

ISSN 2077-3617

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК

**ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ
АКАДЕМІЇ**

Науковий журнал

№ 1 (6)

Херсон 2012

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 1 (6). – 456 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Херсонської державної морської академії 21.06.2012 р., протокол № 10.

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;
СВТУХ Микола Борисович, д.пед.н., професор;
ІСАЄВ Євгеній Олексійович, д.т.н., професор;
ЛЕОНОВ Валерій Євгенович, д.т.н., професор;
МАЛИГІН Борис Вадимович, д.т.н., професор;
МАРМУЛЬ Лариса Олександрівна, д.е.н., професор;
СЕЛІВАНОВ Станислав Євгенович, д.т.н., професор;
СОКОЛОВА Надія Андріївна, д.т.н., професор;
ХОДАКОВ Віктор Єгорович, д.т.н., професор.

Науковий журнал «Науковий вісник Херсонської державної морської академії» є правонаступником наукового журналу «Науковий вісник ХДМІ» (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації у Міністерстві юстиції України за №15256-3828 ПР від 30.04.2009 р.), який Зареєстровано у Вищій атестаційній комісії України постановою президії ВАК України від 30 березня 2011 року №1-05/3 (бюлетень ВАК України №5, 2011).

Адреса редакційної колегії:

73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, тел. (0552) 49-61-74

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

ISSN 2077-3617

© Херсонська державна
морська академія, 2012

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК.621.43: 62-66: 62-62

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СЕПАРАЦИИ ТОПЛИВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ДУТЬЕВОМ АГЕНТЕ

Белоусов Е.В., Кобяков Н.Н.,

Херсонская государственная морская академия,

Белоусова Т.П.,

Херсонский национальный технический университет

Рассмотрены вопросы комплексной утилизации отходов сепарации тяжелого моторного топлива в аппаратах имеющих общий тепло- и массообмен с другими элементами судовой энергетической установки. Выполнена укрупненная математическая модель процесса парогазовой газификации шламов с химической регенерацией теплоты и подачей продуктов газификации на впуск двигателя. На основании численных экспериментов установлена зависимость влияния содержания водяного пара в газифицирующем агенте на состав генераторного газа и его теплоту сгорания.

Ключевые слова: газификация, сепарация, химическая регенерация, шламы, дизельный двигатель.

Актуальность проблемы. В процессе сепарации топлив при эксплуатации судовых энергетических установок (СЭУ) в шламы попадает 0,5...2,5 % от исходного топлива [1]. В результате за переход на судне могут накапливаться десятки тон отходов сепарации. С одной стороны это приводит к потерям горючих составляющих топлива, а с другой стороны создает проблемы связанные с необходимостью утилизации достаточно вредных для окружающей среды отходов. Раньше проблема частично решалась путем сжигания шламов в утилизационных котлах, однако на современных судах в связи со значительным изменением в тепловом балансе энергетической установки, утилизационные котлы не используются. Также изменилась структура потребления тепловой энергии для собственных нужд судна, теперь тепло необходимое для отопления помещений, приготовления пищи и на технологические нужды получают на месте ее потребления от электрических нагревателей. В результате сжигание шламов в утилизационных котлах или котлах инсинераторах становится не целесообразным [2].

Цель работы состоит в том, чтобы с помощью численного эксперимента установить влияние концентрации водяного пара в дутьевом агенте на параметры генераторного газа на выходе утилизационной установки и на ее эффективные показатели.

Анализ состояния проблемы. Эффективное решение проблем судовой энергетики, в современных условиях, возможно только на базе комплексного подхода, когда все процессы, связанные с работой и эксплуатацией судовой энергетической установки рассматриваются как единое целое. Так,

значительного снижения эксплуатационных затрат удалось достичь переводя средне и высокооборотные двигатели на тяжелые топлива, стоимость которых значительно ниже светлых нефтепродуктов. Для этого за последние время разработчикам судовых СДВС пришлось пойти на ряд конструктивных мер, к числу которых можно отнести: повышение давления наддува до 0,32...0,4 МПа [2]; повышение давления (p_c) и температуры (T_c) в конце сжатия до 10...16 МПа и 900...1200 К, соответственно, а также повышение максимального давления цикла (p_z) до 18,5...23 МПа [2, 3]; повышение давления впрыска топлива до 90...150 МПа [4]; переход на аккумуляторные системы впрыска с микропроцессорными системами управления и контроля [2-4]; оптимизация фаз газораспределения и управление ими, в частности переход на, так называемый, Миллер-процесс [2]; применение специальных законов подачи топлива в камеру сгорания, в частности с пред- или послевпрыском, а так же с несколькими последовательными впрысками [3, 4].

В качестве перспективных направлений дальнейшего совершенствования рабочего процесса СДВС рассматривается ряд технических решений, к числу которых можно отнести: использование водотопливных эмульсий; увлажнение надувочного воздуха; прямой впрыск воды в рабочее пространство двигателя, перепуск отработавших газов на впуск двигателя и т.д.

В настоящее время значительная часть усилий ведущих дизелестроительных компаний направлена на совершенствование рабочих процессов не только в дизельных двигателях но и в сопряженном с ними энергетическом оборудовании. В ряде случаев энергетическое оборудование связано между собой общим тепло- и массообменом, что позволяет значительно улучшить характеристики СЭУ в целом.

Решение проблемы. В качестве одного из вариантов комплексного подхода к совершенствованию топливо-экологических показателей судовой установки авторами была предложена схема, в которой система утилизации шламовых отходов участвует в общем тепло- и массообмене с другими элементами СЭУ. В предложенной схеме одновременно обеспечивается рециркуляция отработавших газов двигателя и комплексная утилизация шламов путем их газификации [2]. Такой подход позволяет не только повысить полноту использования топлива, но и понизить содержание вредных веществ в отработавших газах. Принципиальная схема установки показана на рис. 1. Основным элементом установки является газогенератор для газификации шламовых отходов сепарации. В качестве газифицирующего агента в установке используется газопаровая смесь, состоящая из отработавших газов двигателя и водяного пара, полученного за счет теплоты отработавших газов.

На наш взгляд, использование отработавших газов в качестве составляющей дутьевого агента целесообразно по следующим причинам:

- большие коэффициенты избытка воздуха у современных дизелей приводит к значительному содержанию не прореагировавшего кислорода, необходимого для поддержания процессов горения в газогенераторе;
- отработавшие газы вносят в реактор теплоту, необходимую для обеспечения нормального теплового баланса газогенератора, так как их начальная температура уже находится на уровне 300...350 °С;
- продукты полного сгорания, содержащиеся в отработавших газах, в восстановительной зоне реактора восстанавливаются до горючих компонентов. При этом недостающая теплота для нормального теплового баланса восстановительной зоны может быть подведена к реактору за счет теплоты отработавших газов через стенки реактора.

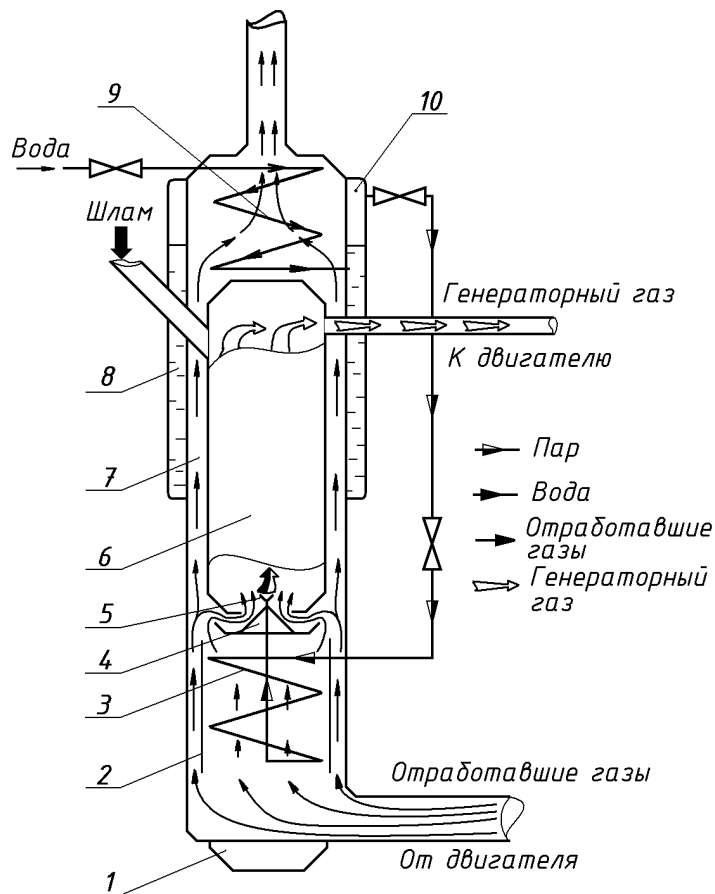


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для комплексной утилизации шламов, рециркуляции отработавших газов и регенерации их теплоты:
 1 – золоприемник; 2 – тепловой экран; 3 – пароперегреватель; 4 – регулятор газового потока через газогенератор; 5 – паровая форсунка; 6 – газогенератор; 7 – греющий контур; 8 – водяной контур; 9 – подогреватель воды; 10 – пространство сепарации пара

При использовании теплоты отработавших газов для обеспечения нормального теплового баланса газогенератора, часть этой теплоты расходуется на окислительно-восстановительные реакции в слое топлива и в виде энергии химических связей возвращается в рабочее пространство

поршневого двигателя с генераторным газом. Таким образом, при использовании предложенной схемы утилизации, происходит химическая регенерация теплоты отходящих газов.

Вторым компонентом газифицирующего агента является водяной пар, получаемый в утилизационной установке, так же за счет теплоты отработавших газов. Использование водяного пара позволяет организовать процесс парогазовой газификации, что дает возможность увеличить выход горючих компонентов за счет диссоциации молекул воды на водород и кислород. Однако такого рода реакции возможны только при строго определенных температурах в окислительной зоне реактора, снижение температуры может привести к их прекращению. Таким образом, для каждого конкретного случая организации процесса существует некая концентрация водяного пара, в дутьевом агенте, выше которой происходит затухание реакций или повышение концентрации становится нецелесообразным в связи со смещением констант равновесия в сторону образования продуктов полного сгорания. Исследованию влияния концентрации водяного пара в дутьевом агенте на состав газа и энергетический баланс всей утилизационной установки, посвящена данная статья.

Для проверки выдвинутых предположений, авторами была разработана укрупненная математическая модель процесса газификации шламов в газогенераторе, выполненном по схеме, приведенной на рис. 1. В качестве объекта исследования рассматривалась СЭУ транспортного судна, основные характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики СЭУ

Параметр	Значение
Водоизмещение судна, т	12000
Тип главного двигателя	MaK 9M43C
по ГОСТ	9ЧН 43/61
Мощность, кВт	8100
Частота вращения, мин ⁻¹	500
Удельный расход топлива, кг/(кВт×ч)	0,171

На рис. 2 приведены расчетные данные состава генераторного газа как функции содержания водяного пара в газифицирующем агенте, поступающем в газогенератор. Для рассматриваемого случая, масса шламов подвергающихся газификации выбиралась из расчета 1,5% от часового расхода топлива главным двигателем. Эта цифра соответствует нормам ИМО, однако на практике может быть значительно больше, достигая 2...3%. Влажность шламов принималась на уровне 10% от их массы.

Для рассматриваемого случая была смоделирована парогазовая газификация, при которой массовая доля водяного пара в дутьевом агенте изменялась от 0 до 50%. Наличие серы ни в жидком топливе, ни в продуктах газификации не учитывалось. Ступенчатый характер изменения

концентрации различных компонентов объясняется преобладанием того или иного типа реакций в окислительной и восстановительной зоне газогенератора, а также расходом некоторых компонентов газовой смеси, что приводит к перераспределению реагентов между зонами.

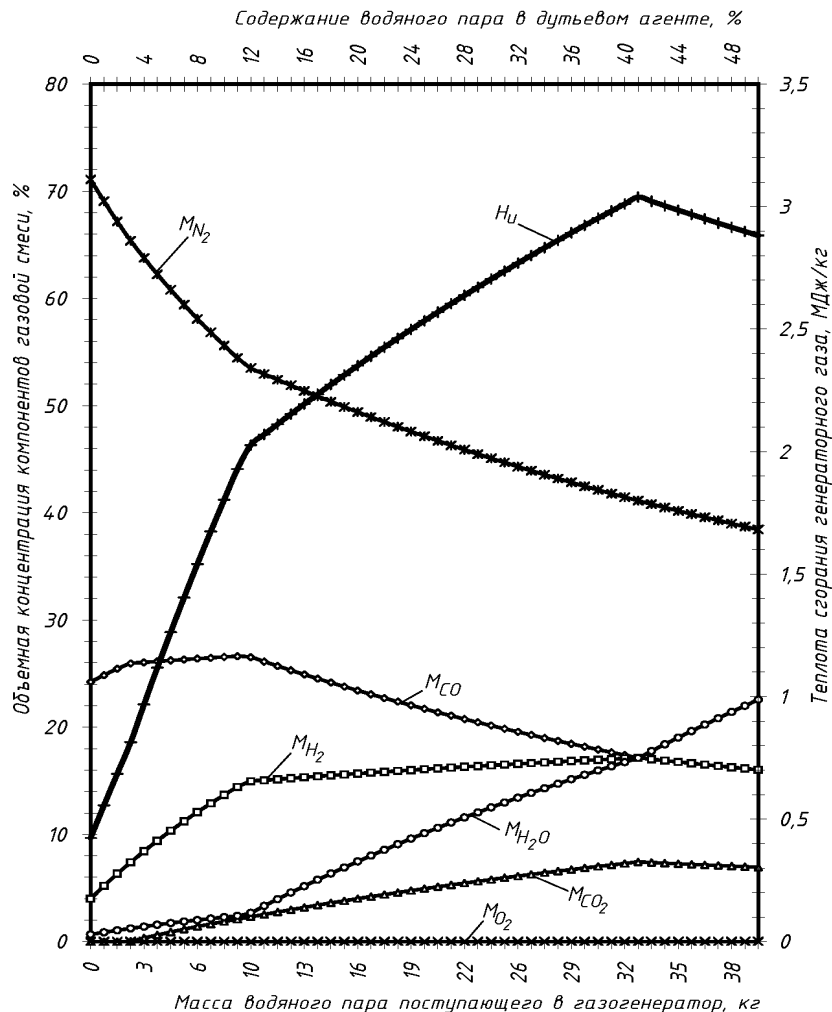
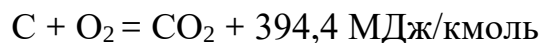
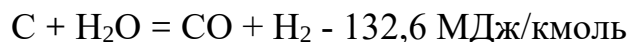


Рисунок 2 – Объемная концентрация компонентов газовой смеси на выходе газогенератора как функция содержания водяного пара в газифицирующем агенте

Из рис. 2 видно, что теплота сгорания генераторного газа с увеличением доли водяного пара от 0 до 41% постоянно возрастает. При этом кислород, содержащийся в дутьевом агенте, практически сразу расходуется по реакции:



При этом в диапазоне от 0 до 12% теплота сгорания возрастает достаточно интенсивно за счет диссоциации воды на углеродном массиве и образования монооксида углерода по реакции:



Увеличение доли водяного пара до 12% приводит к расширению окислительной зоны, вплоть до полного исчезновения восстановительной

зоны и прекращения реакций характерных для нее. На это же указывает перераспределение температур, в разных зонах реактора представленное на рис. 3.

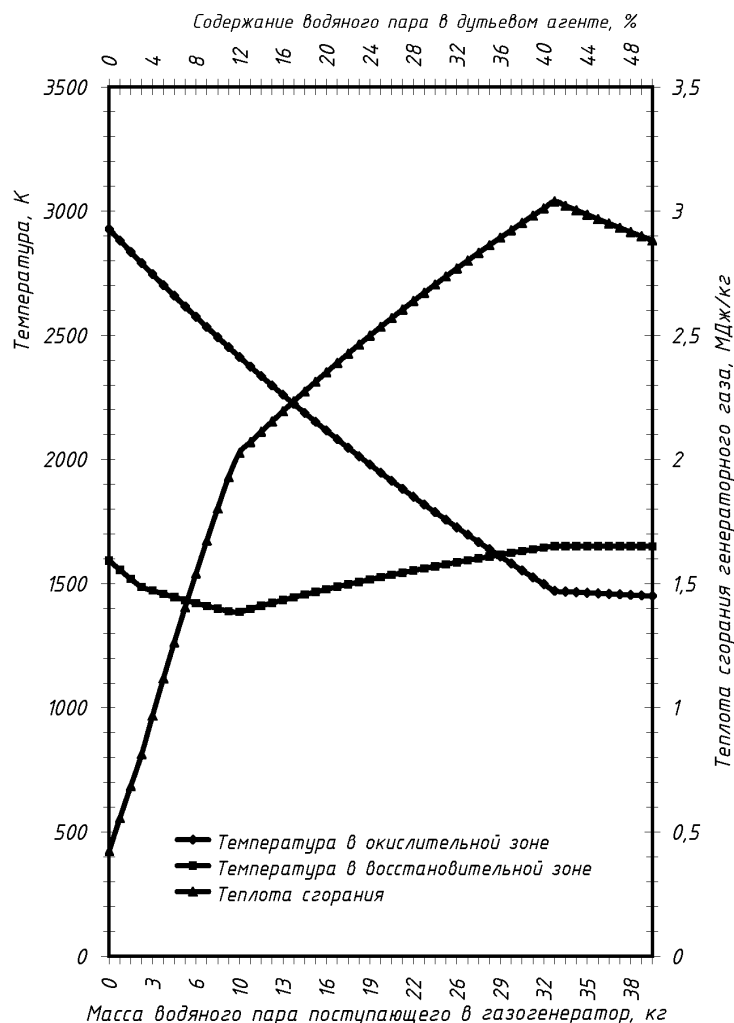


Рисунок 3 – Температуры в окислительной и восстановительной зоне реактора, а также теплота сгорания генераторного газа как функция массы газифицирующего агента

Из приведенных зависимостей видно, что при концентрации водяного пара на уровне 36 %, температура в окислительной зоне, становится ниже, чем в восстановительной. В результате, содержание продуктов восстановления, и в первую очередь монооксида углерода CO , в составе смеси начинает падать. Далее прирост теплоты сгорания идет только за счет выделения водорода. Поэтому теплота сгорания нарастает на участке 12...41% гораздо менее интенсивно. Кроме того растет доля не прореагировавшего водяного пара, который также снижает теплоту сгорания. При повышении концентрации водяного пара свыше 41 %, накопление в смеси водяного пара и диоксида углерода, доля которого возрастает в связи с отсутствием восстановительной зоны, а так же снижение концентрации водорода, приводит к понижению теплоты сгорания генераторного газа. В

результате повышение концентрации водяного пара свыше 41 %, в рассматриваемых условиях очевидно не целесообразно.

