону як менших так і більших успіхів.

Якщо графік постійно зростає, то очевидно, що при задовільному рівні постійних особистих властивостей оператора кількість відхилень його результатів обернено пропорційна їх якості. Якщо графік є постійно спадаючим, то очевидно, що при задовільному рівні постійних особистих властивостей оператора кількість відхилень його результатів прямо пропорційна їх якості.

Другим способом ілюстрації й аналізу отриманих результатів полягає у знаходженні середнього арифметичного результатів випробувань, яке приймається за новий нуль. Усі інші обчислення вже йдуть від знайденого середнього значення. Оскільки середнє характеризує усю сукупність отриманих результатів, його можна вважати значенням показника постійних особистих властивостей оператора. Тоді, віднявши від середнього бали буде отримано більше наочної інформації про особисті властивості оператора. Отримані результати матимуть не тільки значення, але й знак, що дозволить провести більш глибокий аналіз тенденцій продемонстрованого рівня ЗВН оператора. Приклад застосування другого способу для подання результатів випробувань наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Статистичні дані випробувань, перетворені у другий спосіб

Результат випробувань	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
Частота	4	7	8	8	11	15	17	17	16
Результат випробувань	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8
Частота	15	11	9	6	5	4	3	1	1

У прикладі наведено довільний ряд балів, отриманих оператором, при мінімальній задовільній кількості у 23 бали, значенні показника постійних особистих властивостей оператора у 32 бали та максимального результату у 40 балів. Гістограму отриманих даних наведено на рис. 4.

При другому способі подання результатів випробувань аналізу підлягають, по-перше, сумі балів по обидві сторони від нульового рівня. Дійсно, обчисливши кількості балів ліворуч p_l та праворуч p_r від нуля, їх порівняння дає нам корисну інформацію. Якщо сума ліворуч набагато менша за суму праворуч ($p_l \ll p_r$), то можна зробити висновки про схильність оператора демонструвати результати у сторону кращої оцінки. Якщо сума ліворуч набагато більша за суму праворуч ($p_l \gg p_r$), то можна зробити висновок про недостатню професійну підготовленість оператора. Якщо сума ліворуч приблизно дорівнює сумі праворуч ($p_l \approx p_r$), то можна зробити висновки про відсутність чітко вираженої тенденції.

На прикладі вищенаведеної послідовності балів обрахуємо p_l та p_r . $p_l = 108$, $p_r = 61$, отже $p_l \gg p_r$ і оператор більш схильний до невеликих помилок у процесі виконання контрольних завдань. У результаті отриманих даних можна переглянути персональний графік тренування оператора, внести зміни у кількість та якість отриманих ним контрольних вправ, або інші зміни до розкладу його роботи.

Слід звернути увагу на наявність піків у графіку. У наведеному прикладі графік приблизно відповідає графіку нормального розподілу випадкової величини, має єдине пікове значення та не має точок перегину. Наведемо інший приклад довільної послідовності балів у табл. 4.

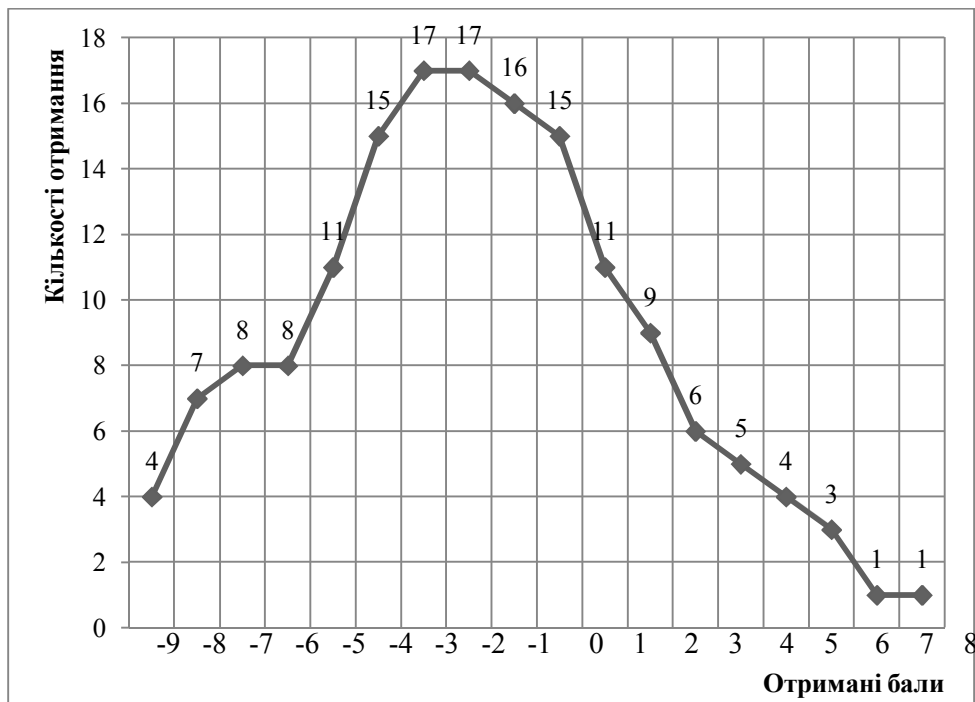


Рисунок 4 – Гістограма статистичних даних випробувань, що перетворені у другий спосіб

Таблиця 4 – Статистичні дані із піками, подані у другий спосіб

<i>Результат випробувань</i>	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
<i>Частота</i>	4	7	13	8	11	15	17	17	16
<i>Результат випробувань</i>	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8
<i>Частота</i>	15	11	9	6	5	4	9	1	1

Вже по даних, наведених у таблиці можна бачити, що для частоти балів на рівні -7 та $+6$ наявні піки (рис. 5). Висновки з наявності такого піку можуть бути різними, оскільки самі по собі ці піки не дають ніякої додаткової глобальної інформації про процес підготовки та контролю знань оператора. Тим не менш, як припущення, можна прийняти за причину виникнення цих піків унікальний особистий досвід оператора, або помилки у організаційно-методичній підготовці навчальної програми.

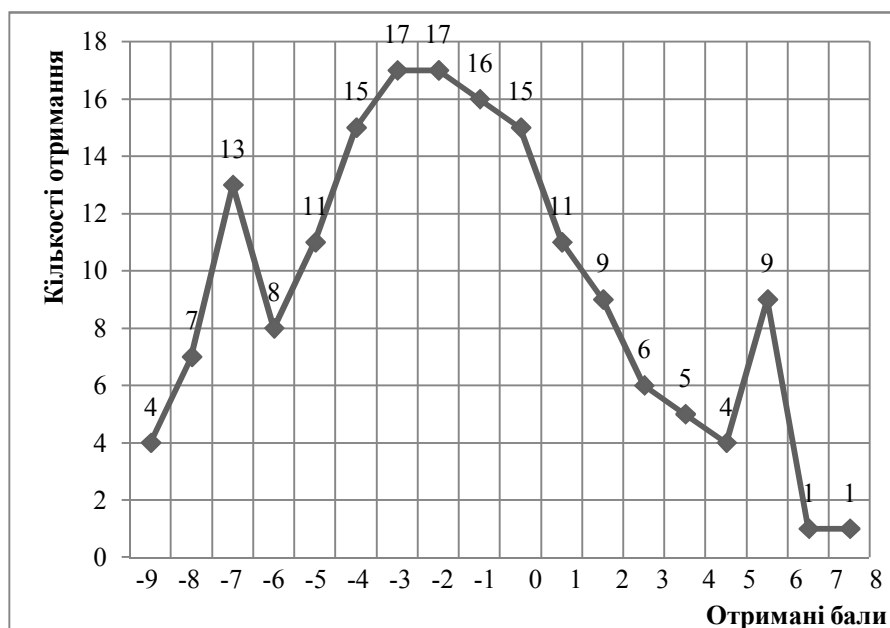


Рисунок 5 – Статистичні дані із піками, організовані у другий спосіб



У випадку стандартного надання контрольних завдань різних типів, при порівнянні пропорцій типів завдань та кількостей помилок можна виявити схильність оператора до правильного/неправильного вирішення завдань за певними тренувальними завданнями, або його понижено/підвищену здатність до виконання (або навіть сприйняття) завдань певних типів. Усе це має бути додатково перевірено шляхом порівняння успіхів АО із іншими операторами, що виконували такі ж самі контрольні завдання, порівняння його поточних успіхів із попередніми, тощо.

Як витікає з даних праці в процесі ПП і діяльності АО послідовно проходять чотири стадії, що ілюструє рис. 6. [9, 3].

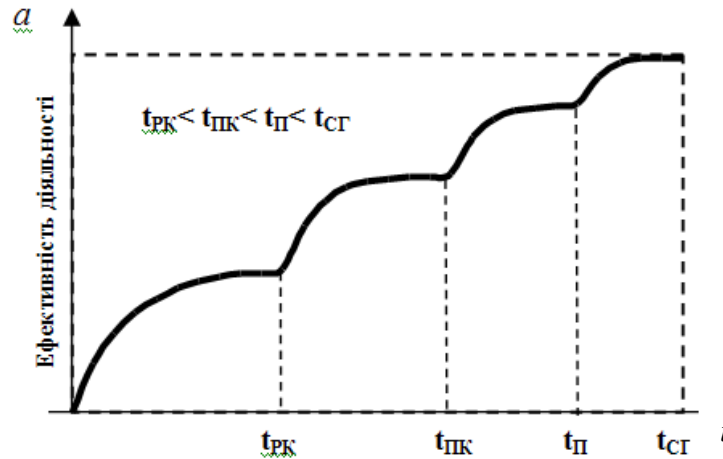


Рисунок 6 – Трансформація професійних ЗВН в процесі тренувань: t_{PK} – час, потрібний для досягнення рівня праці у режимі компенсації; t_{PK} – переслідування з компенсацією; $t_{П}$ – оптимального передбачення; t_{CT} – провіщення (синхронного генератора)

Урахування та порівняння математичного очікування нормованого стаціонарного стохастичного процесу ПП викликає труднощі, оскільки цей процес є унікальним для кожного з операторів, та неможна визначити єдине математичне очікування таке, щоб було задовільним для усіх чотирьох режимів. Пошук узагальненого показника для чотирьох режимів та їх порівняння також викликає складності, пов'язані із опрацюваними даними. За визначенням, отримані послідовності представляють дійсне відхилення випадкової величини Δ_{iv} . Якщо припустити, що середнє арифметичне формування ЗВН в режимі компенсації a_1 не дорівнює нулю, то можна зробити висновок про зсув середнього арифметичного дійсного відхилення випадкової величини відносно показника постійних особистих властивостей оператора Δ_{ic} . Тобто, у суто стохастичного показника з'явиться детермінована складова. Але за визначенням детерміновану складову у повному обсязі представляє Δ_{ic} , що означає необхідність переносу a_1 до складу Δ_{ic} , і призначення $a_1 = 0$. Це справедливо для кожного із чотирьох режимів. Можливе порівняння параметрів a_1, a_2, a_3, a_4 у сукупності із порівнянням динаміки зміни Δ_{ic} у різних режимах, але таке комплексне порівняння вимаже додаткових досліджень, які виходять за межі цієї статті.

Робота із моментом другого порядку, тобто дисперсією $D[X] = M[(X - m_x)^2]$, вже дозволяє робити деякі висновки щодо роботи оператора у різних режимах. Обчисливши чотири дисперсії для чотирьох режимів роботи оператора D_1, D_2, D_3, D_4 можна порівняти їх та зробити висновки. Якщо $D_i < D_{i+1}$ для $\forall i$, тобто дисперсія зростає із переходом до наступного режиму, то можна зробити висновок про збільшення випадкової складової у показниках ПП оператора. Це може свідчити про те, що із зміною режиму дії оператора стають угадуваннями, що неприпустиме для операторів авіаційної галузі. Якщо $D_i > D_{i+1}$



для $\forall i$, тобто дисперсія зменшується із переходом до наступного режиму, то оператор припускається меншої кількості помилок із зміною режиму. Це свідчить про його зростаючу впевненість у знаннях із зміною режиму. Проміжні випадки, коли одночасно існують випадки $D_i > D_{i+1}$ та $D_i < D_{i+1}$ у будь-якій комбінації потребують додаткових досліджень та аналізу.

Момент третього порядку називається асиметрією $As[X] = \frac{M[(X - m_x)^3]}{D\sqrt{D}}$. Якщо оператор схильний до відхилень у меншу сторону то $As[X] < 0$, якщо навпаки, то $As[X] > 0$. Динаміка зміни значень асиметрії із зміною режиму процесу ПП оператора As_1, As_2, As_3, As_4 дозволяє прослідкувати за тенденцією формування ЗВН, тобто йдеться про більшу кількість високих позитивних результатів ПП, чи меншу.

Четвертий момент, ексцес $Ex[X] = \frac{M[(X - m_x)^4]}{D}$, дозволяє визначити гостроту вершини графіку розподілу (звичайно мова йде про випадок, коли вершина одна). Гостроверхий графік свідчить про стабільність у роботі оператора. Плоска вершина свідчить про наявність у оператора схильності до помилок. Більш детальні висновки вимагають комплексного аналізу ексцесу із значеннями Δ_{ic} та Δ_{iv} .

Висновки. Запропонований спосіб розподілу показників успішності ПП оператора на стохастичні та детерміновані складові дозволяє провести більш детальний аналіз його особливої діяльності, так і аналіз системи у якій оператор проходить ПП. У результаті теоретичного аналізу випадкової складової нормованого нестационарного стохастичного процесу, (уявленого, як стаціонарний) ПП АО запропоновано два способи подання результатів випробувань АО та низка подальших рекомендацій для внесення змін у процес ПП.

Враховуючи отримані та подані у цій статті наукові результати, подальші дослідження доцільно проводити у напрямках можливих способів обчислення значення показника постійних особистих властивостей АО, доповнення проведеного аналізу отриманими способами, проведення досліджень щодо аналізу діяльності оператора у невеликій групі (льотному екіпажі чи диспетчерській зміні).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрелков Ю. К. Инженерная и профессиональная психология : учеб. пособ. / Ю. К. Стрелков. – М. : Издательский центр «Академия» ; Высшая школа, 2001. – 360 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2009.
3. Рева А. Н. Сплайн-модель формирования профессиональных навыков у авиационных операторов / А. Н. Рева, С. П. Борсук, Б. М. Мирзоев, В. В. Камышин // Elmi məstüələr : Jurnal Milli Aviasiya Akademi-yasinin. – Bakı, unvar- mart 2013. – Cild.15. – № 1. – С.89-97.
4. Буш Р. Стохастические модели обучаемости / Р. Буш, Ф. Мостеллер. – М. : Физматгиз, 1962. – 483 с.
5. Зараковский Г. М. Введение в эргономику / Г. М. Зараковский, Б. А. Королев, В. И. Медведев, П. Я. Шлаен ; под ред. В. П. Зинченко. – М. : Советскоерадио, 1974. – 352 с.
6. Новиков Д. А. Закономерности итеративного научения / Д. А. Новиков. – М. : ИПУ РАН, 1998.
7. Эргономика : учебник / Под ред. А. А. Крылова, Г. В. Суходольского. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та. 1988. – 184 с.
8. Адомиан Дж. Стохастические системы : научное издание / Дж. Адомиан. – М. : Мир, 1987. – 376 с.



9. Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление: пер. с англ. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; под ред. В. Ф. Писаренко. – М. : Мир, 1974, кн. 1. – 406 с.
10. Гардинер К. В. Стохастические методы в естественных науках / К. В. Гардинер. – М. : Мир, 1986. – 526 с.
11. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
12. Шеффе Г. Дисперсионный анализ : пер. с англ. / Г. Шеффе. – М. : Наука, 1980. – 512 с.
13. Прохоров С. А. Структурно-спектральный анализ случайных процессов / С. А. Прохоров, В. В. Графкин. – Самара : СНЦ РАН, 2010. – 128 с.
14. Рева О. М. Досвід ІКАО і провідних авіакомпаній світу щодо врахування людського фактору та індивідуалізації професійної підготовки льотного персоналу / О. М. Рева, Г. О. Рева, А. А. Чабак // Проблеми освіти : наук.-метод. зб. – Вип. 34. – К. : НМЦ ВО МОН України, 2003. – С. 56-71.
15. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 278 с.
16. Камишин В. В. Процедура фазифікації / дефазифікації балів шкал оцінювання / В. В. Камишин, О. М. Рева, Л. М. Макаренко, О. М. Медведенко // Електроніка та системи управління : науковий журнал. – К. : НАУ, 2012. – № 3 (33). – С. 53-62.
17. Гласс Дж. Статистические методы в педагогике и психологии / Дж. Гласс, Дж. Стэнли. – М. : Прогресс, 1976. – 496 с.

Борсук С.П. СЛУЧАЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПОКАЗАТЕЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННОГО ОПЕРАТОРА

Рассмотрен вопрос поддержки профессиональной подготовки авиационных операторов переднего края на высоком уровне, влияние этой подготовки на безопасность полётов и возможность использования стохастического описания процесса подготовки совместно с экспоненциальной подачей уровня усвоения оператором знаний, навыков и умений. Рассмотрены показатели процесса подготовки авиационного оператора, выделены стохастические и детерминированные показатели. Приведены примеры результатов, полученных оператором и два способа учёта этих результатов с их преимуществами и недостатками. Описаны моменты выборки от первого до четвёртого порядков, применённые к результатам оператора. Приведены выводы и рекомендации относительно дальнейшей работы.

Ключевые слова: безопасность полётов, человеческий фактор, уровень профессиональной подготовки авиационных операторов, стохастические модели подготовки, личные особенности оператора, моменты выборки.

Borsuk S.P. RANDOM COMPONENT OF AVIATION OPERATOR NON-STATIONARY STOCHASTIC PROFESSIONAL TRAINING PROCESS INDEX

Question of keeping high level of first-line aviation operator professional training process is examined along with influence of this training on the flight safety and capability of using stochastic description of this training process in complex with operator's mastered knowledge, skills and abilities level exponential presentation. Aviation operator training process indexes are examined, with highlighting stochastic and determined ones. Examples of operator results are given with two ways of presenting those results with their advantages and disadvantages. Statistic sample moments from first up to fourth are used to analyze operator's results. Conclusions and further work recommendations are given.

Keywords: flight safety, human factor, aviation operators professional training level, stochastic training models, personal operator's peculiarities, statistic sample moments.

Статтю прийнято
до редакції 18.10.2013



ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Величко Ю.И.

Херсонский национальный технический университет

В работе изложена модель управления графическим пользовательским интерфейсом как сложным объектом. Интерфейс представлен в виде набора элементов с некоторыми свойствами расположенными в определенном порядке. Управление состоянием интерфейса предложено реализовать на основании целей пользователей с помощью функционального модуля. Реализация предложенной модели поможет создать универсальную систему адаптации пользовательского интерфейса.

Ключевые слова: интерфейс, модель системы управления, система адапции.

Введение. Для повышения производительности работы в системе «человек – компьютер» в разные периоды развития вычислительной техники перед инженерами ставились специфические задачи по улучшению средств взаимодействия. На сегодняшний день существуют устройства обеспечивающие взаимодействие между человеком и компьютером, функционирование которых базируется на распознавании речи и движений человека, или даже на распознавании паттернов мозговых волн. При этом способы отображения информации за последние годы практически не претерпели изменений. Основным устройством вывода остается экран устройства, а основным средством визуализации – графический пользовательский интерфейс (ГПИ). Несомненно, качество ГПИ растет с каждым годом: функциональные возможности аппаратного обеспечения позволяют отображать анимированную графику высокого качества, а исследования в области эргономики, дизайна и инженерной психологии предоставляют информацию о методах создания качественных, эргономичных и «дружелюбных» интерфейсов. Но не смотря на это остается большая проблема в области проектирования ГПИ связанная с созданием интеллектуальных интерфейсов способных подстраиваться (адаптироваться) под конкретного пользователя. Основной проблемой при решении этой задачи является отсутствие универсальной модели системы управления не зависящей от области применения и способа реализации интерфейса. Такая модель помогла бы помочь в создании универсальной системы адаптации способной работать с различными реализациями интерфейсов.

Целью работы. В данной работе будет предложена обобщенная модель системы управления не зависящая от способа реализации интерфейса.

Основная часть. Графический пользовательский интерфейс (ГПИ) любого программного продукта, состоит из небольших «строительных блоков», называемых элементами либо компонентами интерфейса (ЭИ). К элементам интерфейса относят: кнопки, меню, пиктограммы, поля ввода текста и прочие компоненты. На первый взгляд ЭИ различаются по функциональному назначению, внешнему виду и способу компоновки. Однако, различные ЭИ так же обладают рядом одинаковых свойств: цвет фона, размер шрифта, цвет шрифта, толщина рамки, привязка, пиктограмма, интерактивная подсказка и т.д. Значения этих свойств и порядок размещения элементов формируют общий вид интерфейса [1]. Абсолютное большинство операционных систем позволяют изменять состояние ЭИ непосредственно в процессе работы. Это позволяет говорить о возможности адаптации интерфейса. Целью которой является удовлетворение текущих потребностей пользователя.

Поскольку адаптацию можно представить, как управление, то под управлением можно понимать процесс организации такого целенаправленного воздействия на интерфейс, в результате которого он переводится в требуемое (целевое) состояние. Объектом управления будет считаться та часть интерфейса, состояние которой необходимо изменить в текущей ситуации и на которую можно целенаправленно



воздействовать – управлять. В рамках вопроса улучшения взаимодействия в системе «человек - компьютер» объектом управления является интерфейс системы в целом. В самом процессе адаптации – объектами управления будут являться компоненты интерфейса. Субъектом управления будет выступать человек оператор, поскольку адаптация направлена на удовлетворение его потребностей [2].

Обозначим через Y – состояние интерфейса формирующую информационную модель объекта, и через Z^* – представление пользователя о состоянии системы – концептуальную модель. Тогда равенство $Y = Z^*$ – означает, что интерфейс отражает состояние системы в понятном и наиболее «удобном» для пользователя виде. Если $Y \neq Z^*$ – это означает, что пользователь не может реализовать свои цели посредством текущего интерфейса, либо внешний вид интерфейса не располагает к комфортной работе. Для решения этой задачи в интерфейс необходимо ввести функциональный модуль приводящий его в необходимое состояние по средством управления.

Для реализации управления необходим канал управления U , с помощью которого можно влиять на состояние интерфейса:

$$Y = F^0(X, U),$$

где X – воздействующие на интерфейс факторы, F^0 – оператор преобразования интерфейса, учитывающий наличие канала управления U [3].

Блок-схема системы управления интерфейсом приведена на рис. 1.

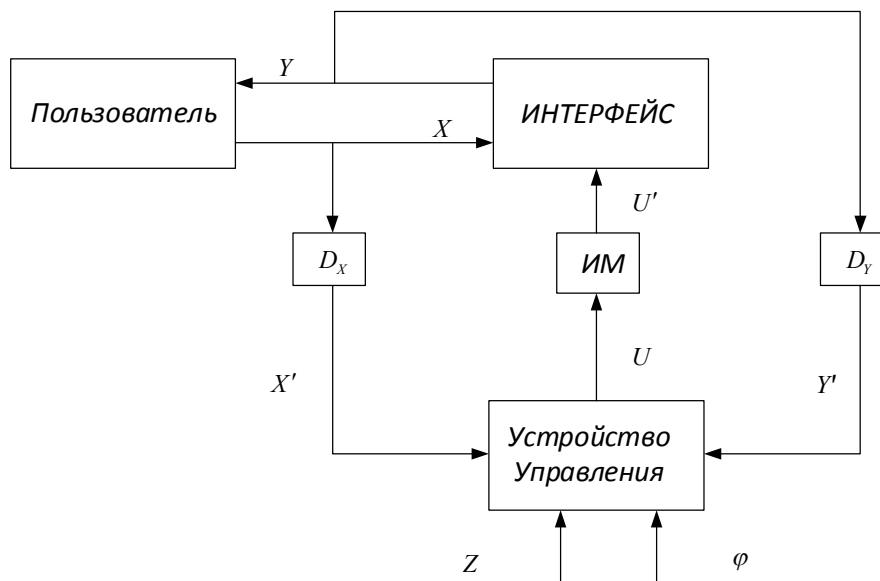


Рисунок 1 – Блок-схема системы управления интерфейсом

Здесь D_x – функциональный модуль, регистрирующий действия пользователя, D_y – функциональный модуль, анализирующий текущее состояние интерфейса. Результаты измерений $X' = D_x(X)$; $Y' = D_y(Y)$ поступают на управляющее устройство (УУ), вырабатывающие команды управления U . Команды управления обрабатываются исполнительными механизмами (ИМ), для изменения состояния управляемого входа U' интерфейса. Управляющее устройство формирует управляющее воздействие:

$$U = \varphi(X', Y', Z^*),$$

где Z^* – цель управления; φ – указание, как добиваться поставленной цели.

Необходимо отметить, что управление связано прежде всего с целями $\{Z^*\}$, которые поступают в систему. Эти цели формирует человек-оператор, который и является



«потребителем» результата работы системы управления интерфейсом – адаптированным интерфейсом. В реальных системах пользователь не всегда может самостоятельно задавать корректные цели. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, цель, поставленная пользователем, не всегда может быть реализована системой, и, во вторых, пользователь может не знать о возможности постановки цели (изменения интерфейса). В таких случаях функцию постановки цели должен брать на себя сам интерфейс, а точнее его управляющая или адаптивная часть.

Вывод. Представленная модель системы управления пользовательским интерфейсом, не зависит от области применения системы и в совокупности с техническими возможностями операционных систем по динамическому изменению состояния интерфейса может позволить построить универсальную систему адаптации ГПИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходаков В. Е. Компоненты адаптации пользовательского интерфейса / В. Е. Ходаков, Ю. И. Величко. // Вісник ХНТУ. – 2011. – № 2 (41). – С. 276-283.
2. Кирхар Н. В. Модели деятельности пользователя компьютеризированной системы / Н. В. Кирхар, Д. В. Ходаков // Вестник ХНТУ : Информационные технологии. – 2007. – № 4 (27). – С. 370-378.
3. Растринин Л. А. Адаптация сложных систем / Л. А. Растринин. – Рига : Зинатне, 1981. – 375 с.

Величко Ю.І. ІНТЕРФЕЙС ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ

У роботі викладена модель управління графічним інтерфейсом користувача як складним об'єктом. Інтерфейс представлений у вигляді набору елементів з деякими властивостями розташованими в певному порядку. Налаштування стану інтерфейсу запропоновано реалізувати на підставі цілей користувачів за допомогою функціонального модуля. Реалізація запропонованої моделі допоможе створити універсальну систему адаптації інтерфейсу користувача.

Ключові слова: інтерфейс, модель системи управління, система адапції.

Velichko Y.I. INTERFACE SOFTWARE AS OBJECT MANAGEMENT

The model of graphical user interface management is considered in the issue. The Interface is represented as a set of items with certain properties located in a specific order. Managing of interface properties was proposed to realize the objectives on the basis of users using the function module. Implementation of the proposed model will help to create a universal system of user interface adaptation.

Keywords: interface, model management system, the system adaptsii.

Статтю прийнято
до редакції 20.11.2013



МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Кирийчук Д.Л.

Херсонский национальный технический университет

В данной статье рассмотрены методы повышения достоверности координационного управления предприятием. Разработаны этапы методики повышения достоверности координационного управления предприятием. Рассмотрен вопрос оптимального выбора контрольных допусков. Исследованы мажоритарные методы повышения достоверности контроля.

Ключевые слова: достоверность, координация, управление, контроль, сигнал-шум, достоверность, мажоритарный контроль.

Анализ проблемной области и постановка задачи. В том случае, когда полученные значения показателей эффективности координационного управления предприятием не удовлетворяют предъявляемым требованиям, необходимо принимать специальные меры по повышению эффективности координационного управления предприятием (КУП). Покажем, какие методы целесообразно применять для повышения достоверности КУП.