Следует отметить довольно стабильные температуры в восстановительной зоне, которые лежат в диапазоне 1386...1561 К, в то время как в окислительной зоне температура снижается практически прямо пропорционально росту концентрации водяного пара с 2928 до 1450 К. При этом во всем рассмотренном диапазоне, температуры остаются достаточными для протекания всех типов реакций, что указывает на устойчивость работы рассмотренного устройства.

Из рисунков 2 и 3 видно, что для рассматриваемого случая, максимальная теплота сгорания генераторного газа в диапазоне возможных режимов работы достигается при концентрации водяного пара в дутьевом агенте на уровне 41 %. Во взятом в качестве прототипа типе СЭУ эта величина соответствует расходу пара 32,8 кг/ч.

Если основной задачей газификации является получение максимально высококалорийного генераторного газа, то этот режим можно считать оптимальным. При решении других задач, например совместная газификация и рециркуляция отработавших газов двигателя, с целью снижения вредных выбросов, критерием выбора режима работы газогенератора может быть количество газов необходимое для рециркуляции или концентрация водяного пара.

Расчеты показали, что при подаче 32,8 кг/ч водяного пара с газифицирующим агентом, можно получить генераторный с теплотой сгорания около 3 МДж/кг. Для поддержания температурного режима восстановительной зоны будет регенерировано 84,7 МДж теплоты отработавших газов. Это составит 0,67% от всей теплоты отводимой ими от двигателя. При этом, может быть получен генераторный газ со следующим объемным составом: CO – 17,15%; H_2 – 17,15%; CO_2 – 7,43%; O_2 – 0,0001%; N_2 – 41,13%; H_2O – 17,14%. В генераторный газ переходит примерно 48,6% теплоты шламов, что хорошо согласуется с экспериментальными данными для близкого по составу дутьевого агента [5]. Можно также ожидать, что наличие газового топлива в рабочем цилиндре двигателя благоприятно скажется на рабочем процессе двигателя, однако такое предположение требует экспериментальной проверки.

Выводы. Разработанная модель процесса газификации шламов в аппарате, имеющем общий тепло- и массообмен с другими элементами СЭУ, позволяет спрогнозировать характер протекания реакций в газогенераторе, при известных параметрах газифицирующего агента и определить состав генераторного газа получаемого на выходе.

Рассмотренная в работе схема позволяет объединить процесс газификации с рециркуляцией отработавших газов и химической регенерацией их теплоты. В результате более 48% теплоты шламов переходит в генераторный газ и возвращается в двигатель. С учетом

регенерации теплоты, эффективность всей судовой установки в рассматриваемом случае может быть повышена на 0,57%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возницкий И. В. Практика использования морских топлив на судах / И. В. Возницкий. – Санкт-Петербург : Изд. ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2005. – 123 с.
2. Белоусов Е. В. Судно как источник загрязнения окружающей среды / Е. В. Белоусов, Н. Н. Кобяков // Сучасні проблеми двигунобудування, стан, ідеї, рішення : матеріали науково-технічної конференції науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників. – Первомайськ : ППІ НУК, 2011. – С. 171-177.
3. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. – 914 p.
4. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : Учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
5. Померанцев В. В. Основы практической теории горения / В. В. Померанцев, К. М. Арфеньев и др. – Ленинград : Энергия, 1973. – 263 с.

Білоусов Є.В., Кобяков М.М., Білоусова Т.П. ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ Й ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ЩО ОДЕРЖУЄТЬСЯ ПРИ КОМПЛЕКСНІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СЕПАРАЦІЇ ПАЛИВА ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ ВОДЯНОЇ ПАРИ В ДУТ'ЄВОМУ АГЕНТІ

Розглянуто питання комплексної утилізації відходів сепарації важкого моторного палива в апаратах, що мають загальний тепло- та масообмін з іншими елементами суднової енергетичної установки. Виконано укрупнену математичну модель процесу паразитної газифікації шламів з хімічною регенерацією теплоти й рециркуляцією відпрацьованих газів, на впуск двигуна. На підставі чисельних експериментів встановлена залежність впливу вмісту водяної пари в агенті, що газифікує, на склад генераторного газу і його теплоту згоряння.

Ключові слова: газифікація, сепарація, хімічна регенерація, шлами, дизельний двигун.

Belousov E.V., Kobayakov N.N., Belousova T.P. RESEARCH OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF POWER GAS GAINED AT COMPLEX SALVAGING OF THE WASTE OF SEPARATION OF FUEL DEPENDING ON THE WATER VAPOUR MAINTENANCE IN THE SUBMITTED AGENT

Problems of complex utilization of a waste of separation of heavy motor fuel in apparatus having common thermal and mass interchanging with other elements of ship power installation are considered. The integrated mathematical model of process паразитної газифікації of slimes with chemical regeneration of warmth and recirculation of the completed gases on a drive admission is executed. On the basis of numerical experiments dependence of influence of the maintenance of water steam in the installing gas agent on structure of generating gas and its warmth of combustion is established.

Keywords: gasification, separation, chemical regeneration, slimes, the diesel engine.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ

Бень А.П.,

Херсонська державна морська академія

У статті розглядають методологічні засади створення системи підтримки прийняття рішень судноводія, визначено перспективні напрямки розвитку таких систем та запропоновано критерії оцінки рівня небезпеки суден при аналізі навігаційних ситуацій.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень судноводія, критерії оцінювання рівня небезпеки, людський фактор судноводіння.

Вступ. Значне зростання інтенсивності морських перевезень за останнє десятиріччя призвело до збільшення кількості морських аварій, у тому числі з людськими жертвами та складними техногенними наслідками, тому підвищення безпеки судноводіння є однією з найбільш важливих проблем сучасного судноплавства. Застосування сучасних інформаційних систем управління рухом судна, з одного боку, полегшує труд судноводіїв, але з іншого – чим складніше функції таких систем, тим гостріше відчувається потреба в координуванні роботи технічних засобів і в інтегруванні інформації, що надається судноводію. Впровадження новітніх технічних засобів управління рухом судна природним чином «відокремлює» судноводія від процесу підтримки заданого рівня безпеки, оскільки він не в змозі повністю безпосередньо контролювати цей рівень в реальному часі. Як показує аналіз причин виникнення аварій на морі [1, 3], головним їх чинником є і залишається так званий людський фактор (близько 80 відсотків всіх випадків) – більшість навігаційних аварій відбуваються не через відмову технічних засобів навігації або керування рухом судна, а через неготовність судноводіїв своєчасно приймати рішення відповідно до ситуації, що складається. Зниження впливу людського фактору на рівень аварійності на морі являє актуальну науково-практичну проблему сьогодення, яку необхідно вирішувати в розрізі оптимізації взаємодії судноводія з сучасними технічними засобами. Звідси випливає, що велику увагу необхідно приділяти не тільки особистим і діловим якостям судноводія, а і їх прояву в складній ергатичній системі з управління рухом судна.

Постановка задачі. На підставі аналізу ряду публікацій, присвячених тематиці, що розглядається, [1-6], можна зробити висновок, що на поточний час питання створення та практичного впровадження систем підтримки прийняття рішень для задач судноводіння пророблені недостатньо і викликають значний інтерес у дослідників. Метою роботи є визначення перспектив розвитку систем підтримки рішень судноводія та розробка методологічних засад їх побудови.

Основна частина. При визначенні специфіки взаємодії судноводія з технічними засобами слід прийняти до уваги, що сучасне морське судно

разом з представниками плавскладу на борту являє собою один з різновидів діючої системи «людина – машина», яка за видом є ергатичною системою. Сучасні автоматизовані системи, що застосовуються на судні, призначені для полегшення і спрощення трудової діяльності представників суднового екіпажу, зменшення з їх боку помилок, зниження чисельності персоналу судна, підвищення ефективності і безпеки процесів управління.

Однак, практика доводить, що разом з позитивними аспектами обладнання сучасних суден новітніми технічними засобами та автоматизованими системами, в якості передумови професійних помилок представників плавскладу часто виступає неузгодженість параметрів взаємодії людини з цими технічними засобами, неефективний розподіл функцій між ними та представниками плавскладу. Підставою тому є безпосередня специфіка автоматизованих систем, а також процесу психологічного професійного реагування на її технічні показники з боку суднових операторів. Тому, саме автоматизація часто виступає причиною багатьох морських аварій і катастроф, оскільки її високий рівень на борту судна породжує ряд специфічних психологічних проблем у сфері людино-машинної взаємодії. Часто це пов'язано з пасивністю чи зниженням провідної ролі операторів в процесі безпосереднього управління технічними системами та прийняття на цієї підставі певних управлінських рішень.

Аналіз процесів прийняття рішень судноводієм, дозволяє виявити п'ять базових принципів, які застосовуються ним на практиці:

- увага судноводія концентрується переважно не на варіантах розв'язання задачі розходження, а на умовах перебігу процесу управління судном, які він аналізує, спираючись на свій досвід практичної діяльності;
- при сприятливих умовах (невелика кількість об'єктів, добра видимість, відсутність втоми) судноводій здатний самотійно долати фактори неточності й невизначеності опису навігаційної ситуації й оперативно приймати вірне рішення на основі наявного досвіду;
- при несприятливих умовах, наявності численних і різноманітних впливів зовнішнього середовища, судноводій вирішує задачу розходження на основі найбільш значущих факторів і системи узагальнених оцінок, не беручи до уваги багатьох «несуттєвих» деталей, свідомо огрублюючи задачу для більш швидкого її виконання;
- аналізуючи інформацію про навігаційну ситуацію в зоні маневрування, судноводій підсвідомо оцінює динаміку навігаційних параметрів, екстраполюючи їх очікувану зміну в часі й формуючи єдину модель подальшого її розвитку;
- у складних умовах судноводій постійно оцінює не тільки динаміку розвитку подій у зоні маневрування, але й імовірність досягнення поставленої мети, яка проявляється у вигляді емоційного відчуття успіху або тривоги.

Стрімкий розвиток технічних засобів судноводіння, удосконалення судових радіолокаційних систем і особливо використання для обробки

одержуваної інформації спеціальних процесорів дозволили вести безперервний моніторинг навігаційної ситуації та здійснювати контроль за зміною навколишньої обстановки і спостереження (в тому числі і автоматичне) за багатьма рухомими та нерухомими об'єктами, які можуть створювати потенційну небезпеку зіткнення.

Обчислення на певний момент часу майбутнього положення свого судна та зустрічних об'єктів дає можливість вибрати і при необхідності здійснити оптимальний маневр розходження суден або безпечне проходження нерухомих перешкод.

Наявний досвід розробки систем підтримки прийняття рішень (СППР) в судноводінні дозволяє зробити висновок, що для ефективного практичного застосування таких систем необхідно дотримання низки важливих вимог, які обумовлені, з одного боку, особливостями функціонування та практичного впровадження безпосередньо СППР, а з іншого – безпосередньо умовами прийняття рішень в судноводінні.

Зазначені обставини обумовлюють наступні вимоги до СППР судноводія:

- робота СППР в режимі реального часу і її інтеграція з наявними на судні системами управління рухом;
- необхідність врахування під час роботи СППР всіх вимог міжнародних правил попередження зіткнення суден (МППЗС-72);
- необхідність графічного подання ситуації, що склалася, з візуальними відзначенням меж зон безпеки власного судна та динамки їх змін;
- необхідність аналізу під час прийняття рішень декількох можливих сценаріїв розходження, зумовлених цілеспрямованою поведінкою суден-цілей під час їх руху;
- необхідність врахування впливу зовнішніх умов в зоні маневрування, зокрема гідрометеорологічного фактору, наявних глибин, вузькостей та навігаційних небезпек;
- врахування попереднього досвіду управління рухом судна в аналогічних умовах, якщо такий мав місце.

Окремим важливим аспектом розробки СППР є визначення системи критеріїв оцінювання рівня небезпеки навігаційної ситуації, що склалася. Передбачається доцільним застосування комплексної оцінки рівня небезпеки, що базується на системі критеріїв, на основі яких з застосуванням існуючих методів багатокритеріального оцінювання будується узагальнений критерій.

Критерій найкоротшого зближення за часом або дистанцією. Зазначені критерії широко використовується в автоматичних системах радіолокаційної прокладки (АСРП). Критерій найкоротшого зближення за дистанцією полягає в тому, що штурман встановлює мінімальну допустиму дистанцію зближення з іншими судами ($D_{кр}$). Якщо умова $D_{зад} > D_{кр}$ не задовільняється, необхідно провести маневр для обходу навігаційного об'єкта на безпечній відстані. Критерій це час найкоротшого зближення за

часом $t_{кр}$, його мінімальне значення ($t_{зад}$) – також задає штурман. Якщо умова $t_{зад} > t_{кр}$ не задовольняється, тоді маневр уникнення зіткнення повинен бути здійснений негайно, щоб судна могли обійти один одного на безпечної дистанції. Комплексний критерій найкоротшого зближення одразу два параметри і $D_{кр}$ і $t_{кр}$.

Критерій зони безпеки судна. При управлінні судном судноводій визначає певну зону навколо судна, в якій виокремлюють небезпечну і безпечну ділянки. Зазначену зону судноводій намагається тримати вільною від інших об'єктів і будь-яке потрапляння в її межі сторонніх цілей, являє собою загрозу навігаційної безпеки. Форма зон може бути у вигляді кола, прямокутника, еліпса, трикутника, або у вигляді складних фігур. Її розміри залежать від значної кількості факторів, що ускладнює точне визначення меж. При прийнятті рішення з визначення меж зони безпосередньо судноводієм має місце фактор суб'єктивності оцінки рівня небезпеки.

Критерій нечіткої зони безпеки судна. Критерій є розширенням попереднього критерію в тому сенсі, що зона безпеки визначається із застосуванням функції приналежності і має нечіткі межі. Її форма і розмір залежать від поточного рівня навігаційної безпеки, який визначається як ступінь належності навігаційної обстановки до безпечної ситуації. Межі нечіткій області для різних значень рівня навігаційної безпеки – γ ($\gamma \in [0, 1]$); $\gamma = 0$ – безпечні умови; $\gamma = 1$ – дуже небезпечні умови. В залежності від умов, судноводій приймає мінімально допустимий рівень γ та/або шукає компроміс між цим критерієм та іншими критеріями оцінки небезпеки зіткнення.

Критерій оцінки динаміки змін навігаційних параметрів руху. В якості основного параметру критерієм розглядається зміна курсового кута лінії відносного руху, а в якості допоміжних – динаміку змін пеленгів і дистанцій суден [2]. Якщо пеленг, цілі що наближується, не змінюється – виникає ситуація небезпечного зближення суден, якщо пеленг змінюється – судна розійдуться на деякій відстані, величина якої тим менша, чим повільніше відбувається зміна пеленгу цілі.

Представляється доцільним використання в якості основного параметра для такої оцінки зміну курсового кута лінії відносного руху (ЛВР) суден, а в якості додаткового параметру – зміну їх пеленгів і дистанцій.

Розглянемо ситуацію зближення двох суден, представлену на рис 1. Судно характеризується параметрами: V_n, K_n, D_0 (V_n – швидкість судна А, K_n – курс судна А, D_0 – дистанція до судна В), судно В – параметрами: V_u, K_u, D_0 (V_u – швидкість судна В, K_u – курс судна В, D_0 – дистанція до судна А). K_0 – поточний курс лінії відносного руху (ЛВР) цілі, K_1, K_2 – можливі ЛВР цілі, $\alpha_c, \alpha_{лк}, \alpha_{нк}$ – кути перетину відповідних ЛВРів з курсом судна А, а D_0, D_2, D_3 , – від судна В до точок перетину його ЛВРів з курсом судна А. D_1 – дистанція до точки перетину курсів, P – різниця курсів.

Якщо $\alpha_c < \alpha_{nn}$, то ЛВР перетинає курс по носу, якщо $\alpha_c > \alpha_{нк}$, то ЛВР перетинає курс по кормі. Більш точна оцінка зміни небезпеки зіткнення, обумовленої зміною кута ЛВР, вимагає встановлення залежності швидкості зміни кута ЛВР від швидкості зміни кута Θ ($\Theta = K_u - K_0$). Скористаємося рівністю кута α_c в трикутнику позицій з кутом α_l в трикутнику швидкостей.

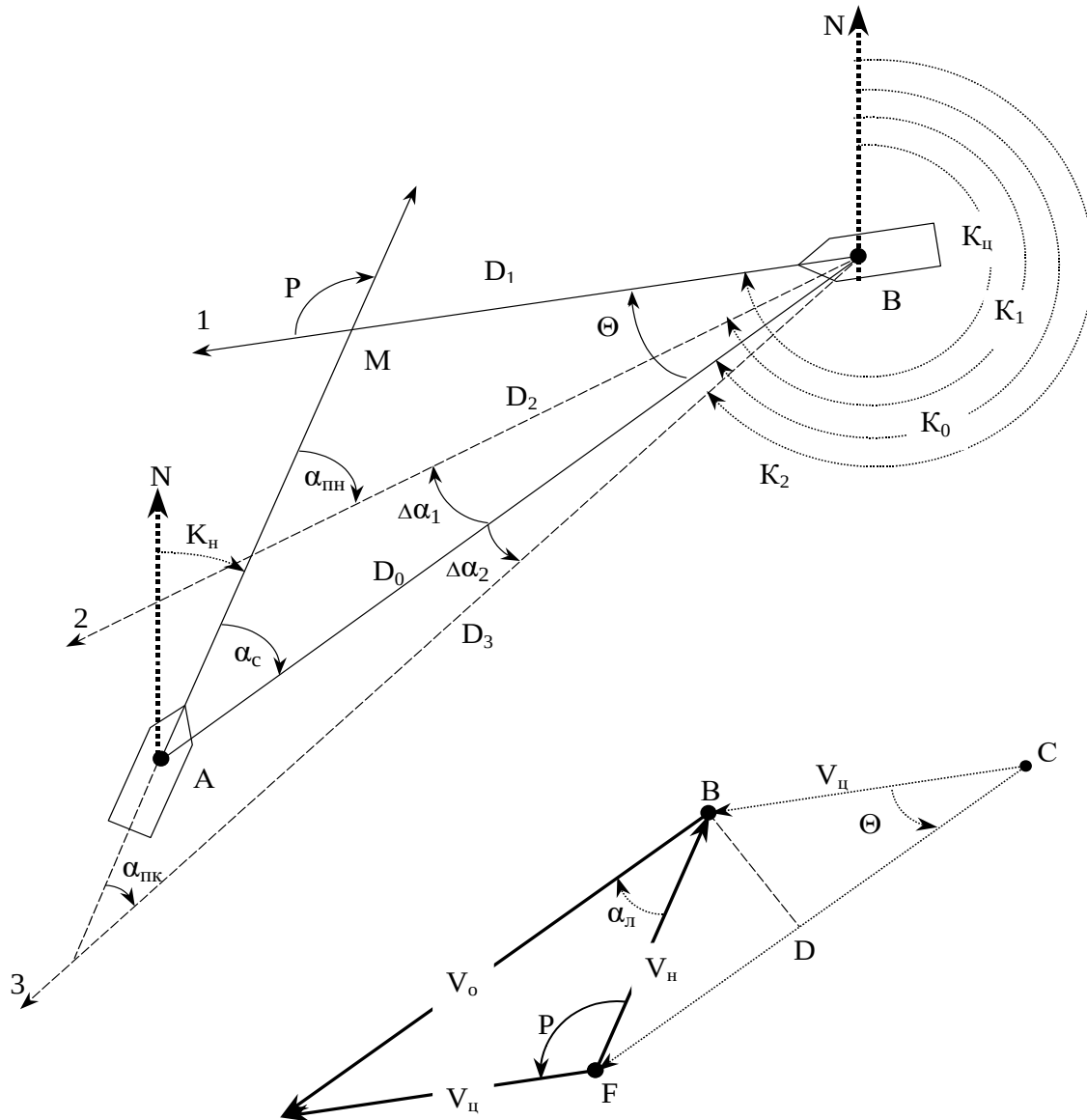


Рисунок 1 – Оцінка небезпеки зіткнення по зміні курсового кута ЛВР

З векторного трикутника швидкостей кут α_l за допомогою теореми синусів можна визначити як:

$$\frac{V_u}{V_n} = \frac{\sin \alpha_l}{\sin \Theta}, \text{ или } \alpha_l = \arcsin \left(\frac{V_u \sin \Theta}{V_n} \right). \quad (1)$$

Диференціюючи вираз (1), визначимо швидкість зміни α_l від Θ :

$$d\alpha_{\text{л}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_{\text{ц}} \sin \Theta}{V_{\text{н}}}\right)^2}} \frac{V_{\text{ц}}}{V_{\text{н}}} \cos \Theta d\Theta. \quad (2)$$

Спростуючи вираз (2), отримаємо:

$$d\alpha_{\text{л}} = \frac{V_{\text{ц}} \cos \Theta d\Theta}{\sqrt{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{ц}}^2 \sin^2 \Theta}} = \frac{\cos \Theta d\Theta}{\sqrt{\frac{V_{\text{н}}^2}{V_{\text{ц}}^2} - \sin^2 \Theta}}. \quad (3)$$

Отже, залежність швидкості зміни $\alpha_{\text{л}}(\alpha_{\text{с}})$ від швидкості зміни визначатиметься співвідношенням:

$$\Delta\alpha_{\text{л}} = \Delta\alpha_{\text{с}} = \frac{\cos \Theta}{\sqrt{\left(\frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{ц}}}\right)^2 - \sin^2 \Theta}} \Delta\Theta \quad (4)$$

Вираз (4) дозволяє визначити швидкість зміни курсового кута ЛОД, а, отже, динаміку зміни поточної навігаційної ситуації – наближення ЛОД до нашого судна по носу або по кормі свідчить про зростаючу загрозу зіткнення. Додатковим критерієм оцінки небезпеки зіткнення може служити динаміка зміни пеленгів суден. З метою підвищення точності оцінки необхідно брати серію пеленгів, що дозволить судити про їх постійність, і, відповідно, про наявність небезпеки зіткнення. При оцінці небезпеки навігаційної ситуації по зміні пеленга необхідно керуватися наступними положеннями:

- якщо пеленг цілі, що наближається, не змінюється, то розвивається ситуація зближення судів впритул;
- якщо пеленг цілі, що наближається, змінюється, то в процесі розвитку ситуації суду розійдуться на деякій відстані, величина якої буде тим менше, чим повільніше змінюється пеленг цілі.

У разі, якщо судна розходяться на незначній відстані, по мірі їх зближення швидкість зміни пеленга збільшується, досягаючи найбільшої величини у момент зближення на найкоротшу відстань $D_{\text{кр}}$. Аналіз ситуації небезпеки зіткнення суден проводиться на підставі даних суднової станції радіолокації (РЛС) в період від моменту виявлення цілі до початку маневру по відстані $D_{\text{кр}}$, визначуваного прокладенням радіолокації. При виявленні судна РЛС необхідно враховувати погрішність $D_{\text{кр}}$ визначення величини, що виникає внаслідок випадкових погрішностей пеленгації, а також розміри суден.

Застосування зазначених критеріїв дозволяє розрахувати в СППР параметри зони безпеки навколо власного судна.

Беручи до уваги вищезазначені вимоги до створення СППР, особливості процесу прийняття рішень судноводієм, та критерії оцінки небезпеки зіткнення можна визначити концептуальні засади побудови СППР судноводія, що працює в реальному часі:

- рух кожного із суден – учасників навігаційної ситуації повинен розглядатися з позицій цілеспрямованої поведінки, що має за мету уникнення зіткнень з іншими суднами, максимально дотримуючись при цьому вимог МППЗС-72;

- для аналізу процесу розвитку навігаційної ситуації, що склалася, необхідно будувати кількакрокові сценарії розвитку ситуації, беручи до уваги динамічні моделі поведінки суден – учасників руху;

- в якості формальних моделей побудови сценаріїв доцільно застосовувати математичний апарат теорії ігор (неантагоністичні моделі) у поєднанні з методами штучного інтелекту;

- кількість можливих сценаріїв розвитку навігаційної ситуації, що аналізуються доволі значна і її необхідно зменшувати, виходячи як з обмежень МППЗС-72, так і динаміки змін ключових параметрів руху суден (ліній відносного руху, пеленгів та швидкостей). Для зазначених цілей найбільш доцільно застосовувати каталог ситуацій [6].

Висновки. Запропоновані принципи побудови СППР судноводія дозволять скоротити час на розробку необхідного програмного забезпечення, підвищити достовірність класифікації суден за рівнем небезпеки і точність визначення прогнозних траєкторій їх руху, та забезпечити судноводію більший проміжок часу на маневрування.

Застосування СППР дозволить підвищити безпеку судноводіння за рахунок якісного аналізу навігаційної ситуації в реальному часі, виключення фактору суб'єктивності оцінки ситуації, що склалася, та зменшення, як наслідок, впливу людського фактору на процеси прийняття рішень з управління рухом судна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексейчук М. С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов / М. С. Алексейчук // Судовождение : сб. науч. трудов ОГМА. – 1999. – Вып. 1. – С. 7-14.

2. Бень А. П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А. П. Бень // Вестник ХНТУ : сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34). – С. 429-433.

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

4. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2008. – 235 с.

5. Мальцев А. С., Орлов Е. О. Некоторые особенности применения АИС для предупреждения столкновений судов // Судовождение. – 2007. – № 14. – С. 71-78.

6. Мальцев А. С. Каталог ситуаций и видов маневра при относительном движении судов // ОНМА, кафедра «Управление судном», 2005. – 38 с.

Бень А.П. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУДОВОДИТЕЛЯ

В статье рассмотрены методологические основы создания системы поддержки принятия решений судоводителя, определены перспективные направления развития таких систем и предложены критерии оценки уровня опасности для судов, исходя из анализа навигационной ситуации.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений судоводителя, критерии оценивания уровня опасности, человеческий фактор судовождения.

Ben A.P. FUTURE DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SKIPPER

The article considers the methodological principles of creating decision support systems navigators, identified promising directions of development of such systems and propose criteria for assessing the level of risk ships navigating in analyzing situations.

Keywords: decision support system navigators, the criteria for evaluation of risk, human factors navigation.

УДК 629.5.017.15.002.71.(06)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ ГРУЗОВ НА МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДОВ

Бень А.П., Кошелик Л.А.,

Херсонская государственная морская академия

В работе произведен анализ влияния физических и биологических свойств зерновых грузов на мореходные качества судов. Предложена концепция создания специализированной автоматизированной системы контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые.

Ключевые слова: морская перевозка зерновых грузов, автоматизированные системы контроля мореходства, контроль мореходных качеств судов.

Постановка проблемы и цель исследования. В настоящее время Украина является одним из мировых лидеров в производстве и экспорте зерновых. Более 90% экспортного потока зерновых из Украины отгружается насыпом морским транспортом через порты Черноморского побережья [1].

Важнейшим условием обеспечения экспорта зерновых является способность морского транспорта обеспечить выполнение условий доставки грузов в соответствии с заключенными контрактами. Для выполнения этой задачи возникает необходимость в повышении качества морских перевозок зерновых грузов и обеспечения надлежащего контроля его сохранности во время рейса.

Особенностью перевозок навалочных грузов в Украине и Черноморском регионе в целом является то, что по ряду причин зерновые перевозятся не только судами большой грузоподъемности, но и малыми, и средними судами грузоподъемностью от 3 до 10 тыс. тонн, неоснащенными автоматизированными системами контроля состояния зернового груза.

Сложившаяся ситуация объясняется, во-первых – технической неприспособленностью судов для установки таких систем; во-вторых – высокой стоимостью и сложностью в обслуживании систем контроля; в-третьих – нежеланием судовладельцев производить качественный контроль перевозимых грузов. Третий фактор в большинстве случаев является решающим.

Уже существующие системы контроля мореходных качеств морских судов (автоматизированная система «САДКО-МАРИН», комплекс MasterLoad, система фирмы Транзас Марин, бортовой ПК «STABEDIT» [2]) не учитывают в полной мере особенности физических и биологических свойств перевозимых зерновых грузов, а тем более разнообразие их номенклатуры.

Перевозка зерновых грузов связана с определенной степенью опасности, которая может быть вызвана: смещением груза и образованием крена судна; разжижением и перетеканием груза; самонагреванием и самовозгоранием груза; повышенной концентрацией в грузовых помещениях ядовитых или взрывоопасных газов; нарушением прочности корпуса и т.д.

Поэтому для обеспечения сохранности перевозимого зерна и его безопасной перевозки необходимо учитывать влияние свойств зернового груза на судно.

Настоящее исследование преследует цель определить влияние физических и биологических свойств зерновых грузов на мореходные качества судов для дальнейшего использования этих знаний в процессе разработки специализированной автоматизированной системы контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые.

Изложение основного материала. Зерновые грузы, перевозимые морем, имеют широкую номенклатуру (злаковые, бобовые, масличные), но обладают рядом общих для всех зерновых культур физических и биологических свойств. К физическим свойствам зерна относят: сыпучесть; способность к усадке; плотность; скважистость; сорбционные свойства (паро- и газопоглощение, гигроскопичность); теплопроводность и удельная теплоемкость. Биологическими свойствами являются такие свойства зерна как дыхание, прорастание, самосогревание. Физические и биологические свойства зерновых грузов оказывают влияние на мореходные качества судна и его рациональную загрузку.

Плотность γ зернового груза характеризуется коэффициентом уплотняемости K , который для сухих грузов может быть рассчитан по формуле

$$K = \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{ст}}, \quad (1)$$

где γ_{ϕ} – фактическая плотность груза, г/см³; $\gamma_{ст}$ – стандартная плотность груза, г/см³.

При вибрационном уплотнении в массе зернового груза происходит переформирование частиц груза, в результате чего резко уменьшается пористость, а, следовательно, увеличивается плотность.

Пористость сыпучего груза можно рассматривать как функцию размера его частиц d_{ϕ} и ширины грузового помещения B . Средняя пористость сыпучего груза может быть определена по следующей зависимости [3]:

$$P_{cp} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 P_i = \frac{1}{6} \left[5 - \frac{\pi}{\sqrt{3}} \left(1,866 - 0,732 \frac{d_{\phi}}{B} \right) \right] \approx 0,22 \left(1,23 + \frac{d_{\phi}}{B} \right). \quad (2)$$

Из формулы (2) можно заключить, что пористость сыпучего груза возрастает с увеличением размера частиц и уменьшением ширины грузового помещения.

Воздействие качки и вибрации приводит к усадке зернового груза. В процентном отношении величина усадки зернового груза во время рейса может составить 5-10 %.

Важнейшей транспортной характеристикой зернового груза является влажность, от которой зависит интенсивность прохождения биологических

процессов в зерновой массе, его сорбционные свойства и сыпучесть. Влажность зерна, при которой появляется свободная влага, называется критической и для большинства злаковых культур составляет 14,5-15,5% [5].

Поэтому влажность перевозимого зернового груза не должна превышать 15,5% – рис, рожь, овес, пшеница, кукуруза и 16% – горох, бобы кормовые, крупа [4], а во время рейса важно не допускать его увлажнения. В грузовых помещениях должна поддерживаться равновесная влажность перевозимого зерна, т. е. такое соотношение между влажностью груза и относительной влажностью окружающего воздуха, при котором зерно не отдает и не поглощает влагу (рис. 1).

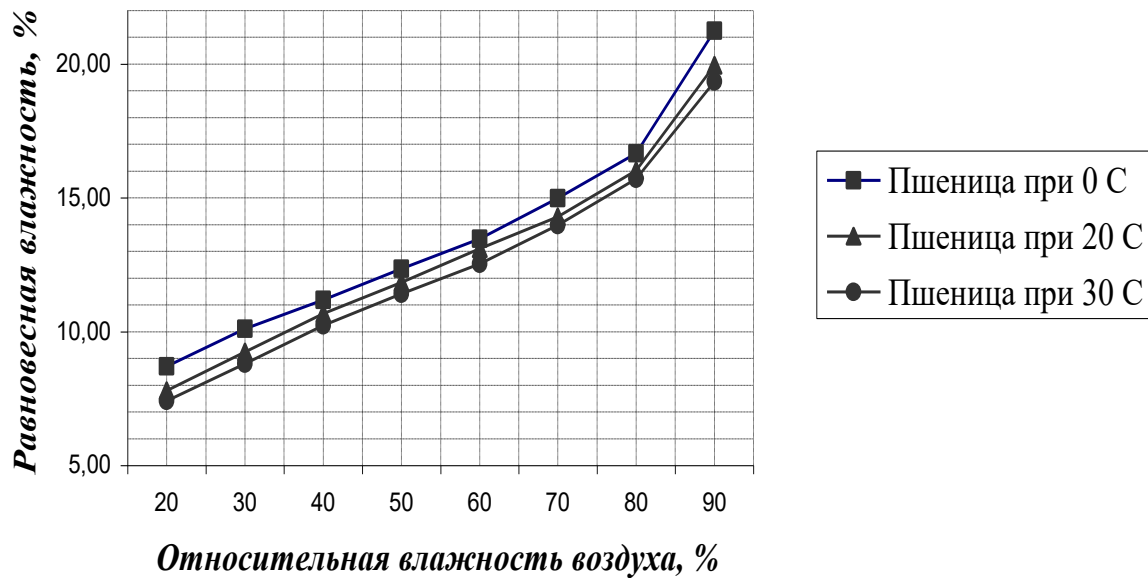


Рисунок 1 – Равновесная влажность пшеницы

Степень увлажнения зернового груза при транспортировке на судне определяется свойствами самого груза и условиями морской перевозки. Увлажнение зернового груза в грузовом помещении может быть вызвано: испарением груза; выпадением конденсата в результате температурных изменений; попаданием влаги извне.

При наличии воды и влаги в зерновом грузе под воздействием вибрации корпуса судна происходят отрицательные изменения его свойств: растекание, разжижение, тестообразное и массообразное пульпирование. Такое состояние «мокрого» зернового груза даже при незначительном волнении моря в 2-4 балла создаёт аварийную ситуацию из-за неоднородного смещения зерна [3]. Кроме того, следствием увлажнения зернового груза является усиление дыхания и активизация жизнедеятельности микроорганизмов, что приводит к увеличению убыли веса груза и снижению его качества. Для снижения активности дыхания зернового груза и замедления жизнедеятельности паразитирующих микроорганизмов относительная влажность воздуха грузовых помещений не должна превышать 50 %.

Дыхание зерна зависит от температуры и сопровождается выделением воды и углекислого газа, что приводит к увеличению гигроскопичности зерна и выделению тепла. Зерновой груз имеет низкую теплопроводность, поэтому накопление тепла в зерновой массе при определенных условиях приводит к самосогреванию, снижению сортности, порче, а иногда и к самовозгоранию зерна. С ростом температуры интенсивность дыхания зерна увеличивается. Для пшеницы, ячменя, ржи максимум интенсивности дыхания соответствует температуре 50-60⁰С, при которой происходит угнетение дыхательных ферментов зерна в результате денатурации белков [6]. Принятая оптимальной температура воздуха при перевозке зерна составляет 25⁰С. Поэтому в процессе морской перевозки зерновых культур необходимо следить, чтобы температура воздуха грузовых помещений не отклонялась от оптимального значения, а также производить контроль невозгораемости зернового груза. Таким образом, для сохранности перевозимого зерна необходимо обеспечивать определенный термовлажностный режим с постоянным контролем температуры и влажности зерновой массы.