Решение задачи. Из анализа существующих примеров [1, 2] стало ясно, что существует два основных способа повышения достоверности: увеличение δ_z , то есть повышение надежности опыта, что проявляется в увеличении вероятности его безотказной работы – вероятности нахождения контролируемого параметра в поле допуска, и увеличение отношения сигнал-шум, а также базы сигнала. Учтём, что:

$$\delta_z = \frac{\delta_x}{\sigma_x}, \quad I_0 = \Delta T \Delta F \log H = 2 \Delta T \Delta F \log \frac{k_n}{\eta_x} \quad (1)$$

Из формулы для объема I_0 статистической информации, получаемой при контроле следует, что $l_0 = \nu l_1$, где $l_1 = \log(k_n/\eta_x)$ – объем информации получаемой при однократном контроле при коэффициенте погрешности измерений k_n и показателе точности η_x , $l_1 = \log(H)$, следовательно, он полностью определяется отношением сигнал-шум при контроле.

Из анализа соотношений (1) следует, что при однократном контроле, если $u_n = 4$, то управляемыми переменными есть δ_x , σ_x , σ_ξ и k_n . Можно управлять как этими элементами, так и связями между ними, поэтому матрица управления достоверности контроля имеет вид:

$$u = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & u_{34} \\ u_{41} & u_{42} & u_{43} & u_{44} \end{pmatrix} \quad (2)$$

где через u_{ij} обозначены связи i -го управляемого параметра с j -м, при $i = j$ величина u_{ij} обозначает сам управляемый параметр. Для единообразия обозначений приняты следующие общие обозначения: $\delta_x = u_{11}$, $\sigma_x = u_{22}$, $\sigma_\xi = u_{33}$ и $k_n = u_{44}$. Связь u_{12} отражена в (2), так как $u_{11} = \delta_z \cdot u_{22}$, следовательно, между управляемыми переменными u_{11} и u_{22} , существует линейная связь u_{12} , параметром которой служит δ_z . Для связи u_{21} параметром пропорциональности служит δ_{z-1} . Так как, управление достоверностью контроля



предполагает задание определенных требований к результатам контроля, то выбор этих требований также можно рассматривать как определенное управление. Следовательно, в результате разработки требований появляется альтернативные матрицы u_0k , $k = 1, \dots, N_u$ из которых необходимо выбрать одну. Отсюда следует, что общее число управляемых переменных и связей между ними, учитывая вариации элементов в требованиях, определяется соотношением:

$$n = 2n_u^2 \quad (3)$$

Так как в принципе могут быть любые сочетания требований, а также и любые сочетания фактических значений управляемых переменных, то общее число способов управления достоверностью контроля:

$$N = \sum_{i=2}^{2n_u^2} C_{2n_u^2}^i = 2^{2n_u^2} \quad (4)$$

При $i = 0$ $C_{2n_u^2}^0 = 1$, это обозначает, что ни одна из переменных не является управляемой, иначе говоря, возможность управления отсутствует, поэтому реально число управлений:

$$N_0 = 2^{2n_u^2} - 1 \quad (5)$$

Допустим что $u_n = 4$, $2n_u^2 = 32$, тогда $N_0 \approx 4 \cdot 10^9$. Следовательно, теоретически существует много способов управления достоверности однократного контроля.

Оптимальное оценивание X по Y . Оптимальное оценивание X по Y позволяет получить оценку X^* , которая обладает меньшей дисперсией, что эквивалентно увеличению отношения сигнал-шум [3]. Существующий способ контроля [4] позволяет за счет оптимального оценивания уменьшить дисперсию оценки в $(H + 1)/H$ раз для оценки измерения, и в $v(H + 1)/H$ для v измерений. Во столько же раз увеличивается отношение сигнал-шум на входе измерителя.

Рассмотрим вопрос оптимального выбора контрольных допусков. Используя идеи оптимального оценивания было показано, что между гарантированными и контрольными допусками для минимизации полной вероятности ошибки должно выполняться оптимальное соотношение:

$$\delta_{x2} = \frac{H + 1}{H} \delta_{x1} \quad (6)$$

при однократном контроле и

$$\delta_{x2} = \frac{v(H + 1)}{H} \delta_{x1} \quad (7)$$

при v -кратном контроле с периодичностью $\Delta t_k = 1/2 \Delta F$, где ΔF – средняя полоса спектра стационарной составляющей (помехи) контролируемого сигнала.

Следовательно, оптимальные контрольные допуски определяют соотношения:

$$a_2 = \frac{H + 1}{H} a_1, \quad b_2 = \frac{H + 1}{H} b_1 \quad (8)$$

$$(b_2 - a_2) = \frac{H + 1}{H} (b_1 - a_1) \quad (9)$$

Они гарантируют минимум полной вероятности ошибки.



Разработаем методику повышения достоверности КУП. Методика повышения достоверности включает следующие этапы:

1. Выбор и селекция исходных данных, требований к достоверности.
2. Выбор гарантированных допусков.
3. Определение возможностей управления и управляемых параметров.
4. Определение оптимальных контрольных допусков.
5. Выбор коэффициента k_n .
6. Выбор средств измерений (оценка σ_ξ).
7. Определение σ_x для момента контроля.
8. Определение δ_z , η_x и α , β .
9. Принятие решения о необходимости повышения достоверности контроля.
10. Принятие решения о способе повышения достоверности контроля.
11. Оценка эффекта от повышения достоверности.
12. Принятие решения об удовлетворении предъявляемым требованиям
13. Расчет завершается представлением итоговых результатов.

Исследуем мажоритарные методы повышения достоверности контроля. Процедура мажоритарного контроля сводится к тому, что выполняют m контролей подряд и если в $k < m$ из них работоспособный объект признается после контроля работоспособным, то общее решение означает, что «объект работоспособен». Аналогично принимают решение относительно неработоспособного объекта.

Вероятность ошибки первого рода в мажоритарном контроле:

$$\alpha(k, m) = \sum_{i=k}^m C_m^i \alpha_1^i (1 - \alpha_1)^{m-i} \quad (10)$$

Мажорирование «2 из 3» в 1,68 раз эффективнее, чем увеличение отношения сигнал-шум в 3 раза при $\delta_z = 1,2$. Эффект достигается за счет трехкратного увеличения времени контроля, то есть за счет увеличения объема в 2 раза.

Таким образом, зная какие параметры и как влияют на достоверность контроля нетрудно из обширного методов повышения достоверности в соответствии с методикой выбрать подходящий метод.

Выводы. В тех случаях, когда требования к достоверности контроля не удовлетворяются, необходимо применять методы повышения достоверности КУП, основанные на повышении надежности объектов и объема контролируемой информации. Избыточность, используемая для повышения достоверности, может выступать по-разному, поэтому следует внимательно относиться к выбору способа повышения достоверности и решать задачу также оптимально.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов Р. М. Оценка эффективности промышленного производства : Методы и показатели / Р. М. Петухов. – М. : Наука, 2005.
2. Барановского А. И. Экономика промышленности / А. И. Барановского, Н. Н. Кожевникова, Н. В. Пирадовой. – В 3 т. ; Т. 1. : Общие вопросы экономики. – М. : Наука, 2007.
3. Селиванов М. Н. Качество измерений : Метрологическая справочная книга / М. Н. Селиванов, А. Э. Фридман, Ж. Ф. Кудряшова. – Л. : Лениздат, 1987.
4. Плотников Ю. И. Перспективы создания компьютеризированной системы диагностирования изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению / Ю. И. Плотников, Д. А. Скороходов, В. П. Герасимов // Железные дороги мира. – 2004. – № 7. – С. 50-53.



Киричук Д.Л. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ КООРДИНАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

У даній статті розглянуті методи підвищення вірогідності координаційного керування підприємством. Розроблено етапи методики підвищення вірогідності координаційного керування підприємством. Розглянуто питання оптимального вибору контрольних допусків. Досліджено мажоритарні методи підвищення вірогідності контролю.

Ключові слова: достовірність, координація, управління, контроль, сигнал-шум, достовірність, мажоритарний контроль.

Kiriychuk D.L. METHODS OF INCREASING RELIABILITY COORDINATION OF ENTERPRISE MANAGEMENT

In this article the methods of increase of authenticity of coordinating management an enterprise are considered. The stages of methodology of increase of authenticity of coordinating management an enterprise are developed. The question of optimal choice of control admittances is described. The majority methods of increase of control authenticity are investigated.

Keywords: authenticity, coordination, management, control, signal-noise, authenticity, majority control.

Статтю прийнято
до редакції 20.11.2013



МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПЕРЕВІЗНИКА НА РИНКУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНИХ ПОСЛУГ

Петровський А.В., Петровський В.П.

Херсонський національний технічний університет

Розроблено модель оптимального вибору перевізника. Пропонований алгоритм поєднує в собі технології Web-оптимізації і методи підтримки прийняття рішень. Модель відрізняють: простота реалізації і практична цінність.

Ключові слова: експедирування, перевезення, сайт, ранжирування.

Вступ. Відносини в області транспортно-експедиторської діяльності регулюються Цивільним кодексом (глава 65), Господарським кодексом (глава 32), Митним кодексом, законами України «Про транспортно-експедиторську діяльність», «Про транспорт», «Про зовнішньоекономічну діяльність», «Про транзит вантажів», іншими законами, транспортними кодексами і статутами, а також іншими нормативно-правовими актами, що видаються відповідно до них [1, 2]. При цьому жоден з цих законів не передбачає ліцензування транспортно-експедиторської діяльності.

Необхідність ліцензування викликана безладдям у середовищі дрібних експедиторських фірм. Останнім часом збільшилися випадки появи на ринку компаній-аферистів, що створюються для розкрадання вантажів. Схема роботи таких структур проста: на першому етапі вони пропонують досить низькі ціни. Потім йде процес зміцнення на ринку і залучення клієнтів, а коли виходить замовлення на перевезення більш-менш дорогого вантажу, компанія зникає. Експерти оцінюють частку таких компаній на ринку на рівні 3-5 %. Нерідко, одержавши свою комісію і плату за перевезення, деякі підприємства не поспішають вчасно розрахуватися з автоперевізниками, створюючи тим самим напружену ситуацію на ринку. Деякі компанії під визначення «чорні експедитори» у буквальному значенні не підпадають – вони служать елементом у ланцюжках різного роду аферистів чи контрабандистів конвертаційних центрів. Відповідь на більшість питань криється в одному – транспортно-експедиторська діяльність в Україні не ліцензується, а, отже, ніким і ніяк не контролюється. Такий підхід стає благодатним ґрунтом для самих різних порушень: від банального невиконання своїх зобов'язань до розкрадання довіреного експедитору вантажу.

Постановка задачі. Інформацію про непорядних перевізників або експедиторів знайти цілком можливо на сайтах всеукраїнської біржи транспортних послуг, але це є час, за який заявку на трансфер вантажу можуть оформити конкуренти. Тобто, коли експедитор здійснює пошук заявки від власника вантажу або другого експедитора (у якого є заявка на перевезення від власника вантажу) він повинен крім вигідної суми та умов перевезення проконтролювати порядність партнера. Можливі випадки, коли сума та умови транспортування вантажу цілком вигідні, але друга сторона не розраховується за транспортні послуги своєчасно/взагалі, або перевізник зникає з вантажем. Потім заявник на транспортування (власник вантажу) може провести негативний відгук на цих сайтах про даного експедитора, що у подальшому різко знизить кількість клієнтів. Пошук позитивних та негативних відгуків займає деякий час, а, оскільки кількість експедиторів значно перевищує кількість реальних перевізників, то вигідну заявку забирають дуже швидко (іноді цей час – хвилини). Тому необхідність у швидкісному оцінюванні своїх ризиків при роботі з можливим партнером дуже велика.

Метою дослідження є створення моделі оптимального вибору перевізника з мінімізацією ризиків трансферу вантажів. Об'єктом дослідження у статті є ринок транспортно-експедиторських послуг дрібних перевізників. Предметом дослідження є зниження ризиків при здійсненні вибору перевізника. Методом дослідження є аналіз



сторінок форумів з сайтів всеукраїнської біржи транспортних послуг lardi-trans.com.ua, della.ua, а також сторінок характеристик перевізників на вказаних сайтах, який надає можливість виділити виражені негативні фактори – критерії аналізу (табл. 1):

Таблиця 1 – Зведені критерії аналізу

№	Найменування критеріїв	Скорочене позначення
1	Розкрадання (крадіжка, грабіж, розбій)	X
2	Заволодіння вантажем шляхом шахрайських дій третіх осіб	MT
3	Стихійні лиха	СБ
4	Різноманітні ушкодження вантажу (поломка, бій, відкол та інші)	ВП
5	Пропажа без звістки перевізного засобу разом з вантажем	ЗН
6	Ушкодження чи втрата вантажу в результаті поломки рефрижераторної установки в результаті впливу як зовнішніх, так і внутрішніх факторів	РФ
7	Ушкодження чи втрата в процесі транспортування номерного митного забезпечення – пломби	ПЛ
8	Ризики, зв'язані з проведенням вантажно-розвантажувальних робіт	НРР

Рішення задачі. Незважаючи на присутність в Internet й інших сайтів, що пропонують послуги брокерів, зазначені є найбільш використовуваними. Найбільш корисним є програмне забезпечення, яке має спроможність виділити серед великої кількості інформації на форумах та відгуках власних сторінок можливих партнерів ключові словосполучення, слова для динамічного оцінювання. Можливе використання функції оновлення масивів своїх оцінок від отримання нових відгуків.