Скважистость в значительной мере определяет удельный погрузочный объем зернового груза, степень его оседания при транспортировке, а также газопроницаемость и характеризует соотношение объемов, занимаемых непосредственно зерном и межзерновым пространством [5].

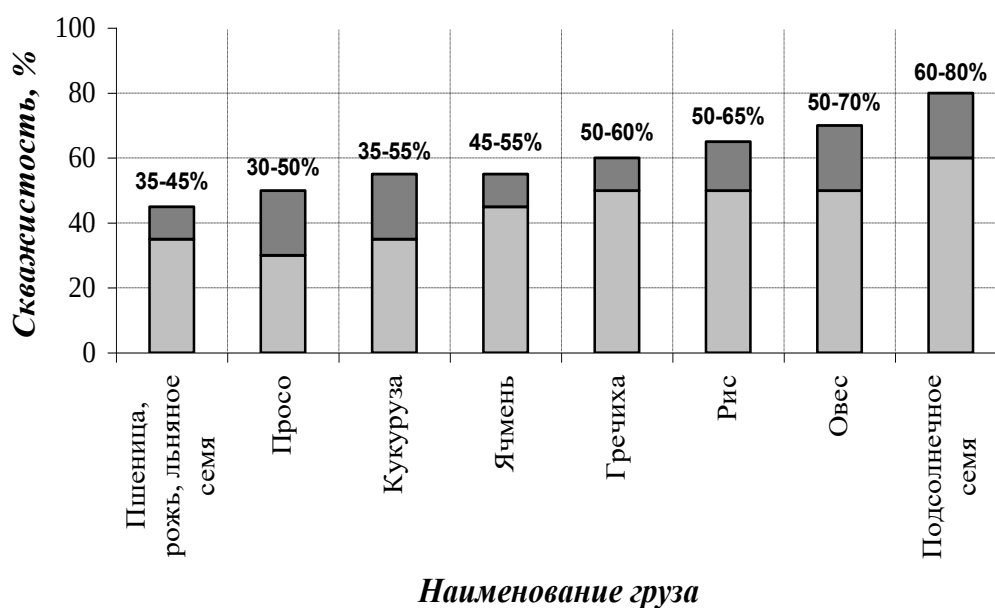


Рисунок 2 – Скважистость основных зерновых грузов

Сыпучесть зерна определяется степенью подвижности частиц зерновой массы и зависит от формы и размеров частиц, влажности, вибрации и качки. Сыпучесть характеризуется углом естественного откоса, представляющим собой угол между боковой поверхностью груза и горизонтальной плоскостью в момент, предшествующий началу осыпания. При крене судна на угол, превышающий величину угла естественного откоса, зерновой груз при наличии свободной поверхности способен перемещаться в сторону крена. Это может вызвать такое смещение центра тяжести, которое приведет к

опрокидыванию судна. При вибрации корпуса судна, изменении влажности груза величина угла естественного откоса может изменяться в опасную сторону [7] и оказывать существенное влияние на остойчивость судна.

Для обеспечения безопасности мореплавания при перевозке зерновых грузов необходимо осуществлять проверку остойчивости судна с учетом возможного перемещения зернового груза и влияния свободных поверхностей запасов воды и топлива в цистернах судна. При расчете остойчивости судов, перевозящих зерновые, должен учитываться угол крена, при котором начинается пересыпание зерна, высота подпалубных пустот и величина усадки зерна вследствие качки и вибрации судна.

Таким образом, в течение рейса на судне, перевозящем зерновые насыпью, для обеспечения сохранности груза и снижения влияния физических и биологических свойств зерна на мореходные качества судна необходимо обеспечивать постоянный контроль параметров зерновой массы и производить анализ основных мореходных характеристик судна. Для облегчения решения этих задач на судах, постоянно перевозящих зерновые грузы насыпом, целесообразна установка специализированных автоматизированных систем, которые могли бы в полном объеме учитывать особенности перевозимого зернового груза и производить качественный и эффективный контроль.

Система должна обеспечивать мониторинг и автоматизированную оценку параметров текущего состояния зернового груза, посадки судна, его начальной и динамической остойчивости, напряжений в корпусе от общего изгиба судна. Конструктивно система должна включать в себя такие составляющие:

- подсистему автоматизированного контроля температуры зерна;
- модуль контроля влажности зерна;
- модуль контроля загазованности грузовых помещений;
- модуль контроля посадки судна;
- подсистему контроля прочности;
- подсистему контроля крена и дифферента судна;
- подсистему контроля уровней жидких и сыпучих грузов;
- подсистему обработки оперативной информации, ее регистрации и документации.

Специализированная автоматизированная система контроля мореходных качеств судов, перевозящих зерновые, должна разрабатываться с учетом возможности ее интегрирования с другими бортовыми автоматизированными системами и обеспечивать передачу всех необходимых данных на центральный пост управления в ходовой рубке судна.

Выводы. Ключевыми параметрами, которые необходимо контролировать при перевозке зерновых являются: влажность, температура, загазованность грузовых помещений; продольное и поперечное смещение зерна; посадка, остойчивость и прочность судна в различных состояниях

загрузки. Контроль таких параметров должен осуществляться непрерывно в течение рейса судна, что может быть достигнуто путем использования специализированной системы контроля. Применение такой системы позволит обеспечить мониторинг и контроль состояния груза и мореходных качеств судов, перевозящих зерновые, а также обеспечит безопасность доставки грузов и сохранность их потребительских качеств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов Г. Проблемы перевалки зерновых в портах Украины // Порты Украины. – 2011. – № 04 (106).
2. Жуков Ю. Д. Мореходные качества корабля. Часть III. Инструментальные средства изучения и методы контроля мореходных качеств корабля : учебное пособие / Ю. Д. Жуков, Е. К. Клименко, В. П. Шестопад. – Николаев : Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2007. – 144 с.
3. Кубышкин С. В. Эффективные методы повышения несмещаемости сыпучего груза при морских перевозках // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып.12. – Одесса : «ИздатИнформ», 2006. – С. 71-74.
4. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем : учебник для вузов. / В. И. Снопков. – СПб : АНО НПО «Мир и семья», 2001. – 560 с.
5. Белоусов Л. Н. Технология морских перевозок грузов / Л. Н. Белоусов, Я. Г. Корхов. – М. : Транспорт, 1972. – 320 с.
6. Егоров Г. А. Технологические свойства зерна / Г. А. Егоров. – М. : Агропромиздат, 1985. – 334 с.
7. Аксютин Л. Р. Грузовой план судна / Л. Р. Аксютин. – Одесса : ЛАТСТАР, 1999. – 140 с.

Бень А.П., Кошелик Л.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ ГРУЗОВ НА МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДОВ

В роботі проведено дослідження впливу фізичних і біологічних властивостей зернових вантажів на морехідні якості суден для їхнього подальшого використання в процесі розробки спеціалізованої автоматизованої системи контролю морехідних якостей суден, що перевозять зернові. Запропоновано структуру автоматизованої системи та перелік її базових функцій.

Ключові слова: морське перевезення зернових вантажів, автоматизовані системи контролю морехідності; контроль морехідних якостей суден.

Ben A.P., Koshelyk L.A. RESEARCH OF INFLUENCE OF PROPERTIES OF GRAIN-GROWING LOADS ON THE NAVIGATED INTERNALSS OF COURTS

This paper is a study of influence of physical and biological properties of grain cargo at the seaworthiness of vessels for their further use in the development of specialized automated control system seaworthiness of vessels carrying grain. Proposed a structure the automated system and a list of its basic functions.

Keywords: sea transport of grain cargoes, the automated control system seaworthiness, control seaworthiness of vessels.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОБИОНИЧЕСКОГО ДВИЖИТЕЛЯ ПЛАВНИКОВОГО ТИПА ДЛЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Блинцов В.С., Ольшевский С.И.,

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Найдены зависимости для определения мгновенного значения угла атаки набегающего на плавник потока жидкости от параметров движителя. Показана необходимость в точном определении кинематических параметров элементов движителя на всем цикле движения и, в особенности, в крайних его положениях.

Ключевые слова: моделирование, движитель, системы управления.

Введение. Гидробионические движители давно привлекают внимание исследователей, особенно после открытия так называемого «парадокса Грея», который стимулировал большое количество исследований [1 - 6]. Создание движителя, способного обеспечить лучшие маневренность и экономичность, меньшую шумность и большую скорость – конечная цель таких исследований, частью которых является разработка достоверной математической модели плавникового типа для задач синтеза систем управления его работой.

Применение подобного движителя позволит увеличить эффективность подводных аппаратов (ПА), имеющих ограниченную мощность энергоустановки, поскольку позволит функционировать в течение более длительного периода времени (для автономных ПА), увеличит их подвижность и маневренность, что существенно увеличит их функциональные возможности. Предполагается, что улучшение маневренности может быть самым большим преимуществом аппаратов с плавниковым движителем по сравнению с традиционными двигателями типа гребного винта.

Актуальность исследований. Одна из наиболее известных моделей робототехнической рыбы была построена M.S.Triantafyllou и G.S.Triantafyllou [2]. Их рыба-робот имела достаточно управляемых степеней свободы, чтобы довольно точно воспроизводить плавание тунца. Исследователи определили, что форма хвоста и тела тунца способны уменьшить сопротивление движению в воде. Однако вопрос о сравнительной эффективности гребного винта и плавника все еще остается открытым.

Уменьшение шумности – второй довод в пользу дальнейших исследований в этой области. Кроме того, движитель в форме колеблющегося крыла работает более скрытно (по сравнению с гребным винтом), имеется возможность создания векторы силы в разных направлениях, что увеличивает маневренность. К.А.Наргер и др. [5] предложил способ определения оптимальных коэффициентов для привода движителя. S. D. Kelly и др [8, 9] предложили выражения для определения параметров движения в стандартной форме через метод упрощения Лагранжа

в геометрической структуре. Экспериментальная установка была модифицирована R. Mason и J. Burdick [10, 11]. Добавлены степени свободы – поворот в горизонтальной плоскости и перемещение поперек курса. К погруженной части добавлена плоская прямоугольная пластина перед стеблем движителя для эмуляции тела рыбы (корпуса аппарата). Экспериментально подтвержденная модель основывалась на квазистационарной однородной жидкости. К. Morgansen [12] предложил геометрический метод определения продольных и вращательных перемещений. Были попытки сравнения эффективности жесткого крыла, гребного винта и гибкого (составного) крыла. Было показано, что гибкое крыло может иметь наибольшую эффективность [13].

Однако, применительно к созданию эффективных систем управления ПА до сих пор остается нерешенным вопрос о практическом синтезе законов управления движителями в виду отсутствия достоверной математической модели, которая связывала бы работу движителя и поведение всего ПА через мгновенные значения сил и моментов, создаваемых движителем и параметрами состояния приводного двигателя – ток, момент, частота вращения.

Постановка задачи. Целью данной статьи является получение математической модели гидробионического движителя плавникового типа с двумя сочленениями (carangiform) и проверка ее адекватности путем сравнения результатов моделирования с существующими экспериментальными данными.

Изложение основного материала. На рис. 1 схематично показан ПА с гидробионическим движителем плавникового типа (вид сверху). Упрощенно конструкцию можно считать состоящей из трех основных элементов – корпуса ПА (1), стебля движителя (2) длиной $L_{СТ}$ и плавника (3) с хордой $L_{КР}$. Вся система имеет два сочленения O_1 и O_2 .

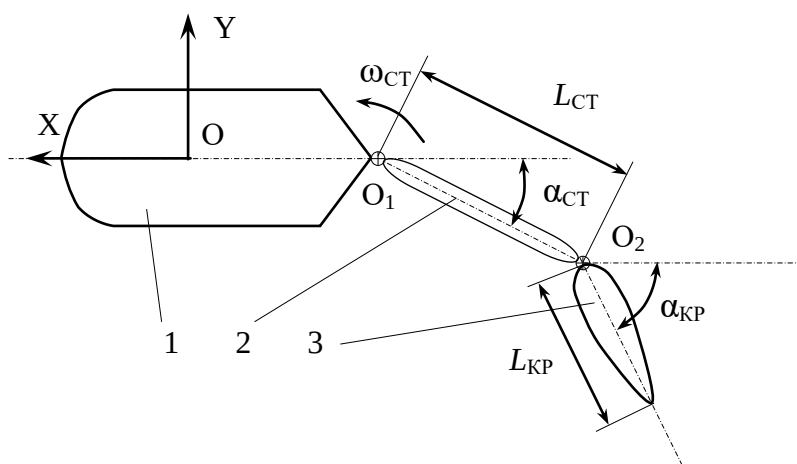


Рисунок 1 – Взаимное расположение элементов движителя

Перемещение элементов происходит в виде поворотов вокруг вертикальных осей, проходящих через кормовую оконечность ПА (точка O_1)

и хвостовую часть стебля (точка O_2).

Для упрощения решения поставленной задачи вводим ограничения, обеспечивающие возможность получения аналитических зависимостей для уравнений движения, определяемые кинематикой механизма. Задание исходных уравнений движения (гармонических или кусочно-линейных) определяет последующие уравнения по принципу координата – скорость – ускорение. Кроме того, на данном этапе рассматриваем движение ПА только в горизонтальной плоскости.

Кроме того, при разработке модели принимаем следующие допущения:

- окружающая среда – несжимаемая жидкость [14];
- гидродинамические силы определяются режимами обтекания крыла и могут быть получены по известным [14 - 16] зависимостям с учетом конкретных параметров набегающего потока;
- корпус ПА описывается системой дифференциальных уравнений с использованием механизма присоединенных масс и сведением всех воздействий движителя к суммарному вектору силы и суммарному моменту (в проекциях) [17, 20, 21, 22];
- силы, возникающие на стебле движителя, не учитываются ввиду их малости по сравнению с силами, возникающими на крыле [15, 17];
- длина стебля движителя достаточна для того, чтобы исключить влияние корпуса ПА на режимы обтекания крыла движителя [15, 17].

В качестве исходных данных используем следующие параметры.

Геометрические параметры:

- количество плавников движителя – 1;
- длина стебля движителя ($L_{СТ}$) – 1 м;
- положение лопасти – вертикальное;
- форма лопасти – симметричная, относительное утолщение 0,12 (профиль NASA0012);
- ширина лопасти ($L_{КР}$) – 0,1 м;
- высота лопасти ($H_{КР}$) – 0,6 м;
- площадь лопасти ($S_{КР}$) – 0,06 м².

Кинематические параметры:

- частота колебаний стебля ($f_{СТ}$) – 1,0 Гц;
- угловая частота колебаний стебля ($\omega_{СТ} = 2\pi f_{СТ}$) – 6,283 с⁻¹;
- закон изменения угла отклонения стебля ($\alpha_{СТ}$) от ДП – гармонический;
- закон изменения угла поворота крыла относительно стебля ($\alpha_{КР}$) – гармонический, линейный;
- гидродинамические коэффициенты крыла (C_X, C_Y, C_M).

Кинематика движителя описана в виде двух уравнений – движение стебля и движение плавника. Оба вида движения – повороты вокруг осей O_1 и O_2 . Закон изменения угла поворота стебля вокруг оси O_1 :

$$\alpha_{\text{CT}}(t) = \alpha_{\text{CT}0} \cos(\omega_{\text{CT}} t).$$

Исходное состояние механизма движителя – максимальное отклонение стебля от ДП ПА в сторону правого борта.

При описании модели используем связанную систему координат OXYZ. Начало координат O совпадает с центром водоизмещения ПА. Ось OX располагается в ДП ПА, направлена в сторону носовой оконечности ПА, горизонтальна. Ось OY направлена вверх от центра водоизмещения. Ось OZ перпендикулярна плоскости OXY и образует с остальными осями правую систему координат [17].

Вектор собственной скорости ПА относительно воды задаем в виде проекций скоростей на оси связанной системы координат – V_X и V_Z . Линейная скорость точки O_2 определяем через угловую скорость стебля (производную от угла поворота) и длину стебля. Используя принцип сложения скоростей получаем значение проекций вектора скорости набегающего на крыло потока (в точке O_2) на оси OX и OZ:

$$V_{o_2 Z} = -L_{\tilde{N}O} \frac{d \alpha_{\tilde{N}O}}{d t} \cos \alpha_{\tilde{N}O} + V_Z,$$

$$V_{o_2 X} = -L_{\text{CT}} \frac{d \alpha_{\text{CT}}}{d t} \sin \alpha_{\text{CT}} + V_X.$$

В случае постоянной частоты ω_{CT} :

$$V_{o_2 Z} = L_{\text{CT}} \alpha_{\text{CT}0} \omega_{\tilde{N}O} \sin(\omega_{\tilde{N}O} t) \cdot \cos(\alpha_{\tilde{N}O0} \cos(\omega_{\tilde{N}O} t)) + V_Z,$$

$$V_{o_2 X} = L_{\text{CT}} \alpha_{\text{CT}0} \omega_{\tilde{N}O} \cos(\omega_{\tilde{N}O} t) \cdot \sin(\alpha_{\tilde{N}O0} \cos(\omega_{\tilde{N}O} t)) + V_X.$$

В случае переменной частоты $\omega_{\text{CT}}(t)$:

$$V_{o_2 Z} = L_{\text{CT}} \alpha_{\text{CT}0} (\omega'_{\text{CT}} t + \omega_{\text{CT}}) \cdot \sin(\omega_{\text{CT}} t) \cdot \cos(\alpha_{\tilde{N}O0} \cos(\omega_{\tilde{N}O} t)) + V_Z,$$

$$V_{o_2 X} = L_{\text{CT}} \alpha_{\text{CT}0} (\omega'_{\text{CT}} t + \omega_{\tilde{N}O}) \cdot \sin(\omega_{\tilde{N}O} t) \cdot \sin(\alpha_{\tilde{N}O0} \cos(\omega_{\tilde{N}O} t)) + V_X.$$

Определение угла вектора скорости набегающего потока через обратные тригонометрические функции (арктангенс) может привести к возникновению ошибки в знаке угла, представим вектор скорости набегающего потока в виде комплексной функции:

$$\vec{V}_{\text{ff}}(t) = V_{o_2 X}(t) + j \cdot V_{o_2 Z}(t).$$

Вещественную ось полагаем совпадающей с осью OX, а мнимую – с осью OZ. Угол отклонения оси крыла от оси стебля полагаем функцией времени. Тогда мгновенное значение угла атаки будет:

$$\alpha(t) = (\pi - \alpha_{\text{CT}}(t) - \alpha_{\text{KP}}(t)) - \alpha_1(t), \quad (1)$$

где $\alpha_1(t) = \arg(\vec{V}_{\text{HP}}(t))$ – угол между вектором скорости набегающего потока и положительным направлением оси ОХ.

Полная скорость обтекания крыла потоком:

$$V_{\text{ff}}(t) = \sqrt{V_{o_2 Z}^2(t) + V_{o_2 X}^2(t)}.$$

Вектор силы, воздействующий на крыло, определяется через проекции на оси скоростной системы координат – силу лобового сопротивления и подъемную силу. Кроме того, имеется и момент, стремящийся повернуть крыло таким образом, чтобы сила лобового сопротивления стала минимальной (нулевое значение угла атаки для симметричного профиля крыла) [15].

Сила лобового сопротивления:

$$R_x(t) = c_x(\alpha(t)) \frac{\rho}{2} S V_{\text{ff}}^2(t).$$

Подъемная сила:

$$R_z(t) = c_z(\alpha(t)) \frac{\rho}{2} S V_{\text{ff}}^2(t).$$

Вращающий момент:

$$M_y(t) = c_m(\alpha(t)) \frac{\rho}{2} S V_{\text{ff}}^2(t) L_{\text{KP}}.$$

Модуль вектора силы, действующей на крыло:

$$R(t) = \sqrt{R_x^2(t) + R_z^2(t)}.$$

В зависимости от величины собственной скорости ПА и параметров движителя угол атаки может изменяться в значительных пределах. В частности, величина мгновенного значения угла атаки зависит от закона изменения угла поворота крыла относительно стебля во времени. Чаще всего в природе встречается гармоническое изменение. В [18] при анализе движения дельфинов была экспериментально получена зависимость угла наклона лопасти хвостового плавника к направлению движения близкая к синусу. В [6] подобные же результаты получены для рыб. При разработке роботорыбы [19] для упрощения механики движителя был реализован постоянный угол поворота крыла относительно стебля.

Приведенные выше зависимости для получения полного вектора скорости набегающего потока позволяют определить границы изменения угла атаки для выбора корректного способа определения вектора гидродинамических сил, возникающих на крыле движителя.

Переход от угла по отношению к отрицательному направлению оси ОХ

к углу между крылом и стеблем выполняем по формуле:

$$\alpha_{\text{кр}}(t) = -\alpha_{\text{ст}}(t) + \alpha_{\text{кр}0 \text{ ДП}} \sin(\omega_{\text{ст}} t),$$

где $\alpha_{\text{кр}0 \text{ ДП}}$ – максимальный угол отклонения крыла от ДП ПА.

В соответствии с (1) при гармоническом изменении угла поворота крыла:

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= (\pi - \alpha_{\text{ст}}(t) + \alpha_{\text{ст}}(t) - \alpha_{\text{кр}0 \text{ ДП}} \sin(\omega_{\text{ст}} t)) - \alpha_1(t) = \\ &= (\pi - \alpha_{\text{кр}0 \text{ ДП}} \sin(\omega_{\text{ст}} t)) - \alpha_1(t). \end{aligned} \quad (2)$$

При постоянном повороте (с учетом направления движения) относительно стебля:

$$\alpha(t) = \pi - \alpha_{\text{ст}}(t) - \alpha_{\text{кр}0} - \alpha_{\text{нп}}(t). \quad (3)$$

На рис. 2 приведены графики мгновенного значения угла от времени для случая (2) (сплошная линия) и (3) (штриховая линия) при нулевой скорости движения ПА (швартовый режим). Расчет выполнялся в течении одного периода колебаний при частоте 1 Гц и $\alpha_{\text{ст}0} = 25^\circ$, $\alpha_{\text{кр}0} = \alpha_{\text{кр}0 \text{ ДП}} = 65^\circ$.

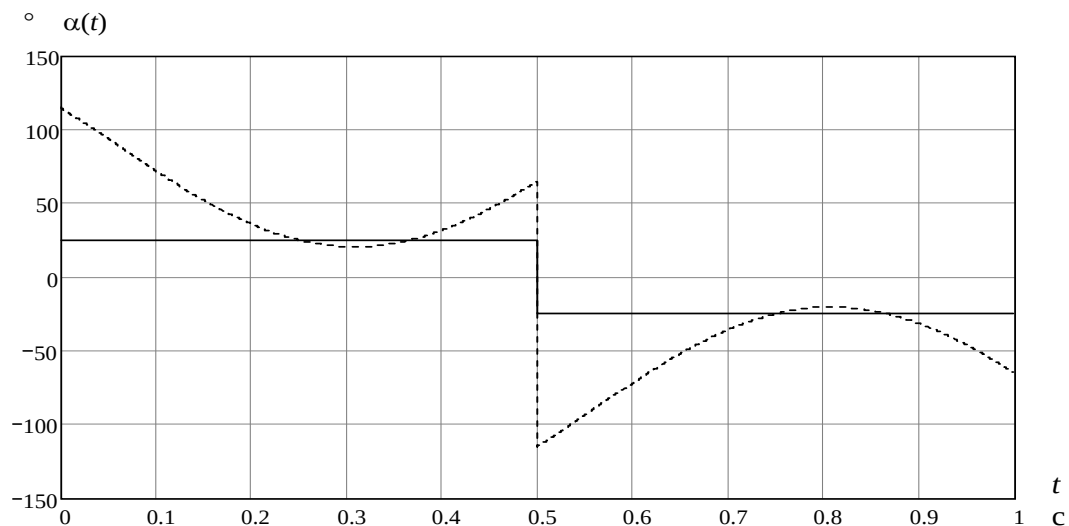


Рисунок 2 – Мгновенное значение угла атаки при $V = 0$

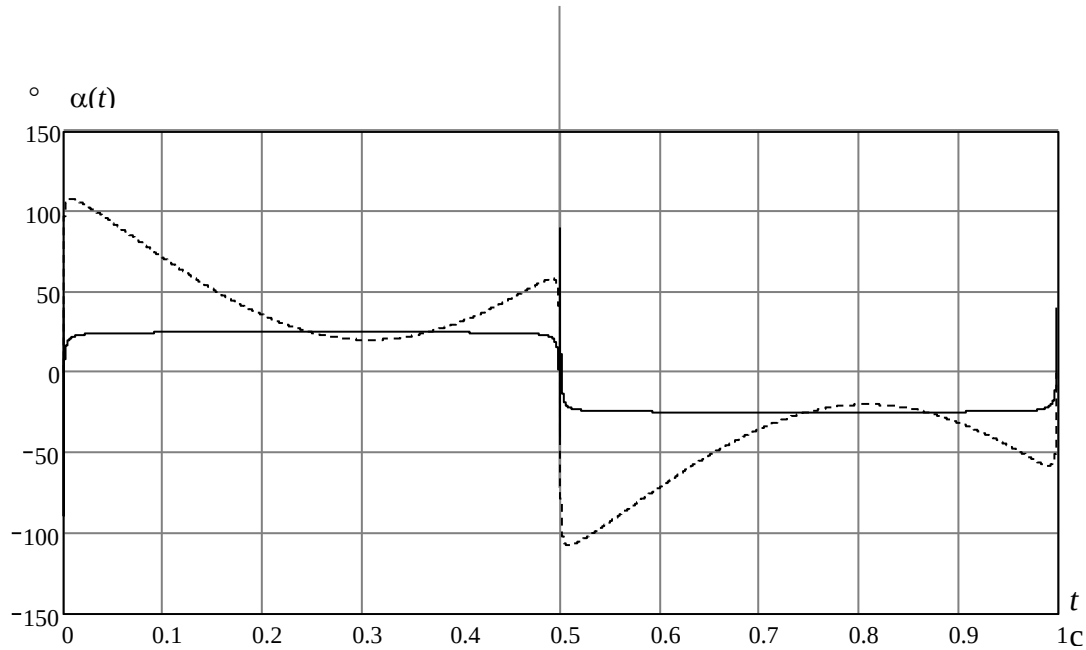


Рисунок 3 – Мгновенное значение угла атаки при $V=V_x = 0,01$ м/с

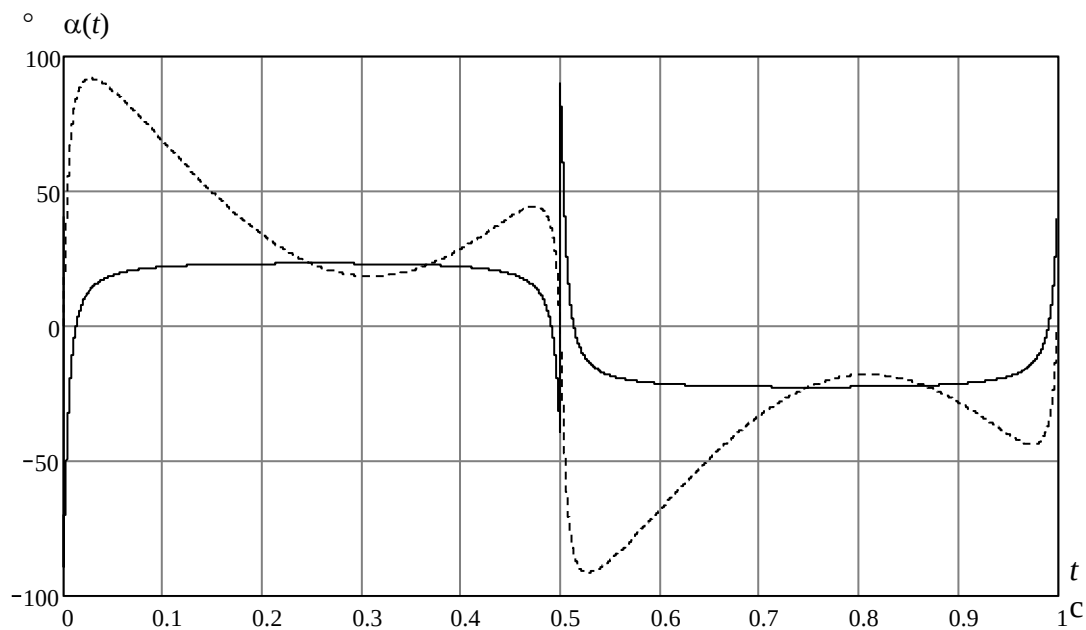


Рисунок 4 – Мгновенное значение угла атаки при $V=V_x = 0,1$ м/с

В моменты $\omega_{ст}(t)=0$ ($t = 0; 0,5$ и $1,0$ с при $f_{ст} = 1,0$ Гц) имеет место резкое изменение угла атаки (величины и/или знака). Характер этого изменения зависит от собственной скорости ПА (рис. 2 ÷ 4).

Выводы.

1. Анализ научно-технической литературы показал перспективность использования в качестве движителей для надводных судов и подводных аппаратов гидробионических движителей плавникового типа, которые дают возможность повышения управляемости морских подвижных объектов, экономии энергоресурсов и снижению шумности.

2. Выполнен обзор существующих моделей гидробионических

двигателей, на основании которого установлены особенности построения и применения моделей, а так же определены их основные недостатки, что позволило уточнить требования к конструкции и техническим характеристикам модели.

3. Анализ сформированных требований к модели гидробионического двигателя позволил обосновать возможность применения кинематической модели с двумя сочленениями, что позволило использовать классические уравнения гидродинамики крыла.

4. При создании модели было учтено, что вид исходных уравнений движения стебля и плавника определяет результирующие уравнения для определения скоростей, позволяющие учесть основные рабочие режимы и характеристики гидробионических двигателей. Это позволило получить математическую модель кинематики гидробионического двигателя с двумя сочленениями.

5. В работе рассмотрены основные зависимости изменения угла наклона лопасти хвостового плавника к направлению движения подводной системы, что позволило обосновать возможность использования гармонической и линейной зависимостей, как наиболее соответствующих реальным объектам.

6. Предложенная математическая модель кинематики гидробионического двигателя с двумя сочленениями с гармонической и линейной зависимостями изменения угла наклона лопасти хвостового плавника к направлению движения подводной системы позволила выявить зависимость мгновенного значения угла атаки от пространственного положения элементов двигателя и скорости продольного перемещения подводного объекта. Это дало возможность проанализировать изменение мгновенного значения угла атаки набегающего потока в зависимости от собственной скорости подводного объекта.

7. Анализ результатов, полученных при моделировании гидробионического двигателя плавникового типа, показал необходимость дополнения модели зависимостями, учитывающими конечность скорости перекладки плавника в крайних точках отклонения стебля двигателя от ДП подводного объекта, что позволит учесть механические и энергетические особенности работы двигателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. Hoar and D. Randall, editors. Fish Physiology, volume 7. Academic Press, 1978. Locomotion.
2. M. S. Triantafyllou and G. S. Triantafyllou. An efficient swimming machine // Scientific American. – March 1995.
3. Слижевский Н. Б. Гидробионика в судостроении : Учеб. пособие / Н. Б. Слижевский – Николаев : УГМТУ, 2002. – 112 с.
4. J. Gray. The propulsive powers of the dolphin // Journal of Experimental Biology, August 1935. – P. 192-199.

5. Ahlborn B., Harper D. G., Blake R. W., Ahlborn D., Cam M. Fish without footprints // Journal of Theoretical Biology, 1991.
6. P. Liu, N. Bose. Hydrodynamic characteristics of a lunate shape oscillating propulsor. Ocean Engineering, 26:519–529, 1999.
7. K. A. Harper, M. D. Berkemeier and S. Grace. Modeling the dynamics of spring-driven oscillating-foil propulsion. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 23(3):285–296, 1998.
8. S. D. Kelly, R. J. Mason, C. T. Anhalt, R. M. Murray, J. W. Burdick. Modeling and experimental investigation of carangiform locomotion for control. In Proceedings of the American Control Conference, pages 1271–1276, June 1998.
9. S. D. Kelly and R. M. Murray. Modelling efficient pisciform swimming for control. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 10:217–241, 2000.
10. R. Mason, J. Burdick. Construction and modeling of a carangiform robotic fish. In International Symposium on Experimental Robotics, Sydney, Australia, 1999.
11. R. Mason, J. Burdick. Experiments in carangiform robotic fish locomotion. In Proceedings of the 2000 International Conference on Robotic and Automation, 2000. – P. 428-435.
12. K. Morgansen, V. Duindam, R. Mason, J. Burdick, R. Murray. Nonlinear control methods for planar carangiform robot fish locomotion. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Automation, pages 427-434, 2001.
13. H. Yamaguchi, N. Bose. Oscillating foils for marine propulsion. In Proceedings of the Fourth International Offshore and Polar Engineering Conference, volume 3, April 1994. – P. 539-544.
14. Кравец А. С. Характеристики авиационных профилей. – М., Л. : Государственное издательство оборонной промышленности, 1939. – 332 с.
15. Павленко В. Г. Основы механики жидкости / В. Г. Павленко. – Л. : Судостроение, 1988. – 240 с.
16. Егоров В. И. Подводные буксируемые системы / В. И. Егоров. – Л. : Судостроение, 1981. – 304 с.
17. Пантов Е. Н. Основы теории движения подводных аппаратов / Е. Н. Пантов, Н. Н. Махин, Б. Б. Шереметов. – Л. : Судостроение, 1973.
18. Романенко Е. В. Гидродинамика дельфинов. Аналитический обзор. Проекты РФФИ №93-04-21415, №96-04-48671, №99-04-48317.
19. Hirata K. Development of Experimental Fish Robot. Proceeding of the 6th International Symposium on Marine Engineering. Volume 2, Tokyo, Japan, 2000. – P. 711-714.
20. Блинцов В. С. Моделирование движения необитаемого подводного аппарата / В. С. Блинцов, С. И. Ольшевский // Зб. наук. пр. УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – № 12. – С. 109-118.
21. Ольшевский С. И. Математическое моделирование режима рывка привязного подводного аппарата / С. И. Ольшевский // Зб. наук. пр. УДМТУ.

– Миколаїв : УДМТУ, 1999. – № 5. – С. 7-13.

22. Ольшевский С. И. Упрощенное моделирование динамики подводного аппарата в задачах программного управления движением / С. И. Ольшевский // Зб. наук. пр. УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 2000. – № 4. – С. 147-156.

Блінцов В.С., Ольшевський С.І. МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОБІОНІЧНОГО РУШІЯ ПЛАВНИКОВОГО ТИПУ ДЛЯ ЗАВДАННЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Знайдено залежності для визначення миттєвого значення кута атаки потоку рідини, що набігає на плавник, від параметрів рушії. Показано необхідність точного визначення кінематичних параметрів елементів рушії на протязі всього циклу руху і, особливо, у крайніх його положеннях.

Ключові слова: моделювання, рушій, система керування.

Блинцов В.С., Ольшевский С.И. DESIGN OF HYDROBIONICS ДВИЖИТЕЛЯ OF FLIPPER TYPE FOR TASKS OF SYNTHESIS OF SYSTEMS MANAGERMENTS

The dependences for determination of attack corner instantaneous value for the liquid stream, running up to a flipper, from the propeller parameters are found. A necessity for the accurate determination of the kinematical parameters of the propeller' elements at the whole cycle of motion and, particularly, in the extreme positions, is exposed.

Keywords: design, truster, control systems.

МАРКИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Бочаров М.С., Скипа М.И.,

Отделение гидроакустики Морского гидрофизического института НАН Украины

Рассматриваются вопросы реализации электронно-цифровых маркеров с использованием гидроакустического канала передачи данных и информации об объекте, который маркируется (человек, груз, лодка и др.), работа которых базируется на режимах прием-ответ и аварийной сигнализации.

Ключевые слова: сигнал, гидроакустический канал связи, гидроакустические маркеры.

Введение. Морские катастрофы уносили и уносят человеческие жизни. Средства спасения потерпевших кораблекрушение известны столько времени, сколько существует само мореплавание. Сегодня на страже безопасности людей, вышедших в море, стоит целый ряд специальных устройств и приспособлений – от разделения судна на отсеки переборками до его оборудования спасательными шлюпками и аварийным радиопередатчиком, подающим сигнал бедствия. Однако средства спасения часто оказывались бесполезными или не достаточными.