Алгоритм визначення найбільш оптимального перевізника або експедитора складається з наступних етапів:

1. *Дані по критеріям.* За допомогою спеціальних Web-програм-аналізаторів переглядають форум і повідомлення по кожному перевізнику на сайтах della.ua і lardi-trans.com.ua. Вони повинні здійснювати підрахунок усіх повідомлень, та з них – з негативними відгуками (у загальному). Серед негативних повідомлень по найбільш ймовірних словосполученнях і словах визначають кількість повідомлень, що відносяться до заданого критерію. Наприклад: за словами: «крадіжка», «розбій», «грабіж», «обікрали», «злодій» і т.д. російською і українською мовами, латинницею, можна визначити кількість «випадків» даного характеру у перевізника-експедитора (справедливість того чи іншого висловлення не може підлягати сумніву у випадку, якщо модератори форуму залишають ці повідомлення, оскільки в іншому випадку експедитор доводить до відома учасників форуму свої аргументи пояснення виникненої неприємної для нього ситуації). Потім необхідно знайти їх питому вагу серед усіх повідомлень по даному експедитору-перевізнику. Удалий рейс експедирування можна шукати по таких словосполученнях: «спасибі», «удачі», «дякуємо», «сподобалося» і т.д. Таким чином можна зібрати відомості по кожному експедитору і перевізнику.

Ще одним варіантом розрахунку питомої ваги є відношення можливих втрат (в результаті можливого прояву якого-небудь критерію), до доданої вартості за даним контрактом чи підписаною заявкою.

Відповідно до ваги по кожному перевізнику чи експедитору формується відповідна сума доданої вартості. У результаті даною сумою можна регулювати можливі ризики під час підписання заявки на перевезення (наприклад, який-небудь коефіцієнт). Цим можна зменшити кількість негативних відкликів у майбутньому, оскільки маючи справу з більш надійними партнерами, можна більш точно і впевнено планувати свої поїздки.

Вагу самого критерію визначають на основі опитування логістів з експедирування вантажів організації – донора інформації для вказаної моделі. Ранжують критерії, припустимо, за методом Борда [3], і порівнюють ранги критеріїв попарно. Подальше



використання методу аналізу ієрархій дозволяє знайти оптимального перевізника за вказаними критеріями.

2. *Розробка програмного забезпечення* для складання об'єднаного вікна, у якому будуть відображатися нові заявки з двох сайтів одночасно по обраних умовах: як вантажу так і вантажним характеристикам доступних автомобілів. У цьому випадку є можливість зменшення кількості логістів-диспетчерів в організації експедиції, оскільки часто використовують одну людину на якому-небудь одному напрямку вантажопотоків для прискорення процесу пошуку вигідних контрактів на трансфер вантажу та фрахт авто вантажівки (для збільшення прибутку виникає необхідність більшого охоплення напрямків руху, що приводить до розширення штату працівників, а останнє не завжди економічно доцільно).

Результати дослідження. На основі експертного опитування логістів-експедиторів фірми ТОВ «ТрансЛойд» створено таблицю ранжованих критеріїв (табл. 2), проведено аналіз посилань перевізників з власних сторінок вказаних сайтів (табл. 3), розраховано матрицю парних порівнянь критеріїв (табл. 4) та визначено їх вагу (рис. 1). Наведено приклад розрахунків за критерієм Х по 7 перевізникам (табл. 5, 6).

Таблиця 2 – Ранжовані критерії за методом Борда

Крите- рій	Логіст 1	Логіст 2	Логіст 3	Логіст 4	Логіст 5	Логіст 6	Логіст 7	Логіст 8	Сума ран- гів
Х	6	6	6	6	5	8	6	8	51
МТ	7	7	7	7	7	6	7	6	54
СБ	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ВП	5	5	5	5	6	5	5	5	41
ЗН	8	8	8	8	8	7	8	7	62
РФ	4	3	4	3	4	4	3	4	29
ПЛ	3	4	2	2	3	3	4	2	23
НРР	2	2	3	4	2	2	2	3	20
ЗБ	1	1	1	1	1	1	1	0	7

Таблиця 3 – Аналіз посилань перевізників

Кри- терії	Перевіз- ник К1	Перевіз- ник К2	Перевіз- ник К3	Перевіз- ник К4	Перевіз- ник К5	Перевіз- ник К6	Пере- візник К7
1	2	3	4	5	6	7	8
Х	1	2	1	1	1	1	2
МТ	2	1	2	1	1	1	3
СБ	0	1	0	2	0	0	2
ВП	1	0	0	0	0	0	1
ЗН	0	0	1	0	0	0	1
РФ	2	3	1	0	1	1	4
1	2	3	4	5	6	7	8
ПЛ	2	1	0	0	3	0	2
НРР	6	7	9	6	7	8	12
ЗБ	2	2	1	1	1	2	3
Всього поси- лань	238	220	189	195	154	135	315



Якщо значення і-го критерію по j-му перевізнику дорівнює 0, це означає, що у перевізника не було випадків такого роду.

Таблиця 4 – Матриця парних порівнянь

	<i>X</i>	<i>MT</i>	<i>CB</i>	<i>BP</i>	<i>ZN</i>	<i>RF</i>	<i>PL</i>	<i>HPP</i>	<i>ZB</i>
<i>X</i>	1	0,944	51	1,244	0,822	1,757	2,217	2,551	7,299
<i>MT</i>	1,059	1	54	1,318	0,871	1,862	2,347	2,703	7,692
<i>CB</i>	0,02	0,019	1	0,024	0,016	0,034	0,043	0,05	0,143
<i>BP</i>	0,804	0,759	41	1	0,661	1,414	1,783	2,049	5,848
<i>ZN</i>	1,216	1,148	62	1,512	1	2,137	2,695	3,096	8,85
<i>RF</i>	0,569	0,537	29	0,707	0,468	1	1,261	1,449	4,149
<i>PL</i>	0,451	0,426	23	0,561	0,371	0,793	1	1,149	3,289
<i>HPP</i>	0,392	0,37	20	0,488	0,323	0,69	0,87	1	2,857
<i>ZB</i>	0,137	0,13	7	0,171	0,113	0,241	0,304	0,35	1
Рядок сум	5,648	5,333	288	7,025	4,645	9,928	12,52	14,397	41,127

Таблиця 5 – Питома вага посилань за критерієм *X*

<i>Кри-терії</i>	<i>Пере-візник K1</i>	<i>Пере-візник K2</i>	<i>Пере-візник K3</i>	<i>Пере-візник K4</i>	<i>Пере-візник K5</i>	<i>Пере-візник K6</i>	<i>Пере-візник K7</i>
<i>X</i>	0,0042	0,0091	0,0053	0,0051	0,0065	0,0074	0,0063
<i>MT</i>	0,0084	0,0045	0,0106	0,0051	0,0065	0,0074	0,0095
<i>CB</i>		0,0045		0,0103			0,0063
<i>BP</i>	0,0042						0,0032
<i>ZN</i>			0,0053				0,0032
<i>RF</i>	0,0084	0,0136	0,0053		0,0065	0,0074	0,0127
<i>PL</i>	0,0084	0,0045			0,0195		0,0063
<i>HPP</i>	0,0252	0,0318	0,0476	0,0308	0,0455	0,0593	0,0381
<i>ZB</i>	0,0084	0,0091	0,0053	0,0051	0,0065	0,0148	0,0095

Таблиця 6 – Нормування показників за критерієм *X*

<i>Кри-терії</i>	<i>Пере-віз-ник K1</i>	<i>Пере-віз-ник K2</i>	<i>Пере-віз-ник K3</i>	<i>Пере-віз-ник K4</i>	<i>Пере-віз-ник K5</i>	<i>Пере-віз-ник K6</i>	<i>Пере-віз-ник K7</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>X</i>	1	2,1667	1,2619	1,2143	1,5476	1,7619	1,5
<i>MT</i>	1,8667	1	2,3556	1,1333	1,4444	1,6444	2,1111
<i>CB</i>		1		2,2889			1,4
<i>BP</i>	1,3125						1
<i>ZN</i>			1,6563				1
<i>RF</i>	1,5849	2,566	1		1,2264	1,3962	2,3962
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>PL</i>	1,8667	1			4,3333		1,4
<i>HPP</i>	1	1,2619	1,8889	1,2222	1,8056	2,3532	1,5119
<i>ZB</i>	1,6471	1,7843	1,0392	1	1,2745	2,902	1,8627

Після розрахунків за всіма критеріями найбільш привабливим є перевізник *K7* (перевізник з найбільшою вагою).

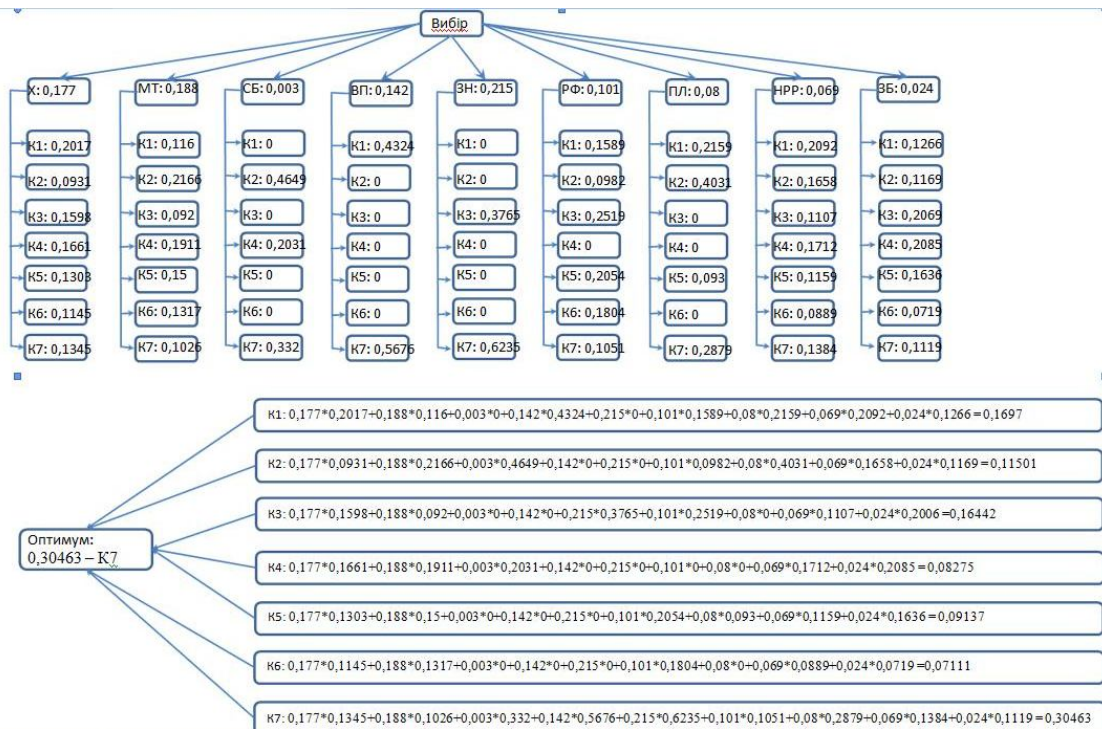


Рисунок 1 – Структурно-розрахункова схема вибору за критеріями

Висновки. Отримані результати моделювання оптимального вибору перевізника є унікальні для кожної організації, яка пропонує транспортно-експедиторські послуги, оскільки первісне ранжування критеріїв є суб'єктивним (на базі досвіду перевезень кожного логісту). Розроблену модель найбільш доцільно використовувати у програмному забезпеченні АРМ логіста, що виконує диспетчерські функції. Подальшим розвитком оптимізації роботи експедиторської діяльності є модель автоматичного складення відповідності технічних характеристик запропонованих вантажів та технічних характеристик вільних вантажівок за даними вказаних сайтів для прискорення брокерських послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кокин А. С. Транспортно-экспедиторские услуги при перевозке грузов / А. С. Кокин. – М. : Инфотропик Медиа, 2011. – 576 с.
2. Плужников К. И. Транспортное экспедирование / К. И. Плужников. – М. : Транслит, 2006. – 528 с.
3. Киршина М. В. Коммерческая логистика / М. В. Киршина. – М. : Центр экономики и маркетинга, 2001. – 234 с.

Петровський А.В., Петровський В.П. МОДЕЛЬ ВЫБОРА ПЕРЕВОЗЧИКА НА РЫНКЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННЫХ УСЛУГ

Разработана модель оптимального выбора перевозчика. Предлагаемый алгоритм объединяет в себе технологии Web-оптимизации и методы поддержки принятия решений. Модель отличают: простота реализации и практическая ценность.

Ключевые слова: экспедирование, перевозки, сайт, ранжирование.

Petrovsky A.V., Petrovsky V.P. MODEL OF FERRYMAN'S CHOICE AT THE MARKET OF TRANSPORT-EXPEDITIONARY SERVICES.

The model of optimum ferryman's choice is developed. The offered algorithm unites in itself technologies of web-optimization and methods of support of making decision. A model is distinguished: simplicity of realization and practical value.

Keywords: expedition, transportations, site, ranging.



УДК 656.02

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ТИПУ АВТОВАНТАЖІВКИ ЗА КРИТЕРІЄМ ЦІНИ ТРАНСФЕРУ В УМОВАХ ДРІБНОПАРТІЙНОГО ПОСТАЧАВАННЯ ВЕЛИКОЇ ПАРТІЇ

Петровський А.В., Петровський В.П.

Херсонський національний технічний університет

Розроблено нову математичну модель транспортування палетованого не великовагового вантажу дрібними партіями; розраховано економію від використання розробленої математичної моделі транспортування вантажу дрібними партіями при різних типах автовантажівок та граничних значень цін транспортування.

Ключові слова: транспортування, дрібнопартійність, перевезення, цільова функція, обмеження.

Вступ. Транспортна складова у ціні більшості товарів дуже впливає на конкурентоспроможність торгівельних підприємств. Тому оптимальне планування транспортних витрат є найактуальнішою задачею торгівельних підприємств, особливо це стосується товарів зі складністю у доставці: великий шлях, або складні схеми використання різних типів транспорту [1, 2].