С появлением радиосвязи многие проблемы при бедствии в море были решены и ситуация начала меняться кардинально с развитием космических технологий. Создание системы автоматических маяков, срабатывающих в случае аварии, позволило спасательным службам сделать гигантский шаг вперед – сигнал бедствия передавался без участия человека. Однако то, что спасатели должны были находиться в зоне уверенного приема сигнала, снижало эффективность поиска. Кроме того, маяк не давал возможности идентифицировать источник сигнала. Эти вопросы были учтены при разработке следующего поколения аварийных маяков. Так была разработана система КОСПАС-SARSAT [1], которая вошла в состав Глобальной морской системы связи безопасности (ГМССБ).

Актуальность исследований. Система КОСПАС-SARSAT не лишена недостатков. Обусловлено это тем, что при выполнении работ по поиску и спасению учитывается определение местоположения надводных объектов терпящих бедствие или положение всплывшего сигнального буя, а в случае частичного или полного затопления объекта и/или сигнального буя эффективность системы значительно снижается. При этом на точность определения местоположения влияет множество факторов, таких как вероятность поступления сигнала бедствия службам спасения, течения или ветер, сносящие как тонущие объекты, так и буй на поверхности, и другие факторы. Также не маловажную роль имеет определение правильной стратегии спасательных работ и расстановка приоритетов спасения множества затонувших объектов (люди, опасные грузы, судно) в зоне

бедствия. Наряду с недостатками существующих систем поиска и спасение существуют задачи, которые требуют решения.

Постановка задачи. Для решения задач локального поиска и множественной идентификации затонувших объектов позволяющих устранить некоторые недостатки существующих систем и значительно расширить их возможности может позволить реализация электронно-цифровых маркеров с применением гидроакустического канала передачи данных о маркируемом объекте (тип объекта, GPS координаты, массогабаритные показатели и пр.) работающие в режиме аварийной сигнализации и приём-ответ.

Поддержку принятия решения по приоритету спасения (подъёма) множества объектов либо обеспечению необходимого оснащения для подъёма по массогабаритным показателям затонувших объектов целесообразно применить кодовое разделение маркирующих устройств и включение в информационный пакет дополнительной информации об объекте которому принадлежит маркер. Для функционирования системы в целом в её состав должны включаться блок селективного вызова (поисковый прибор) и множество блоков ответа на запрос (приёмоответчиков) – гидроакустические маркеры.

Результаты исследований. Функционирование системы сводится к алгоритму, при котором во время бедствия, гидроакустический маркер которым снабжен объект, при попадании в воду включается при помощи гидростатического выключателя. После чего включается режим подачи тонального сигнала бедствия с некоторой периодичностью. Далее спасательные службы оповещенные системой КОСПАС-SARSAT либо другим способом, направляются в зону бедствия и при вхождении в зону дальности распространения аварийного тонального сигнала определяет направление к объекту и осуществляет попытку установления сеанса связи с гидроакустическим маркером, двигаясь при этом в сторону излучаемого сигнала. При удачном сеансе маркер отвечает на запрос и посылает ответный сигнал, при помощи которого в свою очередь поисковый прибор определяет дальность до маркера, а также в этот момент, определяет свои точные координаты по данным GPS. Затем сеанс повторяется и при этом производится накопление данных о положении поискового прибора и о дальностях до маркера. По полученным данным поисковым прибором осуществляется расчёт точного положения маркера. Затем спасательная служба направляется в место установленных координат объекта и производит сеанс связи с маркером для получения дополнительной информации об объекте спасения.

Достаточно малое затухание звука в воде позволяет обеспечить большие дальности функционирования устройства. Так для диапазона частот от 10 кГц до 50 кГц наблюдается обратная зависимость дальности распространения звука от частоты и составляет примерно от 50 км до 8 км. Для решения задач передачи информации в существующих в мире

гидроакустических системах (акустических модемах и пр.) составляет диапазон частот от 12 до 47 кГц [2, 3, 4]. Наиболее часто применяется пара частот, средняя частота которых порядка 26 кГц с девиацией 8 кГц. Применение такого диапазона частот позволяет обеспечить дальность связи равную или превышающую среднюю глубину мирового океана (≈ 3711 м) при вертикальном распространении звука, что в свою очередь позволит решать поисково-спасательные практически в любой зоне бедствия и при различных возможных глубинах затопления объектов. Однако для подачи аварийного сигнала бедствия целесообразно применить сигнал с частотой несколько ниже частот применяемых для информационного обмена, это позволит расширить зону обнаружения объектов терпящих бедствие.

Использование распространения звука в обе стороны, от блока вызова до приёмоответчиков и от приёмоответчиков до блока вызова – в обратном направлении (режим «запрос-ответ») позволяет измерять время распространения сигнала до запрашиваемого блока, расстояние до него и, в итоге, определение его местоположения. Параметры точности и дальности распространения акустических сигналов, в значительной степени определяются гидрологическими условиями в районе работ: вертикальным профилем скорости звука $C(z)$, определяющим особенности рефракции звуковых лучей, формирования зон акустической освещённости и тени, эффекты канального распространения и пр. В благоприятных условиях возможно получение точности измерения дистанции порядка 10^{-4} от дальности. При неблагоприятных условиях определение расстояния может быть затруднено и для решения задачи потребуется изменения факторов влияющих на результат (выход из зоны тени, погрузить поисковый прибор на другую глубину). В среднем реальные погрешности определения дистанции составляют около 10^{-3} от дальности [4].

Расстояние до объекта при работе гидроакустического маркера в режиме приемоответчика определяется как

$$D = \frac{c(t + t_{\text{об}})}{2}, \quad (1)$$

где D – измеряемое расстояние, м; c – скорость распространения звука в воде, м/с; t – время прохождения сигнала от аппаратуры поиска до приемоответчика и обратно; $t_{\text{об}}$ – время потраченное на обработку сигнала приемоответчиком.

В данном выражении время обработки зависит от производительности и скорости работы приемоответчика. При использовании современной элементной базы значение $t_{\text{об}}$ ничтожно мало и им можно пренебречь.

Дальномерная информация является исходной для определения координат объекта, а также накопленная избыточная информация о точном положении поискового прибора (данные GPS). Расчёты координат производятся методами триангуляции [4]. Основная проблема заключается в способе накопления и последующей обработки избыточной информации, что

накладывает на систему применение некоторой методики в проведении поисковых задач (произвести перемещения по зоне бедствия, либо применение сети поисковых приборов на нескольких (2 - 3) спасательных судах разнесённых на некоторое расстояние между собой).

Для осуществления информационного для придачи данных следует применять широкополосные сигналы [5, 6, 7]. Передаваемая информация модулируется по закону частотной манипуляции – сигналы, частота которых меняется в соответствии с законом кодирующего сигнала, где в качестве базисных сигналов в соответствие логической единице и логического нуля ставятся в соответствие псевдослучайные последовательности ортогональные между собой. Следующее выражение описывает закон частотной манипуляции:

$$S(t) = \begin{cases} S_L = b_L(t) \cdot \cos((\omega_0 - \omega_d) \cdot t) & S_H = b_H(t) \cdot \cos((\omega_0 + \omega_d) \cdot t), p_L = p_H = 0.5, \\ p_L & p_H & 0 \leq t \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

$$b_0(t) = b_L(t) + b_H(t),$$

где T – длительность каждого сигнала, $b_0(t)$ – бинарная последовательность.

Частотная манипуляция с расширением спектра обеспечивает высокую устойчивость приёма сигналов в условиях шумов, интерференции, флуктуаций и замираний. Также для повышения качества передачи информации в условиях многолучевого распространения сигналов и влияния помех гидроакустического канала связи возможно применение адаптивных алгоритмов [8].

Скорость распространения акустического сигнала в воде, его многолучевое распространение, память канала, и прочие факторы накладывают ряд ограничений на пропускную способность передачи информации и это следует учитывать при информационном наполнении пакетов данных, а также требует применения алгоритмов компрессии данных. Так для информационного наполнения возможно запись данных в устройство несущих информацию о типе объекта, масса габаритные показатели, принадлежность тому или иному судну, данные о последнем положении объекта и прочие. Также возможно применение пакетов данных используемых в системе КОСПАС-SARSAT, а также часть данных применяемая в ISO 3166-88 «Коды для представлений названий стран» [9]. Для гибкости системы доступ к областям данных должен осуществляться различными адресными командами устройству.

Для реализации логического взаимодействия множества однотипных гидроакустических маркеров следует реализовать протокол множественного доступа и кодового разделения каналов связи с каждым маркером в отдельности. Одним из вариантов такой реализации может быть адресное обращение к конкретным маркерам по специально составленным кодам

принадлежности. Адресный код принадлежности может в конкретной реализации состоять из следующих последовательностей бит данных: идентификатор типа объекта (судно, груз, человек, и пр.) 2-3 бита; код судна в международной кодировке по типу реализации ISO 3166-88 5-15 бит; номер маркера в группе принадлежности конкретному судну 8-12бит. Для идентификации количества и типа затопленных объектов на этапе поиска осуществляется перебор адресов маркеров побитно по специализированной запросной команде для каждой группы маркеров в отдельности. Алгоритм сводится к следующему: например, поисковый прибор предаёт широкополосную команду на отклик всем приборам группы «груз» с принадлежностью конкретному судну (либо с пропуском этих данных для экономии эфирного времени) и младшего и установленного бита номера в группе. Далее осуществляет запрос о принадлежности к следующему биту и так далее, пока на запросный сигнал не поступит ни одного ответа либо не будет достигнута граница адресного поля. И так для всех групп объектов. Далее производится адресация конкретных устройств исходя из информационной ёмкости группы и установление их координат, а также получение дополнительной информации об объекте. Таким образом, добиваются накопления информации о количестве объектов в искомой группе за минимальное количество шагов при учёте, что нумерация устройств - сквозная для конкретной группы, даже без учёта возможности де кодировать принятую информацию от большой группы объектов в результате интерференции множества сигналов. Такой алгоритм хоть и накладывает на систему большие затраты времени на идентификацию, но при этом обеспечивает гибкость всей системы в целом.

Реализация гидроакустического маркера также может включать ряд конструктивных особенностей, которые повышают эксплуатационные характеристики и функциональность. Так в состав приёмоответчика включен преобразователь напряжения, повышающий напряжение и накопитель энергии (накопительная ёмкость), позволяющие получить большую энергию и большую мощность ответного сигнала при малогабаритном и маломощном источнике питания.

Для расширения функциональности и совместимости с существующими аварийно-спасательными системами возможно включение в их состав либо конструктивное исполнение в отдельном функциональном блоке (для обеспечения периодической подачи сигнала бедствия наземным спасательным службам), блок приёма данных GPS;

Конструктивно маркер может крепиться к объекту (спасательный жилет, на палубе судна, к перевозимому грузу) и при вводе в эксплуатацию производится его первичная инициализация далее система переводится в дежурный режим.

Включение маркера можно реализовать как ручное кнопкой или при попадании в воду, при помощи гидростатических датчиков, при этом происходит запуск устройства в работу. Далее по полученным, с датчиков,

данным устройство определяет своё состояние (на поверхности, в воде, на глубине) и согласно этому включает те или иные блоки которые актуальны в этом состоянии. Если блок на поверхности или в приповерхностном слое воды включаются блоки определения координат, радиоканал, и гидроакустический канал в режиме ожидания. При этом производится попытка определения координат устройства посредством GPS приёмника и последующая периодическая передача в эфир наземным службам спасения по радиоканалу сигнала бедствия с пакетом координат. Гидроакустический блок ожидает вызывного сигнала.

При погружении под воду в работу включается только гидроакустический блок в активном режиме (производится периодическая подача тонального импульса бедствия и постоянная готовность к приёму сигналов). Состояния устройства постоянно контролируется, и режим переключается в зависимости от условий.

Выводы. Реализация гидроакустического канала связи в данной реализации устройства гидроакустического маркирования имеет преимущество перед существующими аналогами, которые могут осуществлять поиск только надводных объектов и не различают принадлежность устройства тому или иному объекту.

Исследования в области и применение системы позволит ускорить и значительно упростить поиск затонувших объектов в районе бедствия, а также принимать правильные решения по очерёдности подъема тех или иных объектов тем самым затратить меньшее количество времени на спасательные работы, где каждая минута может стоить жизни людей. Также применение такой системы позволит уменьшить статистику по количеству людей пропавших без вести, а также экологические показатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://www.cospas-sarsat.org>
2. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://www.link-quest.com>
3. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://evologics.de>
4. Гончар А. И., АНПА. Гидроакустические системы / А. И. Гончар, Л. И. Шлычек – Запорожье : НТЦ ПАС НАН Украины, 2008. – 223 с.
5. Мазурков М. И. Системы широкополосной радиосвязи : учеб. пособие для студ. ВУЗов / М. И. Мазурков. – Одесса : Наука и техника, 2010. – 340 с.
6. Николаев Б. И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью / Б. И. Николаев. – М. : Радио и связь, 1988. – 263 с.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
8. Бочаров М. С., Скипа М. И. Возможности передачи информации в условиях априорной неопределённости параметров акустического канала связи с применением адаптивного моделирования // Консонанс-2009.

Акустичний симпозіум 29 вересня – 1 жовтня 2009 р. : Збірник праць. НАН України, Інститут гідромеханіки. – Київ, 2009. – С. 109-114.

9. ISO 3166-88 «Коды для представлений названий стран».

10. Нелепо Б. А. Интегрированные системы для гидрофизических исследований / Б. А. Нелепо, Г. В. Смирнов, А. Б. Шадрин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 236 с.

11. Агеев М. Д., Касаткин Б. А., Киселёв Л. В. и др. Автоматические подводные аппараты. – Л. : Судостроение, 1981. – 248с.

Бочаров М.С., Скіпа М.І. МАРКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОАКУСТИЧНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Розглядаються питання реалізації електронно-цифрових маркерів з використанням гідроакустичного каналу передачі даних та інформації про об'єкт який маркірується (людина, вантаж, човен та ін.), робота яких базується на режимах прийом-відповідь та аварійної сигналізації.

Ключові слова: сигнал, гідроакустичний канал зв'язку, гідроакустичні маркери.

Bocharov M.S., Skipa M.I. MARK OBJECTS FOR TASKS OF SEARCHING AND SAVE PEOPLES LIVES WITH USE GIDROACUSTICAL CHANNEL OF COMMUNICATION

Questions of features of designing and construction underwater marking device with use gidroacustical channel of communication for marking objects (peoples, freight, ships end other), function of which funding on regime of data receive - transmission and regime alarm system.

Keywords: сигнал, гидроакустический канал связи, гидроакустические маркеры.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИТУАЦИИ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

Бурмака А.И.,

Одесская национальная морская академия

В работе рассмотрена ситуация чрезмерного сближения судов, которая упоминается в Правиле 17 МППСС-72, и произведена ее формализация. Получены аналитические выражения, позволяющие по параметрам движения судна и цели, а также по их относительному положению рассчитать максимальную дистанцию кратчайшего сближения и определить наличие ситуации чрезмерного сближения.

Ключевые слова: безопасность судовождения, расхождение судов, чрезмерное сближение, максимальная дистанция кратчайшего сближения.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Обеспечение безаварийного расхождения судов является одной из наиболее актуальных проблем безопасности судовождения. Риск столкновения судов возрастает в стесненных водах, где повышена интенсивность их движения, ограничено пространство для маневра и нередко возникают ситуации чрезмерного сближения с угрозой столкновения. Развитие таких ситуаций зачастую заканчиваются столкновением судов. В ситуациях чрезмерного сближения МППСС-72 предписывает обоим судам предпринимать должные меры, обеспечивающие безопасное расхождение. Практически в таких ситуациях оба судна принимают решения в условиях неопределенности относительно предстоящих действий партнера. Из-за дефицита времени в принципе невозможна взаимная координация действия судов по предупреждению столкновения. Поэтому безопасный исход в таких ситуациях в большей мере определяется везением и интуицией капитана, чем рациональным принятием решения.

Однако аналитическое описание ситуации расхождения в условиях чрезмерного сближения и ее корректный анализ позволяют получить необходимые рекомендации, минимизирующие риск столкновения.

Важным аспектом рассматриваемой задачи является определение ситуации чрезмерного сближения судов.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Вопросы учета динамики судна при маневрировании были рассмотрены в работах [1-4].

В работе [1] изложен инверсный метод планирования траектории движения объектов управления, согласно которому в кинематические уравнения движения объекта вводится отрицательное время, а в качестве начальных условий выбирается желаемое финальное состояние объекта. Решение уравнений дает момент времени начала маневра и его параметры.

Проблема учета маневренных характеристик судна для обеспечения безопасности плавания в стесненных условиях освещается в работе [2].

Результаты теоретического исследования проблемы расхождения при чрезмерном сближении судов приведены в работе [3], в которой экстренное расхождение в такой ситуации называется маневром последнего момента. Приведенные результаты носят частный характер, так как касаются ограниченного множества начальных позиций сближающихся судов.

Формулировка целей статьи. Целью предлагаемой статьи является процедура формального определения ситуации чрезмерного сближения судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. В ситуации чрезмерного сближения для предотвращения столкновения необходим маневр обоих судов, что указывается в Правиле 17 МППСС-72.

При сближении судов для оценки степени его опасности целесообразно ввести два значения предельно – допустимой дистанции кратчайшего сближения D_{dop1} и D_{dop2} . Если дистанция кратчайшего сближения D_{min} больше значения D_{dop1} , то сближение судов не является опасным. В противном случае необходимо сравнить величину D_{min} со значением D_{dop2} . Если имеет место неравенство $D_{min} > D_{dop2}$, то суда находятся в первой области взаимных обязанностей и судно, имеющее приоритет, продолжает следовать с неизменными параметрами движения, а второе судно предпринимает маневр расхождения. В случае $D_{min} < D_{dop2}$ необходимо проверить, не является ли сближение судов чрезмерным. Если это так, то суда находятся в третьей области взаимных обязанностей, и каждое из них должно предпринять маневр расхождения, предупреждающий столкновение. В противном случае реализуется вторая область взаимных обязанностей, когда судно, обладающее приоритетом, может предпринять маневр расхождения.

Рассмотрим ситуацию чрезмерного сближения судов, которая определяет третью область взаимных обязанностей. Формально такую ситуацию можно определить, когда максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $\max D_{min}$, которая может быть достигнута наиболее эффективным маневром судна, окажется меньшей, чем предельно допустимая дистанция кратчайшего сближения D_{dop2} . Следовательно, условие принадлежности судна к области чрезмерного сближения аналитически можно записать следующим образом:

$$\max D_{min} = D_n |\sin(K_{otextr} - \dot{I}_n)| < D_{dop2},$$

где D_n и $\dot{I}_n$ – соответственно начальные дистанция и пеленг с судна на цель; K_{otextr} – экстремальный относительный курс, обеспечивающий максимальное значение дистанции кратчайшего сближения.

Экстремальные значения относительного курса, т.е. его максимальное K_{otmax} и минимальное K_{otmin} значения, существуют при скорости судна меньшей скорости цели и определяются следующими выражениями [4]:

$$K_{otmin} = K_c - \arcsin p + \pi \text{ и}$$

$$K_{otmax} = K_c + \arcsin p + \pi,$$

где $p = V_o / V_c$ – отношение скорости судна к скорости цели; K_c – курс цели.

Причем экстремальные значения относительного курса, как показано в работе [4], достигаются на соответствующих курсах судна:

$$K_{omin} = K_c + \arccos p \text{ и } K_{omax} = K_c - \arccos p.$$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Таким образом, в ситуации опасного сближения судна с целью необходимо, исходя из параметров движения, рассчитать значения экстремального истинного и относительного курсов, а также максимальное значение дистанции кратчайшего сближения. Сравнивая максимальное значение дистанции кратчайшего сближения с предельно допустимым значением дистанции кратчайшего сближения, делается вывод о принадлежности ситуации к чрезмерному сближению судов. В дальнейшем целесообразно рассмотреть учет инерционности судна при определении ситуации чрезмерного сближения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления / А. С. Мальцев // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 13. – Одесса : «ИздатИнформ», 2007. – С. 124-130.
2. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / А. С. Мальцев // Судостроение и ремонт. – 1989. – №5. – С. 29-31.
3. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
4. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.

Бурмака А.И. ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИТУАЦІЇ НАДМІРНОГО ЗБЛИЖЕННЯ СУДЕН

В роботі розглянута ситуація надмірного зближення суден, яка згадується в Правилі 17 МППЗС-72, та проведена її формалізація. Одержані аналітичні вирази, що дозволяють по параметрах руху судна і цілі, а також по їх відносному положенню розрахувати максимальну дистанцію найкоротшого зближення і визначити наявність ситуації надмірного зближення.

Ключові слова: безпека судноводіння, розходження суден, надмірне зближення, максимальна дистанція найкоротшого зближення.

Burmaka A.I. FORMALIZATION OF SITUATION OF EXCESSIVE RAPPROCHEMENT OF VESSELS

In work there is the considered situation of excessive rapprochement of vessels, which is mentioned in Rule 17, and its formalization is conducted. Got analytical expressions which allow on the parameters of motion of ship and purpose, and also according to their relative regulations to expect maximal distance of the shortest rapprochement and define the presence of situation of excessive rapprochement.

Keywords: safety of navigator, divergence of vessels, surplus rapprochement, maximal distance of the shortest rapprochement.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ МОРСКИХ СООБЩЕНИЙ**Вильский Г.Б.,***Николаевский политехнический институт*

В статье рассмотрены проблемы кластерного анализа морских сообщений, приведена классификация методов кластеризации и на их основе разработаны кластеры потоков данных на водных путях информационной безопасности движения судна.

Ключевые слова: кластерный анализ, потоки данных, информационная безопасность движения судна.

Постановка проблемы в общем виде. Реалии судоходства обозначили роль и значение морских сообщений в безопасности судовождения. Изучение морских инцидентов за последние 10 лет указывает на ряд проблем по обеспечению оперативными данными об обстановке на маршрутах движения судов. В показателях случаев от получаемых с береговых систем управления движением судов (СУДС) превалируют данные с недостаточностью сведений с угрожающими факторами. Действующие СУДС формируют информационные потоки фрагментарно, регламентно и подают их судоводителям бессистемно, а это, как свидетельствует практика, не позволяет отдавать верные команды управления судном. Такое положение приводит к неадекватной оценке параметров в морских сообщениях и снижает безопасность управления судном в реальных навигационных условиях [1]. Поставленная проблема управления судном обусловлена недостаточностью научных разработок в области информационного обеспечения судовождения. Актуальность их выполнения подтверждается п. 1 («Развитие технологий поддержки принятия стратегических решений»), п. 3 («Развитие технологий ситуативного управления во время принятия управленческих решений») и п. 7. («Развитие навигационных систем разного назначения») постановления КМУ от 12 марта 2012г. № 294 «Некоторые вопросы определения среднесрочных приоритетных направлений инновационной деятельности общегосударственного уровня на 2012-2016 годы».

Анализ последних достижений и публикаций. Изучение организации работ и функциональных взаимосвязей между предприятиями морехозяйственного комплекса Украины показывает их построение в соответствии с механизмом теории кластеров. Данное утверждение подтверждается действующей в виде разветленно-структурированных цепочек вертикали морской администрации страны и системой циркуляции потоков сведений между береговыми и морскими подвижными объектами. В виде морского кластера навигационной безопасности представлена совокупность технических средств, каналов и сетей передачи данных для управления судами, входящих в состав интерактивных головных и региональных центров СУДС [2]. Отдельные специализированные

предприятия морской отрасли при формировании и передаче навигационных сообщений используют логистические методы построения информационного пространства водных путей с автоматической кластеризацией массивов параметров движения судов.

На механизме кластерной теории в судоходстве решен ряд задач безопасного управления судном. В работе [3] приведена новая спутниковая система навигационно-информационной технологии в судовождении. Её исследование с учётом дефиниции «кластер» и реализованное оплачивание позволило перейти к подготовке карт пространственных полей ошибок обсерваций в динамическом режиме судна и таким образом обеспечить судовождение технологией высокоточной навигации. Известные схемы обмена данными между судами и береговыми службами построены по кластерной технологии и реализуются за счёт совместимости аппаратуры спутниковых навигационных систем, телевизионных систем высокого разрешения и транспондеров АИС. В кластерной концепции информационного обеспечения проектов VTMISS и POSEIDON содержится интеграция морских сообщений от береговых и спутниковых систем связи [4]. Региональными СУДС и постами регулирования движения судов формируется информационное пространство и проводится вероятностная аналитика высокоточных параметров от обращенной радиолокационной системы. При этом наблюдение за движением судов обеспечивается кластерами непрерывных зон радиолокационного и транспондерного контроля [5, 6, 7]. Процедуры оценки угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов предполагают использование классификации вариантов расхождения, в которой информационные взаимосвязи процесса маневрирования подчинены кластерному механизму. Благодаря кластерному представлению, путем ранжирования и показа иерархии морских сведений, авторы исследований [8, 9], предложили модель оптимизированной структуры системы управления судном. Несмотря на опосредованное представление кластерных принципов в морской отрасли, в отечественной и зарубежной морской литературе не представлена дефиниция морского кластера информационной безопасности движения судна. В связи с этим возникает необходимость использования кластерного механизма для систематизации выходных данных СУДС. Приведенный обзор научно-практических работ характеризует опосредованное использование в мореплавании кластерной теории. Важность кластеризации морских сообщений в информационном обеспечении СУДС определяет актуальность научного исследования.

Цель статьи. Показать важность для морской практики технологии кластерного описания морских сообщений. Разработать кластеры признаков потоков данных на водных путях и информационной безопасности движения судна.

Изложение материала исследования. В информационном пространстве водных путей морские сообщения делятся на пять смысловых

категорий: о бедствии и опасности, навигационные, гидрометеорологические, эксплуатационные и частная переписка. Поток данных с такими смысловыми категориями автоматически классифицируются (кластеризуются) по признакам. Целью кластерного анализа морских сообщений является образование схожих по заданным критериям групп объектов (кластеров) для анализа информационных потоков водных путей. Методами кластерного анализа решаются следующие задачи судовождения:

- проведение классификации средств навигационного оснащения (СНО) по признакам. Решение такой задачи, как правило, приводит к углублению знаний о совокупности классифицируемых объектов;
- проверка и поиск существующего локального кластера безопасности;
- построение автоматической системы классификации для маловероятностных событий и установление внутренних взаимосвязей в сведениях;
- оптимизация данных – путём сжатия исходной выборки при её избыточности с оставлением одного типичного представителя от каждого кластера.

Кластерный анализ выполняется поэтапно и включает: отбор выборки морских сообщений; определение признакового пространства; вычисление значений той или иной меры сходства между объектами; создание групп сходных объектов; проверка достоверности результатов. Показатели потоков с данными должны отвечать нормальному вероятностному распределению, быть устойчивыми к влиянию случайных факторов, удовлетворять однородности в выборке и не коррелировать между собой. При описании морских сообщений в виде объектов кластеризации приводится метрическое пространство, на котором каждому объекту присущи соответствующие наборы характеристик и определены расстояния между ними. Признаки могут быть числовыми или нечисловыми, а степень сходства объектов выборки в метрическом пространстве учитывается матрицей расстояний (различий) между объектами до 1. Существует агломеративные, дивизимные и итеративные методы кластерного анализа (автоматической классификации) морских сообщений. При агломеративном методе [10] предполагается, что каждое морское сообщение в начале анализа является отдельным кластером и производится группировка схожих сообщений на основании матрицы мер сходства по кластерам. Вычисляются центры кластеров, каждому сообщению присваивается свой номер кластера для дальнейшего использования кластеров при автоматизированных расчетах без повторной кластеризации данных. Дивизимные методы расчленяют группы (кластеры) на отдельные объекты. Каждый метод реализуется при помощи собственного алгоритма. При итеративных методах кластеры формируются исходя из задаваемых условий градации, которые могут быть изменены операторами СУДС для достижения желаемого качества потоков данных управления судном. В

итеративных методах нашли применение метод – средних, метод поиска сгущений и метод иерархической кластеризации. Метод иерархической кластеризации приводит к построению дерева – дендрограммы, позволяющей визуально определять принадлежность объекта к данному типу кластеров. Преимущество итеративных методов определяется их быстродействием в обработке больших массивов исходных данных. При формировании кластеров информационных потоков водных путей возможны для использования: эвристические графовые алгоритмы; функциональные качества кластеризации; статистические алгоритмы и алгоритмы иерархической кластеризации.

Общая картина кластеров информационных потоков на водном пути по признакам приведена на рис. 1. Восемь признаков информационных потоков водных путей – направленность, происхождение, назначение, защищённость, коммуникативность, режим работы, периодичность и носитель информации составляют основу кластерных полей морских сообщений. Каждый из отмеченных признаков может образовывать свои разветвления с детальным конкретным наполнением, характеризующим процессы формирования, передачи, отображения, циркуляции потоков информации и их защищённость. Возможное дополнительное количество классификационных признаков в разветвлениях может колебаться, как правило, в пределах от двух до четырёх. Между разветвлениями могут образовываться межкластерные связи, дающие полное представление о характеристике информационного поля на водном пути. Взаимную зависимость возможных предпосылок и угрозных факторов характеризует специальный кластер информационной безопасности управления судном. Кластер показывает расстояния между гроздьями состояния обстановки на мостике судна, угрозных факторов, свершившихся аварий и автоматически упорядочивает их связь в сравнительно однородных классификационных группах. Кластер информационной безопасности движения судна, показанный на рис. 2, открывает возможность селективного сбора данных, способствует выполнению расчётов угроз информационной безопасности и моделированию вероятностных распределений опасностей на участках водного пути.

Исходя из принципиальных положений кластерного анализа, задача кластеризации информационных потоков водных путей заключается в градации имеющихся морских сообщений на ряд не пересекающихся подмножеств. Необходимо, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике, а объекты разных кластеров существенно отличались.

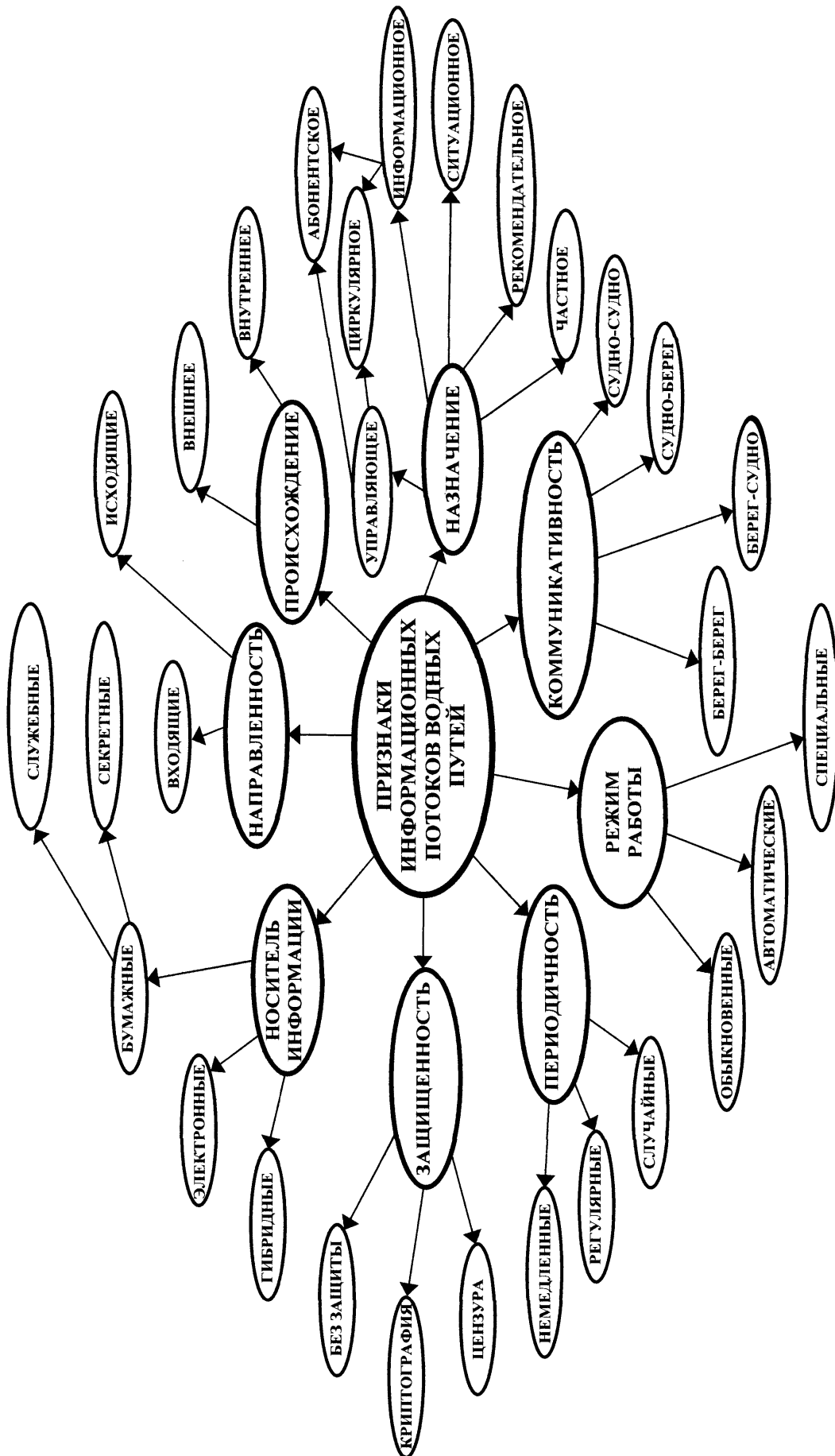


Рисунок 1 – Кластеризация информационных потоков водных путей по признакам

В качестве выборки используется множество категорий морских сообщений, каждая из которых представляется множеством определённого количества подклассов и представляется выражением

$$X^L = \{X_1(K_{n1}), X_2(K_{n2}), X_3(K_{n3}), \dots, X_L(K_{nm})\}, \quad (1)$$

где $X_1(K_n)$ – множество классов морских сообщений; K_n – множество подклассов каждого из морских сообщений.

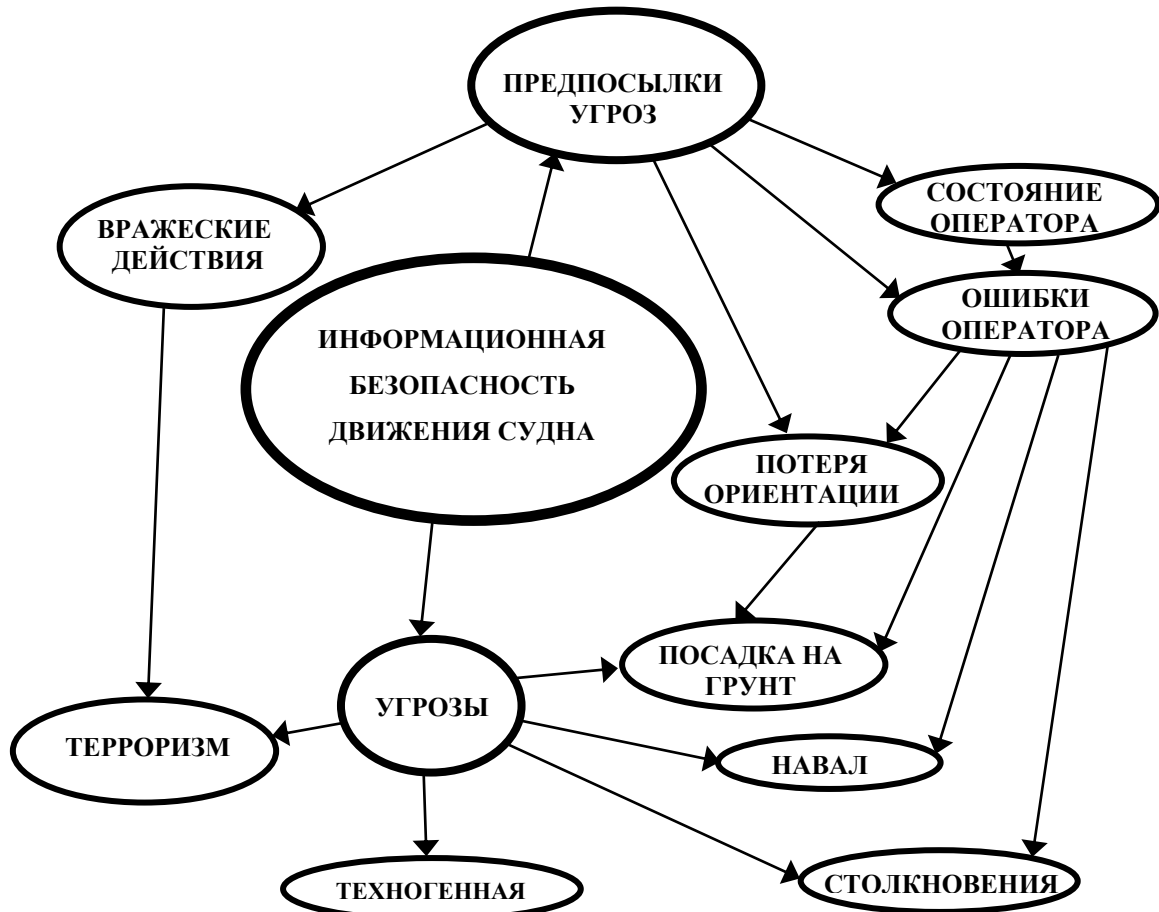


Рисунок 2 – Кластер информационной безопасности движения судна

При этом, в процессе кластеризации важным аспектом является понятие расстояния $\rho(x, x')$, которое при кластеризации играет роль количества объектов и связей, задействованных при формировании и передаче определённого потока морских данных.