Дослідження та постановка задачі. Перевозити вантаж на палетах з коефіцієнтами використання вантажопідйомності та вантажомісткості (для легких вантажів) автомашини, наближених до 1, не завжди є оптимальним варіантом доставки вантажу з погляду мінімізації транспортних витрат власника вантажу. Наприклад, якщо треба відправити 2 європалети вантажу вагою приблизно до 0,6 т за маршрутом Київ – Одеса можна використати мікроавтобус (тоді коефіцієнт використання вантажомісткості буде наближатися до 1, якщо розраховувати вантажомісткість у кількості європалет) з ціною доставки до 700 грн (всі ціни приведені на осінь 2012 р). Однак, ще варіантом може бути довантаження автомобіля з більшою вантажомісткістю (наприклад загальною місткістю 22 європалети), тоді ціна доставки буде нижче – до 400-500 грн. Вибір варіанту доставки буде залежати звісно і від вартості та типу самого вантажу і від того, чи є організація – перевізник власником вантажу (тоді транспортні витрати менше). Процедура вибору варіантів доставки має теж велику кількість критеріїв: довіра до перевізника та експедитора (якщо вони є різними організаціями), відношення їх до важливих для власника вантажу умов транспортування та ін.

Розглянемо вантажну маршрутну лінію Київ – Одеса. Цей маршрут співпадає з контейнерним потоком в обидві сторони, оскільки контейнери після вибуття з Одеського морського порту повинні у строк до 72 годин повернутися у порт. Оскільки імпорт товарів в Україні значно вищий за експорт, то кількість контейнеровозів з Києва до Одеси своєю більшістю порожні. Таким чином контейнеровози за ціною значно нижче ринкової можуть перевозити вантажі у напрямку Київ – Одеса, оскільки їх проїзд у цьому напрямку вже сплачено при виїзді контейнеру з морського порту Одеси (це заборонено правилами Одеського порту, але тим не менш це є фактором знижування ціни трансферу для інших типів автовантажівок). Нижче наведено таблицю (табл. 1) ринкових цін цього напрямку для більшості вантажних типів автомобілів (найрозповсюджених з їх навантажувальними характеристиками). Значення ціни має плаваючий характер та залежить від дня тижня. Наприклад, у п'ятницю тариф на транспортування значно нижче за понеділка, оскільки більшість водіїв повертаються додому і можуть перевезти вантаж з коефіцієнтом використання вантажопідйомності значно нижче звичайного, та навпаки, у понеділок вантажних машин до обіду у Києві значно менше ніж у який-небудь інший робочий день неділі, тому тариф перевезення вище. Таблиця створена з урахуванням цих особливостей ринку перевезень, характерних до вказаного напрямку.



Таблиця 1 – Тарифи перевезення Київ-Одеса

<i>Транспортні характеристики вантажівок</i>							<i>Київ-Одеса</i>	
<i>Тип</i>	<i>Номінальна вантажопідйомність, т</i>	<i>Об'єм, м³</i>	<i>Кількість європалет (1,2x0,8м), шт</i>	<i>Висота, м</i>	<i>Ширина, м</i>	<i>Довжина, м</i>	<i>П'ятниця, грн</i>	<i>Понеділок, грн</i>
Контейнер 20ф	10	33	11	2,4	2,35	5,9	1300	1700
Контейнер 40ф	20	68	22	2,4	2,35	12	1900	2300
Контейнер 40ф Ні-Тор	20	76	22	2,7	2,35	12	2000	2500
Контейнер 45ф	20	79	24	2,4	2,35	13,6	2000	2500
Рефрижератор (без підтримки температурного режиму)	20	92	22-33	2,6	2,43	13,6	3800	4200
Ізотерм	20	60-92	22-33	2,6	2,43	13,6	3500	4000
Тент	20	60-92	22-33	2,6	2,43	13,6	3500	4000
Тент jumbo	20	90-125	22-33	2,9	2,43	13,6	3500	4000
Тент (зі зчепленням)	20	90-120	33	3,2	2,43	от 8	4000	4400
Тент	10	32-48	14-18	2,6	2,45	7-9	2300	2800
Тент	5	25-40	11	2,6	2,45	5-7,2	1700	2300
Інший цільномет.	3,5	12	10	2,1	2,1	5,3	1600	2000
Тент	3	14	10-11	2,6	2,45	5-6	1200	1500
Мікроавтобус	3	17	10	2,6	2,1	5	1100	1200
Мікроавтобус	2	10	Узгоджувати з водієм				800	1000
Газель	1,5	8	Узгоджувати з водієм				700	800
Мікроавтобус	1	6	Узгоджувати з водієм				500	700

У період проведення досліджень з'ясовано, що максимальним розміром партії, яку можна ділити на менші з метою зниження вартості перевезень, це 8 європалет.

Нижче наведено таблицю по кожному типу автовантажівок з урахуванням довантаження різної місткості (у європалетах) на понеділок (табл. 2).

Таким чином, необхідно визначити таке розподілення партії з 8 європалет (або менше) на дрібні партії, щоб загальна сума витрат на перевезення була менше ніж мінімальна вартість перевезення партії з 8 європалет одним транспортним пакетом.

Метою досліджень є побудова математичної моделі вибору типу автовантажівки за критерієм ціни трансферу в умовах дрібнопартійного постачання великої партії. Предметом дослідження є зниження вартості перевезень для торгівельних підприємств. Згідно з об'єктом дослідження – преїскурантом вантажних перевезень, для досягнення мети використовуються методи дослідження операцій та наочні спостереження.



Таблиця 2 – Тарифи перевезення при довантаженні

Транспортні характеристики		Київ – Одеса							
Тип	Номінальна вантажопідйомність, т	1 п-м, грн	2 п-м, грн	3 п-м, грн	4 п-м, грн	5 п-м, грн	6 п-м, грн	7 п-м, грн	8 п-м, грн
Контейнер 20ф	10	300	400	500	700	900	1000	1300	1700
Контейнер 40ф	20	150	200	300	500	700	1000	1300	1400
Контейнер 40ф High-Top	20	200	250	350	600	800	1100	1400	1500
Контейнер 45ф	20	250	300	400	650	800	1000	1300	1500
Рефрижератор (без підтримки темп. режиму)	20	300	400	500	700	900	1200	1400	1500
Ізотерм	20	350	400	700	800	1200	1300	1700	1800
Тент	20	350	400	700	800	1200	1300	1700	1800
Тент jumbo	20	350	400	700	800	1200	1300	1700	1800
Тент (зі зчепленням)	20	400	400	700	800	1200	1300	1700	1800
Тент	10	350	400	800	900	1300	1500	1800	2000
Тент	5	400	600	900	1000	1400	1600	1900	2300
Інший цільномет.	3,5	400	600	900	1000	1400	1600	1800	2000
Тент	3	700	900	1100	1400	1500	Не підходить		
Мікроавтобус	3	800	1000	1100	1200	Не підходить			
Мікроавтобус	2	800	1000	1000	Не підходить				
Газель	1,5	800	800	Не підходить					
Мікроавтобус	1	500	Не підходить						

Рішення задачі. Умовою вибору дрібнопартійного перевезення для одного типу автовантажівок є вираз:

$$\sum_{i=1}^8 k_i C_i + (R_n + R_p) \sum_{i=1}^8 k_i \leq C_8,$$

де k_i – кількість автовантажівок для довантаження (або кількість їздок) i -го обсягу перевезення (палетомісць), шт; R_n – тариф за одне навантаження (звичайно при довантаженні власника вантажу попереджують про підвищення вартості транспортування за кожне додаткове навантаження-розвантаження), грн.; R_p – тариф за одне розвантаження, грн.; C_8 – вартість транспортування 8 європалет одним транспортним пакетом, грн.; C_i – тариф на транспортування, тобто мінімальне значення тарифу зі всіх типів авто вантажівок, придатних до перевезення цієї кількості палетомісць та до умов транспортування вантажу, грн.

$$C_i = \min(S_{ij}),$$

де S_{ij} – тариф на перевезення j -м типом автовантажівок, придатних до перевезення цієї кількості палетомісць та до умов транспортування вантажу, грн.

Цільова функція [3] для одного типу авто вантажівок:



$$C_8 - \left(\sum_{i=1}^8 k_i C_i + (R_n + R_p) \sum_{i=1}^8 k_i \right) \Rightarrow \max.$$

Оптимальним значенням різниці між тарифом за перевезення одним транспортним пакетом 8 європалет та загальною вартістю перевезення при дрібнопартионній відправці вантажів є максимум вказаної різниці.
Обмеження:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^8 k_i \gamma_i = 8 \\ k_i \in N \text{ при } i = \overline{1,8,1} \end{cases},$$

де γ_i – кількість палетомісць, яка дорівнює i , шт.; N – множина натуральних чисел.

Оскільки кожна i -та кількість палетомісць відрізняється від попередньої на 1 палетомісце, то справедливе твердження:

$$k_1 + 2k_2 + 3k_3 + 4k_4 + 5k_5 + 6k_6 + 7k_7 + 8k_8 = 8.$$

Тоді умови:

$$\begin{cases} k_1 + 2k_2 + 3k_3 + 4k_4 + 5k_5 + 6k_6 + 7k_7 + 8k_8 = 8 \\ k_i \in N \text{ при } i = \overline{1,8,1} \end{cases}.$$

Для вирішення можна використати методи цілочисельного лінійного програмування: метод гілок та границь або метод відсікання.

Для використання методу перебору варіантів (оскільки невелика кількість палет, до 8 шт., дозволяє це) треба знайти всі можливі варіанти транспортування дрібних партій вантажу.

Таблиця 3 – Моделювання варіантів транспортування при довантаженні

№	Варіант транспортування:	№	Варіант транспортування:
1	$8C_1 + 8R$	9	$2C_1 + 3C_2 + 5R$
2	$6C_1 + C_2 + 7R$	10	$2C_1 + 2C_3 + 4R$
3	$5C_1 + 2C_3 + 6R$	11	$2C_1 + C_2 + C_4 + 4R$
4	$4C_1 + 2C_2 + 6R$	12	$C_1 + C_7 + 2R$
5	$4C_1 + C_4 + 5R$	13	$C_1 + C_5 + C_2 + 3R$
6	$3C_1 + C_5 + 4R$	14	$C_1 + C_4 + C_3 + 3R$
7	$3C_1 + C_3 + C_2 + 5R$	15	$C_1 + C_3 + 2C_2 + 4R$
8	$2C_1 + C_6 + 3R$		

У деяких випадках при навантаженні-розвантаженні від 4 європалет можуть бути додаткові витрати у зв'язку зі збільшенням часу простоїв автовантажівки.

За методом перебору розраховано значення цільової функції для визначених у таблиці варіантів та знайдено мінімальне значення.

Результати досліджень. За допомогою програмного забезпечення MS Excel 2010 та пакетом пошуку рішень, розраховано:

Таблиця 4 – Розрахунок пакету пошуку рішень

Схема постачання 8 європалет як довантаження до якого-небудь основного вантажу	Розрахунок економії коштів
1	2
У контейнері 20ф вантаж 8 палет дрібними партіями у 2 палети та 6 палет	$1700 - (1 * 400 + 1 * 1000 + 2 * 100) = 100 \text{ грн}$
У контейнері 40ф вантаж 8 палет дрібними партіями у 3 палети та 5 палет	$1400 - (1 * 300 + 1 * 600 + 2 * 100) = 300 \text{ грн}$



Продовження табл. 4

1	2
У контейнері 40ф High-Тор вантаж 8 палет дрібними партіями у 3 палети та 5 палет	$1500 - (1 * 350 + 1 * 800 + 2 * 100) = 250 \text{ грн}$
у контейнері 45ф вантаж 8 палет дрібними партіями у 3 палети та 5 палет	$1500 - (1 * 400 + 1 * 800 + 2 * 100) = 100 \text{ грн}$

У рефрижераторів без підтримки температурного режиму з основним вантажем, тентованих авто 20 т всіх вказаних типів, 10 т, тентованих авто 3 т та інших до кінця таблиці: нераціонально відправляти дрібними партіями, оскільки дешевше відправити єдиним транспортним пакетом всі 8 європалет.

Якщо транспортувати у тентованому авто 5 т, вантаж у 8 палет (невеликої ваги) дрібними партіями по 4 палети, як довантаження до якого-небудь основного вантажу, економія складе:

$$2300 - (2 * 1000 + 2 * 100) = 100 \text{ грн.}$$

Економії, більш означеної, можна досягти у разі перевезення вантажу дрібними партіями у різних типах автовантажівок (як планувалось у цільовій функції). Таблиця мінімальних тарифів у залежності від кількості палетомісць тарно-штучного вантажу вагою палетомісця до 0,6т (за результатами досліджень ринку перевезень):

Таблиця 5

Залежність тарифів перевезення від кількості палетомісць і типу автовантажівки

Транспортні характеристики		Київ – Одеса							
Тип	Номінальна вантажо-підйомність, т	1 п-м, грн	2 п-м, грн	3 п-м, грн	4 п-м, грн	5 п-м, грн	6 п-м, грн	7 п-м, грн	8 п-м, грн
Контейнер 20ф	10						1000	1300	
Контейнер 40ф	20	150	200	300	500	700	1000	1300	1400
Контейнер 40ф High-Тор	20								
Контейнер 45ф	20						1000	1300	
Рефрижератор (без підтримки температурного режиму)	20								
Ізотерм	20								
Тент	20								
Тент jumbo	20								
Тент (зі зчепленням)	20								
Тент	10								
Тент	5								
Інши цільномет.	3,5								
Тент	3						Не підходить		
Мікроавтобус	3					Не підходить			
Мікроавтобус	2				Не підходить				
Газель	1,5			Не підходить					
Мікроавтобус	1		Не підходить						

Найбільш раціонально перевозити тарно-штучний вантаж у 40 футовому контейнері з довантаженням.

Оскільки бувають випадки, коли є дефіцит контейнерів на ринку автоперевезень, треба розглянути також варіант із перевезенням іншими типами транспорту.



Таблиця 6 – Тарифи при довантаженні автовантажівок (не контейнеровозів)

Транспортні характеристики		Київ – Одеса							
Тип	Номінальна вантажопідйомність, т	1 п-м, грн	2 п-м, грн	3 п-м, грн	4 п-м, грн	5 п-м, грн	6 п-м, грн	7 п-м, грн	8 п-м, грн
Рефрижератор (без підтримки температурного режиму)	20	300	400	500	700	900	1200	1400	1500
Ізотерм	20		400						
Тент	20		400						
Тент jumbo	20		400						
Тент (зі зчепленням)	20		400						
Тент	10		400						
Тент	5	400		900	1000	1400	1600	1900	2300
Цільномет	3,5								
Тент	3						Не підходить		
Мікроавтобус	3					Не підходить			
Мікроавтобус	2				Не підходить				
Газель	1,5			Не підходить					
Мікроавтобус	1	Не підходить							

У розрахунках визначено, що рефрижератор, згідно вищевказаної таблиці, майже вигідніший для всіх позицій кількості палетомісць, але він все одно попав до групи варіантів, які не вигідні для перевезень дрібними партіями, тоді як тентований автомобіль 5т має худші показники, але з'явився вигідним до партійного перевезення. Це можна пояснити високим тарифом на перевезення 8 палет вантажу одним транспортним пакетом у тентованому авто 5 т. Якщо тариф у рефрижератора був би для такого пакету 2300 грн, то відправка дрібними партіями вантажу по 4 європалети за два рази принесло б економію:

$$2300 - (2 * 700 + 2 * 100) = 700 \text{ грн.}$$

Таким чином, можна зробити висновок: перевезення вантажу дрібними партіями вигідно перш за все у контейнерах, якщо у даний час відсутні вільні контейнеровози, можна використати рефрижератори 20 т у разі підвищення ставки у замовника перевезень хоча б на 200 грн для транспортування цілого транспортного пакету у 8 палет до 1700 грн. Економія в цьому випадку складе:

$$1700 - (2 * 700 + 2 * 100) = 100 \text{ грн.}$$

Висновки. Розроблено нову математичну модель транспортування палетованого не великогазового вантажу дрібними партіями на прикладі вантажного маршруту Київ – Одеса; розраховано економію від використання розробленої математичної моделі транспортування вантажу дрібними партіями при різних типах автовантажівок та граничних значень цін транспортування. Подальшим розвитком є створення АРМ логіста-диспетчера на базі моделей: оптимального вибору перевізника та схеми перевезення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кокин А. С. Транспортно-экспедиторские услуги при перевозке грузов / А. С. Кокин. – М. : Инфотропик Медиа, 2011 – 576 с.
2. Плужников К. И. Транспортное экспедирование / К. И. Плужников. – М. : Транслит, 2006. – 528 с.
3. Таха. Исследование операций – М. : Наука, 2006. – 656 с.



Петровський А.В., Петровський В.П. МОДЕЛЬ ВЫБОРА ТИПА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПО КРИТЕРИЮ ЦЕНЫ ТРАНСФЕРА В УСЛОВИЯХ МЕЛКОПАРТИОННОЙ ПОСТАВКИ БОЛЬШОЙ ПАРТИИ

Разработана новая математическая модель транспортирования палетованого не тяжеловесного груза мелкими партиями. Рассчитана экономия от использования разработанной математической модели транспортирования груза мелкими партиями при разных типах грузовых автомобилей и предельных значениях цен транспортировки.

Ключевые слова: транспортировка, мелкопартионность, перевозка, целевая функция, ограничение.

Petrovsky A.V., Petrovsky V.P. MODEL OF TYPESELECTION TRUCK ON CRITERION OF TRANSFER COST IN THE SHALLOW PARTY SUPPLYING CONDITIONS OF THE LARGE PARTY

The new mathematical model of portage of not heavy palettes commodity is developed by shallow parties. An economy is counted from using of the developed mathematical model of portage of load shallow parties for the different types of trucks and maximum values of costs of transporting.

Keywords: transporting, shallow party, objective function, limitations.

Статтю прийнято
до редакції 7.10.2013



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

Таран И.А.

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств модернизированы и обобщены интегральные стохастические критерии по тяговой динамике, КПД и мощности тепловыделений. Предложен новый интегральный стохастический критерий по топливной экономичности.

Ключевые слова: бесступенчатая трансмиссия, интегральный критерий, тяговая динамика, мощность тепловыделений, КПД, топливная экономичность.

Введение. В каждом транспортном средстве, независимо от массово-габаритных характеристик, типа используемого движителя и функционального предназначения, для трансформации крутящего момента и угловой скорости двигателя применяется трансмиссия. При мониторинге и оценке рациональных векторов Γ [1] конструктивных параметров трансмиссий, так и при оценке эффективности трансмиссий в целом, необходимо учитывать наиболее вероятные режимы движения транспортного средства, близкие к математическому ожиданию эксплуатационных скоростей, а на этих скоростях – при наиболее вероятных коэффициентах сцепления, то есть реальные технологические режимы загрузки транспортного средства [1].

Состояние вопроса. Математическая формализация критериев оптимальности по тяговой динамике, КПД гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ) и по суммарной мощности тепловыделений в ГОМТ как функции векторного аргумента $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$ основных конструктивных параметров впервые предложена для ступенчатой механической трансмиссии в работах [2, 3] и для двухпоточных ГОМТ – в работе [4]. В указанных работах введены и используются три основных критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов \bar{W}_{Dp} , \bar{W}_{np} и $\bar{W}_{\Delta Np}$, тесно связанных соответственно с интегральным стохастическим критерием по тяговой динамике W_{Dp} , интегральным стохастическим критерием по КПД ГОМТ W_{np} и интегральным стохастическим критерием по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$.

Формулировка целей статьи. Разработать и апробировать интегральную систему критериев оценки работы бесступенчатых трансмиссий транспортных средств для объективного сравнения альтернативных вариантов.

Материалы исследования. В работе [4] не совсем корректно утверждается, что «пределы интегрирования, удельная сила тяги тягово-транспортной машины, КПД и относительная мощность тепловыделений в ГОМТ являются функциями варьируемых переменных – всех или большей части передаточных отношений и рабочего объема гидромашин, используемых в ГОП». Некорректность состоит в том, что на удельную силу тяги тягово-транспортной машины, на его КПД и относительную мощность тепловыделений в его трансмиссии, на расход топлива дизельного двигателя и производительность в целом влияют не только передаточные отношения и рабочий объем гидромашин, а и наиболее вероятный коэффициент сцепления в интервале скоростей $V \in [V_1; V_2]$, масса транспортного средства и номинальная эксплуатационная мощность двигателя. Более корректно и обобщенно интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по КПД ГОМТ W_{np} и по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$ предлагается записывать в виде:



$$\bar{W}_{Dp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} D(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad (1)$$

$$\bar{W}_{np} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \eta(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad (2)$$

$$\bar{W}_{\Delta Np} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \Delta \bar{N}(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad (3)$$

В формулах (1) – (3) $D(\Gamma, \bar{V}, f)$, $\eta(\Gamma, \bar{V}, f)$ и $\Delta \bar{N}(\Gamma, \bar{V}, f)$ – соответственно законы изменения удельной силы тяги тягово-транспортной машины, КПД ГОМТ и относительной мощности тепловыделений в ГОМТ как функции вектора $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$ конструктивных варьируемых параметров, относительной скорости $\bar{V} = V/V_{\max}$; \bar{V}_1, \bar{V}_2 – минимальная и максимальная относительные скорости, соответствующие заданному интервалу реальных эксплуатационных скоростей V_1 и V_2 ; f – коэффициент сопротивления движению; $\bar{p}(\bar{V})$ относительная плотность распределения относительных эксплуатационных скоростей движения :

$$\bar{p}(\bar{V}) = \exp\left\{-0,5\left[\frac{(\bar{V} - M(\bar{V}))}{\sigma(\bar{V})}\right]^2\right\} \quad (4)$$

где $M(\bar{V})$ и $\sigma(\bar{V})$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение случайной величины \bar{V} .

В приведенных выражениях интегральных стохастических критериев качества для бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий (ЭМТ) предлагается использовать соответственно собственные векторы конструктивных параметров $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma'(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_i, m, N_d)$ вместо предложенного ранее работах [1-4] вектора $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n,)$.

На рис. 1 приведена пространственная иллюстрация стохастических критериев по тяговой динамике W_{Dp} , по КПД W_{np} и по мощности тепловыделений $W_{\Delta Np}$ определенная для двухдиапазонной бесступенчатой ГОМТ. Построение поверхностей удельной силы тяги, КПД ГОМТ и мощности тепловыделений удобно проводить в единичном кубе с осями в виде относительной скорости \bar{V} , относительной плотности распределения вероятности $\bar{p}(\bar{V})$ эксплуатационных скоростей и динамического фактора D , который также ограничен единицей. Величина ΔN также нормирована своим максимальным значением ΔN_{\max} и по оси $\Delta \bar{N}$ также откладываются относительные значения мощности тепловыделений, не превосходящие единицу. Геометрический смысл формализованных объемов \bar{W}_{Dp} , \bar{W}_{np} и $\bar{W}_{\Delta Np}$ совпадает с геометрическим смыслом интегралов в выражениях (1)–(3). Это – объемы прямых неправильных призм $\bar{V}_1 \bar{V}_2 CEGFC'E'$ под выделенными поверхностями, ограниченные в основании единичного куба плоскостью между кривой относительной плотности распределения $\bar{p}(\bar{V})$ и осью OV , двумя плоскостями $EE'G\bar{V}_1$ и $CC'F\bar{V}_2$, перпендикулярными основанию и оси OV , пересекающимися ее в точках \bar{V}_1 и \bar{V}_2 , поверхностью ее вертикальных образующих и частью $GF\bar{V}_2\bar{V}_1$ наиболее удаленной грани куба (рис. 1б). Рассмотренные прямые неправильные призмы под выделенными



поверхностями входять в параллелепіпеди $AB\bar{V}_2\bar{V}_1A'B'\bar{V}'_2\bar{V}'_1$ с единичними висотами, об'єми W_{12} которых численно равны разности $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$.

В целом в работах [1-4] введены и используются только три критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных об'ємів \bar{W}_{Dp} , \bar{W}_{np} и $\bar{W}_{\Delta Np}$. К сожалению, авторы этих работ ничего не упоминают о таком важном технико-экономическом показателе как топливная экономичность. Без формализации и трансформации этого важнейшего показателя в интегральный стохастический критерий качества предложенная в работах [1-4] система критериев не является полной. Кроме того, обобщая предложенный подход по созданию критериев качества на случай как бесступенчатых гидрообъемно-механических, так и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий следует, как уже было сказано выше, учитывать только векторы конструктивных варьируемых параметров в виде $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma'(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_i, m, N_d)$.

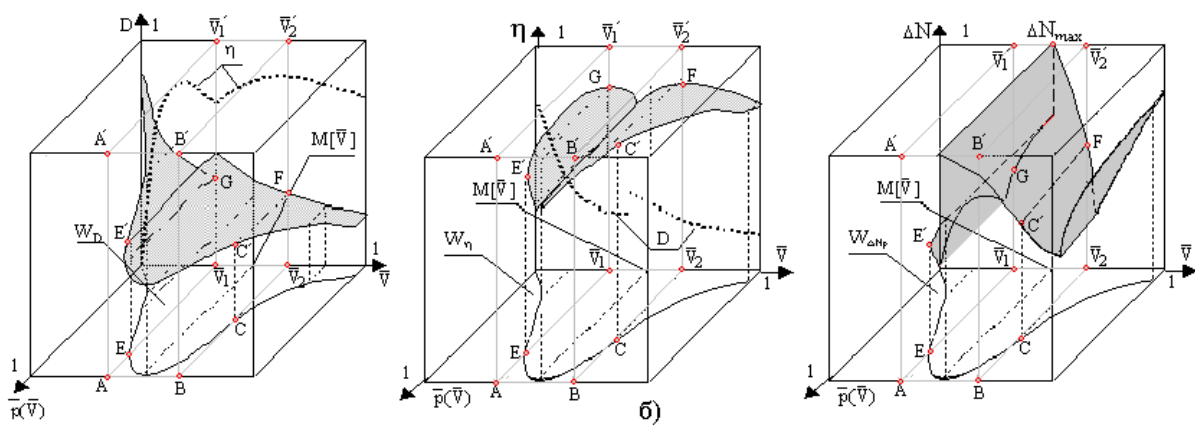


Рисунок 1 – К задаче о модернизации интегральных стохастических критериев W_{Dp} , W_{np} и $W_{\Delta Np}$ для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств

Интегральный стохастический критерий W_{Qp} по топливной экономичности предлагается записывать в виде

$$\bar{W}_{Qp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} Q(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad (5)$$

где $Q(\Gamma, \bar{V}, f)$ – мгновенный часовой расход ДВС транспортного средства, как функция вектора Γ конструктивных варьируемых параметров бесступенчатой трансмиссии, относительной скорости $\bar{V} = V/V_{max}$ (\bar{V}_1, \bar{V}_2 – минимальная и максимальная относительные скорости заданного интервала реальных эксплуатационных скоростей V_1 и V_2) и коэффициента сцепления f ; $\bar{p}(\bar{V})$ – относительная плотность распределения относительных эксплуатационных скоростей движения. Геометрически интегральный стохастический критерий W_{Qp} по топливной экономичности представляет объем фигуры, выделенной в координатах $\bar{p}(\bar{V}), \bar{V}$ и Q . На рис. 2 приведена предлагаемая автором пространственная иллюстрация четвертого, интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp} .

Определение рационального вектора конструктивных параметров в режиме диалога с ПЭВМ (или на основе адаптации и развитии параметрического синтеза применительно к бесступенчатым ГОМТ и ЭМТ) строится на удовлетворении стохастических интегральных критериев, которые формализованы группами соотношений (1)–(3) и (5) – причем первые пары указанных соотношений – стохастические интегральные критерии по тяговой динамике и коэффициенту полезного действия –



должны в процессе расчетно-теоретического обоснования бесступенчатых трансмиссий максимизироваться, а вторые пары этих соотношений – интегральные стохастические критерии по мощности тепловыделений в трансмиссии и введенный интегральный стохастический критерий по топливной экономичности, должны минимизироваться с учетом ограничений конструктивного и эксплуатационного порядка.

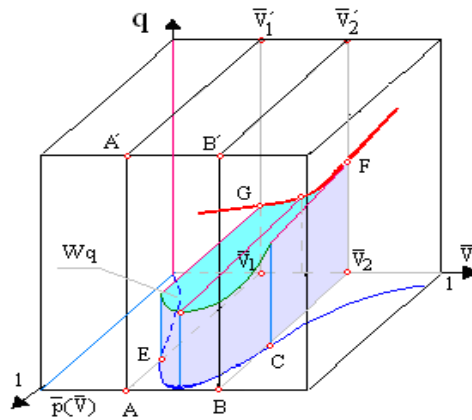


Рисунок 2 – Пространственная иллюстрация интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp}

Следует особо отметить, что только первый и четвертый критерии являются антагонистическими. Таким образом, поиск рационального вектора конструктивных параметров является в целом достаточно сложной и громоздкой задачей параметрического синтеза – многокритериальной оптимизационной задачей, в которой в будущем должны появиться системы экспертных оценок, логика определения весовых коэффициентов в аддитивном обобщенном функционале качества или их назначение лицом, принимающим решение.

В качестве примера определим рациональный вектор конструктивных параметров для ГОМТ № 1 [5] (рис. 3) в режиме диалога с ПЭВМ на основании максимизации первых двух критериев по динамическому фактору и к.п.д. трансмиссии, и минимизации критериев по тепловыделениям и расходу топлива (1) – (2), (3) – (5). Результаты этих исследований приведены на рис. 4. На рис. 4а представлены зависимости полного к.п.д. (кривые 1), динамического фактора (кривые 2), мощности тепловыделений в трансмиссии (кривые 3), почасового расхода топлива (кривые 4) от скорости при работе ГОМТ № 1 в составе дизельвоза массой 10 т на первом тяговом и втором транспортном диапазонах. При расчетах принято (первый столбец данных на рис. 4б): математическое ожидание эксплуатационной скорости дизель-поезда – $M[V] = 18$ км/ч (5 м/с); скоростной интервал построения интегральных стохастических критериев качества $V_1 = 16$ км/ч (4,44 м/с); $V_2 = 20$ км/ч (5,56 м/с); среднеквадратическое отклонение $\sigma[V] = 2$ км/ч (0,56 м/с).

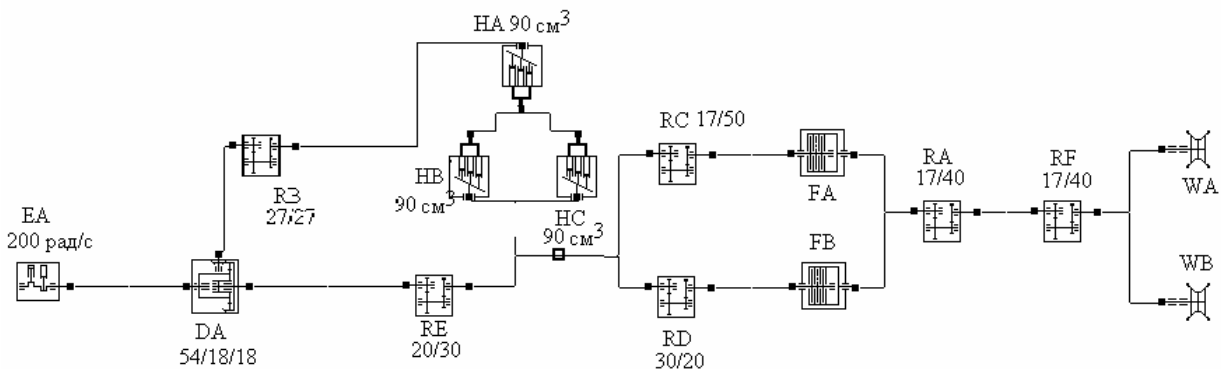
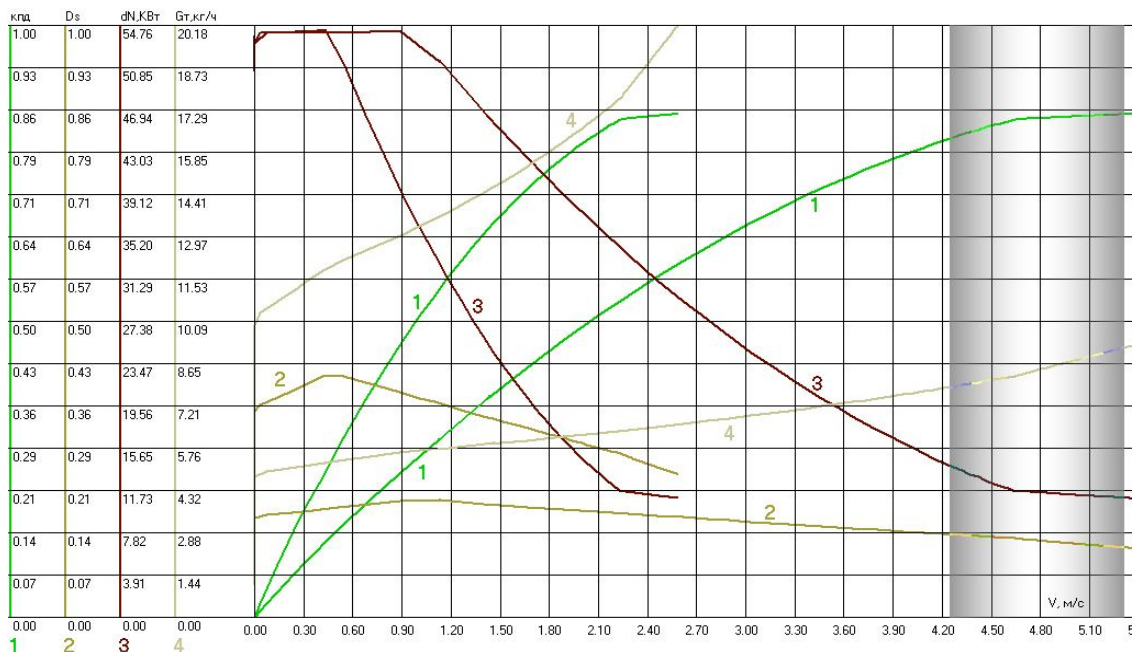
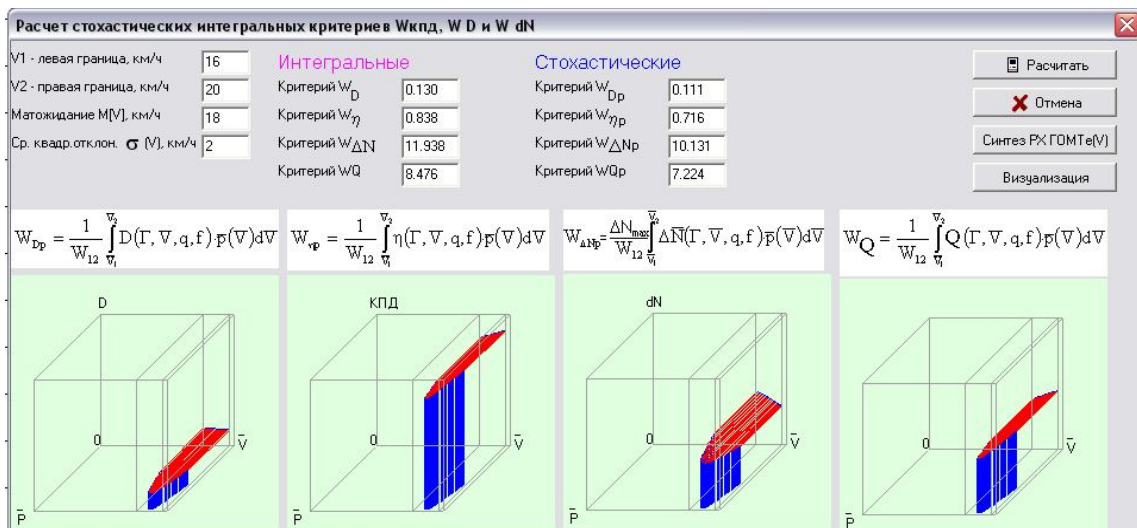


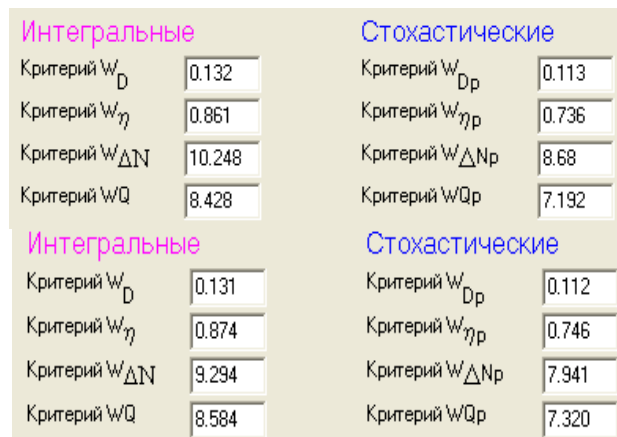
Рисунок 3 – Структурная схема бесступенчатой двухпоточной трансмиссии ГОМТ №1



а) среднеинтегральные критерии: полный к.п.д. (1), динамический фактор (2), мощность тепловыделений (3), почасовой расхода топлива (4) для ГОП с $q=89 \text{ см}^3$;



б) визуализация интегральных стохастических критериев;



в) ГОП с $q=118,7 \text{ см}^3$;

г) ГОП с $q=165,8 \text{ см}^3$

Рисунок 4 – Интегральные стохастические критерии бесступенчатой ГОМТ №1

На рис. 4б представлены значения среднеинтегральных критериев W_D , W_η , $W_{\Delta N}$, W_Q



(второй столбец данных), вычисленные по результатам работ [6, 7]. На том же рисунке в третьем столбце данных приведены значения стохастических интегральных критериев, вычисленных по группе формул (1) – (3), (5) и их трехмерная визуализация. На примере схемы ГОМТ № 1 проведено исследование влияния рабочего объема ГОП на технические показатели трансмиссии в составе дизелевоза. Так, на рис. 4в и з приведены результаты критериев качества соответственно при использовании в ГОМТ № 1 ГОП с рабочим объемом $q = 118,7 \text{ см}^3$ и $q = 165,8 \text{ см}^3$.

Как отмечалось в работе [5] с ростом рабочего объема гидромашин в ГОМТ № 1 увеличивалась доля мощности, проходящая через механическую ветвь, что способствовало повышению к.п.д. Система критериальных оценок это очень точно количественно отслеживает. Однако гидрообъемные передачи с большим рабочим объемом рассчитаны на максимальные мощности 146,6 кВт и 183,2 кВт соответственно, что существенно превосходит мощность используемого двигателя; данные ГОП обладают худшими массово-габаритными и стоимостными показателями.

Выводы и перспективы использования.

1. Для бесступенчатых гидрообъемно-механических и электромеханических трансмиссий колесных и гусеничных транспортных средств модернизированы и обобщены интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по к.п.д. W_{np} , по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$. Уточнены векторы конструктивных варьируемых параметров $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_{ib}, k_b, m, N_d)$ соответственно для ГОМТ и ЭМТ.

2. Введен новый интегральный стохастический критерий по топливной экономичности и предложена обобщенная интегрированная система критериев, позволяющая не только объективно сравнивать их основные технико-экономические параметры, но и определять по введенным выше критериям наиболее рациональные или оптимальные конструктивные параметры.

3. Для решения в будущем научной проблемы структурного и параметрического синтеза для перспективных бесступенчатых трансмиссий в составе тягового транспорта система предложенных интегральных стохастических критериев качества, позволяющая провести объективное сравнение альтернативных вариантов трансмиссий, будет иметь решающее значение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самородов В. Б. Проблемы и направление теоретических исследований в области гидрообъемно-механических трансмиссий в Украине / В. Б. Самородов // Механика и машиностроение. – 1998. – № 1. – С. 105-109.

2. Самородов В. Б. Оптимизация передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики транспортной машины / В. Б. Самородов // Информационные технологии: наука, техника, технология, оборудование, здоровье. – Харьков, 1997. – С. 371-377.

3. Самородов В. Б. Алгоритм оптимизации передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики гусеничной машины / В. Б. Самородов // Вісник ХДПУ : збірник наукових праць. – Харків : ХДПУ. – 1999. – Вип. 36. – С. 135-140.

4. Самородов В. Б. О рациональном выборе передаточных отношений планетарных рядов гидрообъемно-механической трансмиссии транспортной машины / В. Б. Самородов, Л. В. Новикова, В. Г. Полуниин // Конструирование и исследование тракторов. – Харьков : Вища школа. – 1985. – Вып. 6. – С. 45-48.

5. Таран И. А. Конструктивные параметры двухпоточных гидрообъемно-механических и электрических бесступенчатых трансмиссий шахтных дизелевозов / И. А. Таран // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 105-108.



6. Таран И. А. Система интегральных стохастических критериев для трансмиссий транспортных средств / И. А. Таран // Наукові нотатки. – 2010. – Вип. 28. – С. 519-523.

7. Таран И. А. Среднеинтегральный КПД бесступенчатых двухпоточных трансмиссий шахтного дизелевоза / И. А. Таран // Матеріали Всеукр. міжвуз. наук.-техн. конф. «Сучасні технології в промисловому виробництві». – Суми : Сумський державний університет, 2010. – Ч. II. – С. 155-156.

Таран І.О. СИСТЕМА ІНТЕГРАЛЬНИХ СТОХАСТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ТРАНСМІСІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Для безступінчастих трансмісій транспортних засобів модернізовані й узагальнені інтегральні стохастичні критерії по тяговій динаміці, ККД і потужності тепловиділень. Запропонований новий інтегральний стохастичний критерій по паливній економічності.

Ключові слова: безступінчаста трансмісія, інтегральний критерій, тягова динаміка, потужність тепловиділень, ККД, паливна економічність.

Taran I.O. SYSTEM OF INTEGRAL STOCHASTIC CRITERIA FOR TRANSMISSIONS OF TRANSPORT VEHICLES

For the stepless transmissions of transport vehicles modernized and generalized integral stochastic criteria on a hauling dynamics and powers of teplovydeleniy. A new integral stochastic criterion is offered on a fuel economy.

Keywords: stepless transmission, integral criteria, a hauling dynamics, powers of teplovydeleniy, fuel economy.

Статтю прийнято
до редакції 01.09.2013.



ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алексенко В.Л., старший викладач кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Бадищук В.І., к.т.н., доцент	Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Батигін Ю.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Безлуцька О.П., к.і.н., доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Бень А.П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи	Херсонська державна морська академія
Бобир В.О., к.т.н., доцент, завідувач кафедри судноводіння на морських і внутрішніх водних шляхах	Одеська національна морська академія
Богданов О.В., к.т.н., доцент кафедри експлуатації судових енергетичних установок та загально інженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Борисенко К.І., аспірант	Херсонська державна морська академія
Борсук С.П., к.т.н., доцент	Інститут інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету, м. Київ
Букетов А.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації судових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Величко Ю.І., асистент кафедри інформаційних технологій	Херсонський національний технічний університет
Вишневецький Д.О., аспірант кафедри морських перевезень	Одеський національний морський університет
Гнатов А.В., к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки і фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Гусев В.М., старший викладач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Даник В.В., аспірант	Херсонська державна морська академія



Добровор І.Г., к.ф.-м.н., доцент	Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Долгов М.А., д.т.н., доцент	Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ
Євдокимова В.А., к.т.н., викладач Морського коледжу ХДМА	Херсонська державна морська академія
Золотий Р.З., к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Ісаєв Є.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматки	Херсонська державна морська академія
Калинчак В.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри теплофізики	Одеський національний університет ім. І.І.Мечнікова
Кирийчук Д.Л., старший викладач кафедри інформаційних технологій	Херсонський національний технічний університет
Клевцов К.М., д.т.н., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки, доцент	Херсонська державна морська академія
Короленко О.В., к.т.н., завідувач електромеханічним відділенням Морського коледжу ХДМА	Херсонська державна морська академія
Лебедь О.М., к.т.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки	Херсонська державна морська академія
Леонов В.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища	Херсонська державна морська академія
Лещенко А.М., к.філос.н., доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Луців І.В., д.т.н., професор	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Ляшенко Б.А., д.т.н., професор	Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка, м. Київ
Ляшук О.Л., к.т.н., доцент	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Малигін Б.В., д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія



Маляренко О.Д., д.т.н., професор, завідувач кафедри торгівельного та рекламного обладнання	Білоруський національний технічний університет, Білорусь
Маслов В.О., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загально інженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Мітенков М.В., к.т.н., доцент кафедри торгівельного та рекламного обладнання	Білоруський національний технічний університет, Білорусь
Михайлик В.Д., д.т.н., професор кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Нгуен Гуй Хоанг, аспірант кафедри теорії та проектування суден	Національний університет кораблебудування ім. адмірала С.О. Макарова, м. Миколаїв
Нігалатій В.Д., к.т.н., ст. викладач кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Паламарчук І.В., аспірант	Херсонська державна морська академія
Петровський А.В., к.т.н., доцент транспортних технологій	Херсонський національний технічний університет
Петровський В.П., к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій у машинобудуванні та інженерного консалтингу	Херсонський національний технічний університет
Проць Я.І., к.т.н., професор	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Рубльов І.І., аспірант кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища	Херсонська державна морська академія
Рутковський А.В., к.т.н., доцент	Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка, м. Київ
Савків В.Б., к.т.н., доцент	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Савчук В.П., к.т.н., доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Сапронов О.О., аспірант	Херсонська державна морська академія



Селіванов С.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Сіманенков А.Л., магістр	Херсонська державна морська академія
Скирденко В.О., аспірант кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Скочияс В.В., аспірант	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Смирнов І.В., д.т.н., доцент	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Соловей О.С., аспірант	Херсонська державна морська академія
Спешилов В.М., старший викладач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Степкова В.В., асистент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Таран І.О., д.т.н., доцент, завідувач кафедри управління на транспорті	Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ
Товстокорий О.М., к.т.н., доцент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Тригуб С.М., к.т.н., директор Морського коледжу	Херсонська державна морська академія
Трунова І.С., аспірант кафедри автомобільної електроніки	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Федорів П.С., аспірант	Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Федоров В.В., д.т.н., професор, завідувач відділу водневих технологій та гідридного матеріалознавства	Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів
Черненко О.С., к.ф.-м.н., старший викладач кафедри теплофізики	Одеський національний університет ім. І.І.Мечнікова
Черненко В.В., асистент кафедри суднових енергетичних установок та загальної інженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Чихіра І.В., к.т.н., доцент	Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя



Швець І.А., викладач	Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Первомайськ
Шиндерук С.А., аспірант кафедри фізики	Харківський національний автомобільно-дорожній університет



ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Алексенко В.Л., 153

Б

Бадишук В.І., 161
Батигін Ю.В., 68
Безлуцька О.П., 62
Бень А.П., 4, 244
Бобир В.О., 9
Богданов О.В., 83
Богданов В.О., 83
Борисенко К.І., 111
Борсук С.П., 249
Букетов А.В., 111
Буховець В.М., 183

В

Величко Ю.І., 258
Вишневский Д.О., 20
Волошин В.М., 183

Г

Гнатов А.В., 68
Гончаренко А.В., 26
Гусев В.М., 88

Д

Даник В.В., 166
Добротвор І.Г., 161
Долгов М.А., 228

Є

Євдокимова В.А., 97

З

Золотий Р.З., 197

І

Ісаєв Є.О., 35, 140

К

Калинчак В.В., 102
Касілов О.М., 171
Касілов О.О., 171
Кирийчук Д.Л., 261
Клевцов К.М., 228
Короленко О.В., 111
Кумуржи А.Ю., 191

Л

Лебедь О.М., 124
Леонов В.Є., 119
Лещенко А.М., 62
Луців І.В., 183
Ляшенко Б.А., 191
Ляшук О.Л., 197

М

Малигін Б.В., 111
Маляренко О.Д., 206
Маслов В.О., 97
Мітенков М.В., 206
Михайлик В.Д., 140

Н

Настасенко В.О., 130
Нігалатій В.Д., 228

П

Паламарчук І.В., 4
Петровський А.В., 265,
270
Петровський В.П., 265,
270
Подобєда В.В., 97
Проць Я.І., 212

Р

Рубльов І.І., 119
Рутковський А.В., 191

С

Савків В.Б., 212
Савчук В.П., 222
Сапронов О.О., 228
Свешніков В. В., 41
Селіванов С.Є., 102, 140
Сіманенков А.Л., 35
Скирденко В.О., 153
Скочиляс В.В., 212
Смирнов І.В., 228
Соловей О.С., 244
Спешілов В.М., 48
Степкова В.В., 48

Т

Таран І.О., 277
Товстокорій О.М., 97
Тригуб С.М., 102
Трунова І.С., 68

Ф

Федорів П.С., 212
Федоров В.В., 161

Х

Хоанг, Нгуен Гуй, 55

Ч

Черненко О.С., 102
Черненко В.В., 166
Чихіра І.В., 161

Ш

Шварц С.С., 153
Швець І.А., 238
Шиндерук С.А., 146



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 її 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 12 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути 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 (для іноземних учасників – держава) – курсивом, по центру, 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;

колонтитули – 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 2.0, 3.0. 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 в тексті. 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 і вставлені у файл і роздруківку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word XP. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi. Рисунки можуть бути вставлені в текст за допомогою наступних команд:

- додати рисунок – Рисунок Microsoft Word;
- додати рисунок – Bitmap Image;
- додати рисунок – рисунок Corel Draw.

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 та вимогами, викладеними у Бюлетені ВАК України № 5 (2009).

Анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 слів, в яких відображається актуальність статті, основні результати дослідження та висновки надаються: мовою оригіналу статті перед вступом, двома іншими мовами – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

Документи, що подаються до редакції.

Для публікації автор повинен надати до відділу інноваційних технологій ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft| Word| 2000 for| Windows|. Машинописні рукописи не приймаються;
- файл кожного малюнка, включеного в статтю, окремо;
- рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

- 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);
- відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail (якщо є), наукові інтереси авторів) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямом журналу. Рукописи авторам не повертаються.



ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОКЕАНСКИХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ТОПЛИВА	4
--	----------

Бень А.П., Паламарчук И.В.

СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА И ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА МОРСКОМ ФЛОТЕ	9
--	----------

Бобыр В.А.

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА УЧАСТКОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СУДОВ НА ЛИНИИ	20
---	-----------

Вишневатский Д.О.

A CONCEPT OF ENTROPY APPROACH TO THE PROBLEM OF MULTI-ALTERNATIVE OPERATIONAL MODES CONTROL	26
--	-----------

Goncharenko A.V.

АНАЛІЗ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ СУДНОВИМИ ЕЛЕКТРО-ЕНЕРГЕТИЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ПРИКЛАДІ АВТОМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ	35
---	-----------

Ісаєв Є.О., Сіманенков А.Л.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЛАВСРЕДСТВ	41
--	-----------

Свешников В. В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СУДОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ПУТИ СУДНА С УЧЕТОМ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ	48
--	-----------

Спешилов В.М., Степкова В.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МАСС ОДНОКОРПУСНЫХ БЫСТРОХОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ	55
--	-----------

Нгуен Гуй Хоанг

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

ФОРМУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ	62
---	-----------

Безлуцька О.П., Лещенко А.М.



**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. ЧАСТЬ 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕШНЕЙ БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ <i>Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова И.С.</i>	68
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МАЗУТА <i>Богданов А.В., Богданов В.А.</i>	83
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМА, КОНТРОЛЬ ШУМА В РАБОЧИХ ЗОНАХ НА СУДАХ <i>Гусев В.Н.</i>	88
КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ И НА СУДАХ <i>Евдокимова В.А., Маслов В.А., Товстокорый О.Н., Подобеда В.В.</i>	97
ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ЧАСТИЦЫ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА <i>Калинчак В.В., Селиванов С.Е., Тригуб С.Н., Черненко А.С.</i>	102
ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИЗ ПЕНОСТЕКЛА <i>Короленко А.В., Букетов А.В., Малыгин Б.В., Борисенко Е.И.</i>	111
РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРПУСОВ СУДОВ ОТ КОРРОЗИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ <i>Леонов В.Е., Рублёв И.И.</i>	119
МЕТОД ДИФфуЗИИ ПРИМЕСЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАКАНСИОННОГО СОСТАВА В МОНОКРИСТАЛЛАХ ПИН GaAs <i>Лебедь О.Н.</i>	124
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІДРОХВІЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ОСОБЛИВОСТІ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>Настасенко В.О.</i>	130
СОЗДАНИЕ БЛАГОПРИЯТНОЙ САНИТАРНО- ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА <i>Селиванов С.Е., Михайлик В.Д., Исаяев Е.А.</i>	140



РАСЧЕТ ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕННОСТЕЙ В СИММЕТРИЧНОМ УНИВЕРСАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ	146
---	------------

Шиндерук С.А.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТАНТ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИНАМИЧЕСКИМ ИСПЫТАНИЕМ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ	153
---	------------

Алексенко В.Л., Скирденко В.О., Шварц С.С.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТИВ	161
--	------------

*Бадищук В.І., Чихіра І.В., Добротвор І.Г,
Федоров В.В.*

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВАЛОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ В РЕЖИМЕ ГРЕБНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО МОЩНОСТИ	166
--	------------

Даньк В.В., Черненко В.В.

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУРНО- ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ И ТВЁРДОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ОТ СОСТАВА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	171
--	------------

Касилов А.Н., Касилов О.А.

КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПІДСИСТЕМ ЗАТИСКУ ТА САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ БАГАТОЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ АДАПТИВНОГО ТИПУ	183
--	------------

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	191
--	------------

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.

ОСНОВНІ ІДЕЇ МЕТОДУ ВАН-ДЕР-ПОЛЯ ДЛЯ КОЛИВАНЬ ПОЗДОВЖНЬО-РУХОМИХ ПРИВІДНИХ КАНАТІВ ТРАНСПОРТЕРІВ	197
---	------------

Ляшук О.Л., Золотий Р.З.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИ РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОПТИКИ	206
---	------------

Маляренко А.Д., Митенков М.В.



ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ OpenFOAM	212
<i>Савків В.Б., Проць Я.І., Скочиляс В.В., Федорів П.С.</i>	

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ РАМОВИХ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ	222
<i>Савчук В.П.</i>	

ВПЛИВ ВМІСТУ І ПРИРОДИ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО НАПОВНЮВАЧА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І СТРУКТУРУ ПОЛІМЕРНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ	228
<i>Сапронов О.О., Нігалатій В.Д., Клевцов К.М., Смирнов І.В., Долгов М.А.</i>	

МЕТОД АПРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	238
<i>Швец І.А.</i>	

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДАХ	244
<i>Бень А.П., Соловей А.С.</i>	

ВИПАДКОВА СКЛАДОВА ПОКАЗНИКА НЕСТАЦІОНАРНОГО СТОХАСТИЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНОГО ОПЕРАТОРА	249
<i>Борсук С.П.</i>	

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ	258
<i>Величко Ю.И.</i>	

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ	261
<i>Кирийчук Д.Л.</i>	

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПЕРЕВІЗНИКА НА РИНКУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНИХ ПОСЛУГ	265
<i>Петровський А.В., Петровський В.П.</i>	

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ТИПУ АВТОВАНТАЖІВКИ ЗА КРИТЕРІЄМ ЦІНИ ТРАНСФЕРУ В УМОВАХ ДРІБНОПАРТІЙНОГО ПОСТАЧАННЯ ВЕЛИКОЇ ПАРТІЇ	270
<i>Петровський А.В., Петровський В.П.</i>	



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ <i>Таран И.А.</i>	277
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	284
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	289
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	290



ДЛЯ НОТАТОК



ДЛЯ НОТАТОК

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 2 (9), 2013

Відповідальний за випуск *Врублевський Р.Є.*
Технічний редактор *Клементьєва О.Ю.*
Коректор *Надточій К.О.*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В.Г.*

Підписано до друку 26.12.2013. Формат 84×108/32.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. др. арк. 26,25. Наклад 100 прим.

Видавництво ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4312 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, к. 224
тел. (0552) 44-25-24