Алгоритмизация формирования кластеров информационных потоков водных путей выполняется с использованием: эвристических графовых алгоритмов; статистических алгоритмов; алгоритмов иерархической кластеризации. Расчет кластерной структуры информационной безопасности целесообразно выполнять в симбиозе статистических методов с методом иерархической кластеризации. Достоинство метода иерархической кластеризации состоит в разделении потоков на непересекающиеся подклассы и построении с использованием графов дендрограмм, которые четко определяют внутри кластерные связи.

Для пространства информационной безопасности на водном пути вводится метрика, показывающая величину определения расстояний между кластерами. Такое пространство называется метрическим и для расчетов в нём кластеров информационной безопасности наиболее подходящей является метрика Евклида [10], в которой кластерные расстояния соответствуют выражению (2).

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{(x_{ik} - x_{jk})^2}{\sigma_k^2}}. \quad (2)$$

Данную метрику можно использовать для расчета внутрикластерных расстояний отдельных подгрупп, например, при расчете расстояний внутри кластера информационной безопасности водных путей или при определении объектов в вид подкластера («Угрозы» или «Предпосылки к угрозам»), так как объекты здесь имеют одинаковые характеристики, отличающиеся только интенсивностью отрицательного действия на движение судна. Рассмотрим кластер информационной безопасности движения судна и фрагмент исследования зависимости угроз на маршруте от внешних предпосылок, в условиях, когда объект постоянно находится в динамике (табл. 1). Для переменных, измеряемых в различных единицах или значительно различающихся по величине, при этом дисперсии по характеристикам отличаются друг от друга, метрика соответствует выражению (2). Приведём расчёт кластера информационной безопасности управления судном (рис.2.) с учётом фрагмента исследования зависимости угроз при движении судна по маршруту от внешних предпосылок, в условиях которых постоянно находится объект.

Расчет параметров безопасной судовой зоны осуществляется решением уравнения Радона-Никодима, как показано в работе [11]. Его решение в общем случае дает множество областей, из которых выбирается та, которая имеет минимальные размеры. При этом для поиска той же области используется нормальное распределение Гаусса, в котором плотность распределения выражается аналитическим выражением

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right], \quad (3)$$

где μ_x, μ_y – математические ожидания, соответственно, предпосылки «Потеря ориентации в навигационной обстановке» и угрозы «Посадка на грунт», σ_x, σ_y – их дисперсии. На основании анализа выборки, составленной из количественных показателей аварийности за последние 20 лет, при возникновении предпосылки «Потеря ориентации» по факту возникновения угрозы «Посадка на грунт» находятся их математические ожидания и дисперсии по формулам

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^5 p_{1i} (X_i - \mu_x)^2};$$

$$\mu_y = \sum_{i=1}^5 p_{2i} \cdot Y_i;$$

$$\mu_x = \sum_{i=1}^5 p_{1i} \cdot X_i;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^5 p_{2i} (Y_i - \mu_y)^2}$$

Предпосылка «Потеря ориентации»

N₁	0	1	2	3	4
X	13	8	4	0	0
P₁	0,52	0,32	0,16	0	0

Угроза «Посадка на грунт»

N₂	0	1	2	3	4
Y	14	9	4	0	0
P₂	0,52	0,33	0,15	0	0

В соответствии с полученными результатами, вероятность P_{ij} возникновения угрозы по данной предпосылке определяется выражением

$$P_{ij} = P_{1i} \cdot P_{2j}. \quad (4)$$

И, соответственно, для полученных вероятностей имеем следующие значения вероятностей возникновения угроз по данным предпосылкам.

$$P_{11} = 0,52 \cdot 0,52 = 0,2704$$

$$P_{22} = 0,32 \cdot 0,33 = 0,1056.$$

$$P_{33} = 0,16 \cdot 0,15 = 0,024$$

Усредним полученный результат и получим вероятность P_{nn} возникновения угрозы «Посадка на грунт» по факту возникновения предпосылки «Потеря ориентации в навигационной обстановке».

$$P_{nn} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} = \frac{0,2704 + 0,1056 + 0,024}{3} = 0,4. \quad (5)$$

Произведем логарифмирование полученного результата и определим значение коэффициента расстояний в кластере A_{nn} по формуле

$$A_{nn} = 10 |\ln P_{nn}| = 9,00. \quad (6)$$

Коэффициенты расстояний по другим предпосылкам и соответствующим им угрозам проведены аналогичным методом и занесены в табл. 1.

Таблица 1 – Кластер информационной безопасности движения судна

Угрозы	Погодные условия	Состояние оператора	Ошибки оператора	Потеря ориентации	Терроризм
Посадка на грунт	8.00	8.00	7.25	9.00	7.25
Навал	6.25	7.00	6.00	7.00	6.00
Столкновение	7.50	6.25	7.00	8.00	5.00
Техногенная	4.00	3.00	1.25	1.50	2.00
Терроризм	2.00	1.00	1.00	0.50	1.50

При этом предлагается количественную оценку предпосылок рассчитывать по единой десятибалльной шкале. Такая квалиметрия лучше отображает влияние факторов на причины возникновения угроз. При расчете параметров кластеров каждый раз необходимо учитывать влияние факторов погодных условий - видимость, скорость ветра, высота волн, скорость течения и получать единый коэффициент для каждой угрозы. С использованием метрики Евклида первой категории получают симметричную матрицу расстояний (табл. 2),

Таблица 2 – Симметричная матрица расстояний кластера информационной безопасности

	Посадка на грунт (1)	Навал (2)	Столкновение (3)	Техногенная (4)	Терроризм (5)
Посадка на грунт (1)	0.00	8.05	7.2	2.06	3.20
Навал(2)	8.05	0.00	8.25	4.05	1.25
Столкновение (3)	7.03	8.25	0.00	5.25	7.80
Техногенная(4)	2.00	4.00	5.25	0.00	0.50
Терроризм (5)	3.00	1.00	8.10	0.50	0.00

которая является основой в кластерном анализе информационной безопасности движения судна. Метод иерархической кластеризации позволяет разделить потоки на непересекающиеся подклассы и строить с использованием графовых методов дендрограммы, которые четко определяют информационные кластерные связи. Результат применения иерархического метода к полученной матрице при использовании пакета статистического анализа, например STATISTICA, даёт информационную дендрограмму (рис. 3), которая показывает структуру кластера информационной безопасности движения судна (рис. 4).

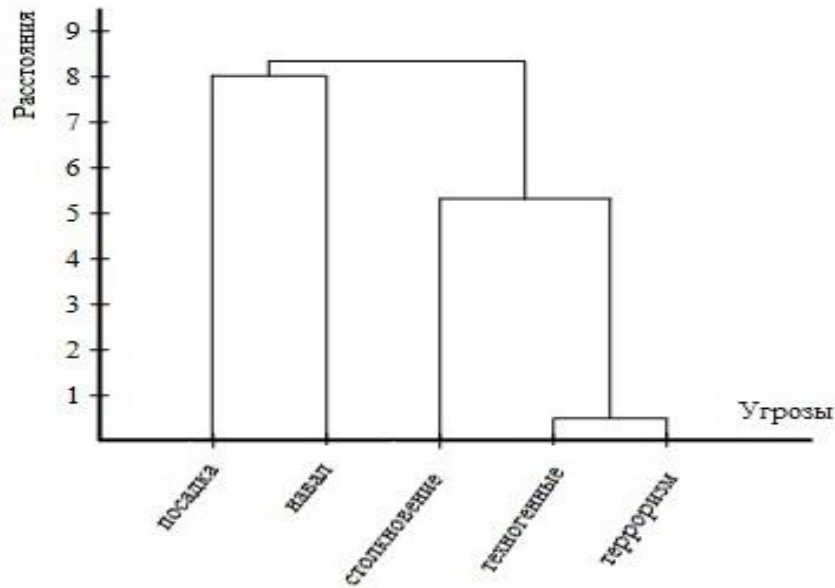


Рисунок 3 – Информационная дендрограмма упрощённого кластера безопасности движения судна

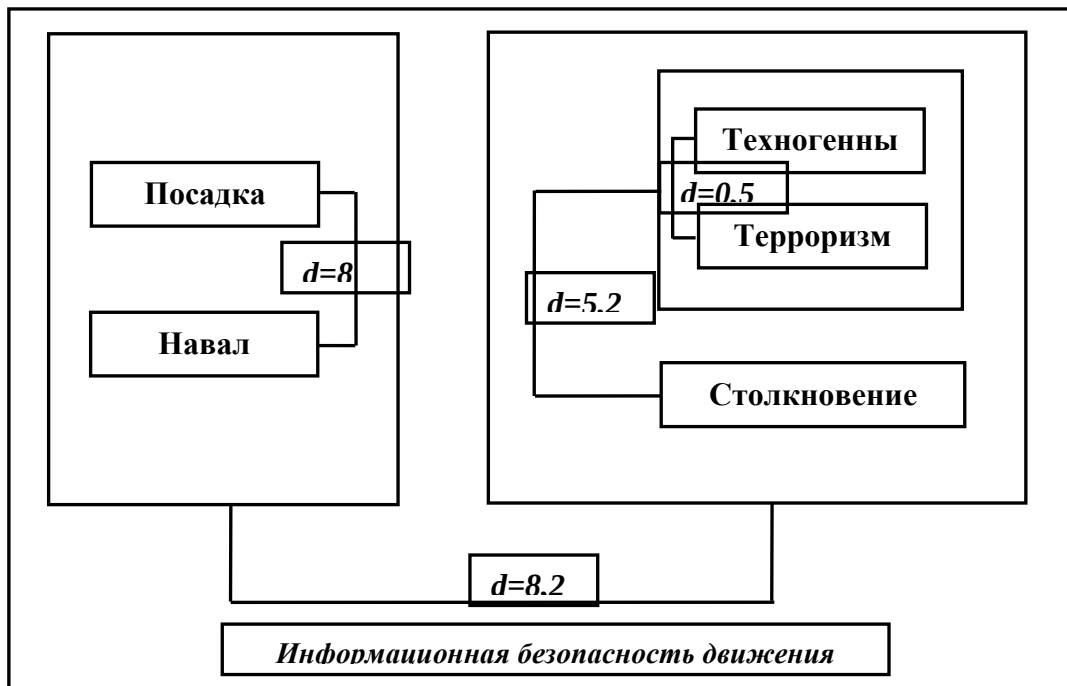


Рисунок 4 – Структура кластера информационной безопасности движения судна

На дендрограмме по горизонтальной оси отложены на одинаковом расстоянии номера объектов (угрозы), а по вертикальной оси – расстояния внутри кластеров. Полученная дендрограмма позволяет выявить близкие по параметрам объекты, входящие в кластер информационной безопасности, а также структуру самого кластера в данной точке или на заданном участке водного пути.

Видим, что сам кластер информационной безопасности состоит из своеобразных подкластеров, в которые включены объекты, близкие по параметрам и набору входных данных, что говорит о их равноценности

возникновения. Статистическая характеристика вероятности реализации события, которая включена в параметр расстояния, говорит о вероятности реализации самого события, а точнее совокупности событий на данном участке водного пути.

Таким образом, разбив объекты на классы, имеем классификацию, которая показывает, что для данного набора параметров предпосылок и угроз наиболее вероятными являются те аварийные ситуации, расстояние между которыми максимально. При этом выделяются пары объектов с расстояниями, которые, с точки зрения формул Эйлера, характеризуют равную вероятность аварийных событий.

Выводы и предложения:

1. Предложен подход к кластерному описанию морских сообщений для судовождения.
2. Приведено кластерное представление признаков информационных потоков на водных путях и реализован алгоритм симметричной матрицы расстояний кластера информационной безопасности движения судна.
3. Кластерный анализ морских сообщений эффективен в информационном обеспечении систем управления движением судов. Его использование позволяет классифицировать группы неоднородных потоков сведений и упростить решение задач управления судном.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильский Г. Б., Мальцев А. С., Бездольный В. В., Гончаров Е. И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов : учебное пособие. / Под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. – Одесса – Николаев : ЧП «Феникс», 2007. – 456 с.
2. Шемякін О. М. Сучасні проблеми правової класифікації морських просторів // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 19. – Одесса : «ИздатИнформ», 2010. – С. 202-208.
3. Инфимовский С. Ю. Представление навигационной информации в виде карты поля ошибок обсерваций спутникового навигационного поля морской поверхности // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 19. – Одесса : «ИздатИнформ», 2010. – С. 76-80.
4. Головки В. И. Состояние и перспективы развития систем управления движением судов в Российской Федерации // Сборник докладов 7-го международного научно-технического семинара «Состояние и перспективы развития береговых систем управления движением судов». – Николаев : Издание ГП «Дельта-лоцман», 2004. – С. 5-12.
5. Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л. Повышение информативности судовых систем предупреждения столкновений // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып.16. – Одесса : «ИздатИнформ», 2009. – С.18-26.
6. Бузовский Д. А., Алексишин В. Г. Определение вероятности получения высокоточной информации от обращенной радиолокационной

системы // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 19. – Одесса : «ИздаИнформ», 2010 – С. 19-23.

7. Пятаков Э. Н., Алексишин В. Г. Определение угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 19. – Одесса : ИздаИнформ, 2011 – С. 166-170.

8. Мамонтов В. В. Ранжирование и иерархия информации в системе управления движением судна. // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 20. – Одесса : «ИздаИнформ», 2010. – С. 117-129.

9. Vilsky G. B., Nadich M. M. Information space research in Navigation. Proceedings of NAU– 2011 – №3 (48). – Pg. 95-102.

10. Вятчин Д. А. Нечёткие методы автоматической классификации. – Минск : Технопринт, 2004. – 219 с.

11. Вильский Г. Б., Надыч М. М. Теоретическое моделирование информационной безопасности водных путей // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА, Вып.18. – Одесса : «ИздаИнформ», 2010. – С.48-57.

Вільський Г.Б. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

У статті розглядаються проблеми кластерного аналізу морських повідомлень, приведено класифікацію методів кластеризації та на їх основі розроблені кластери потоків даних на водяних шляхах та інформаційної безпеки руху суден.

Ключові слова: кластерний аналіз, потоки даних, інформаційна безпека руху суден.

Вільський Г.Б. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

У статті розглядаються проблеми кластерного аналізу морських повідомлень, приведено класифікацію методів кластеризації та на їх основі розроблені кластери потоків даних на водяних шляхах та інформаційної безпеки руху суден.

Ключові слова: кластерний аналіз, потоки даних, інформаційна безпека руху суден.

MEASURES FOR ESTIMATING TRANSPORT VESSELS OPERATORS' SUBJECTIVE PREFERENCES UNCERTAINTY

Goncharenko A.V.,

National University of Shipbuilding named after the admiral Makarov, Kherson Branch

It is suggested the pseudo-entropy hybrid model as the uncertainty measure of subjective preferences of operators. Because of the introduced relative prevailing preferences factor the proposed hybrid model has advantages comparatively to the traditional measures of uncertainty in the view of Boltzmann's or Shannon's entropy. According to the relative dominating preferences index the pseudo-entropy varies within $[-1 \dots 1]$ showing the sign and magnitude of the relative subjective assuredness. Analytical expressions have been achieved. The theoretical concept is illustrated with examples and graphs.

Keywords: pseudo-entropy, hybrid model, subjective analysis, prevailing preferences factor, dominating preferences index, ship propulsion, main engine, subjective preferences, multi-alternative situations.

Introduction. The process of operation of a ship's propulsion and her power plants (SPPP's) is connected with making managing decisions in multi-alternative operational situations. Uncertainty of operators' subjective preferences influences a lot the behavior of a transportation system, which, because of that, becomes an active one.

Moreover, it is not only the uncertainty that can induce dangerous situations on board ship during her operation, but also even the certainty in the operators' subjective preferences may provoke harmful or catastrophic events if these preferences are dictated by or directed to the wrong activities.

Urgency of researches. The problem of monitoring and supporting the proper technical state of marine ships' power plants and their propulsions of transport vessels in multi-alternative operational situations is a complex and actual one. It is always important to keep the issues of safe and reliable operations of SPPPs' and their main engines (MEs) in mind. Though, a hundred years passed after the Royal Mail Ship «Titanic» crash, the notorious «human factor» still has the same significance. For example, due to the ignorance of the down state of sensors of the computer controlled electrohydraulic control system of the ME, or, if operators neglect precaution measures preferring some private matters instead, there can also happen an accident or even a disaster.

Thus, the problem of modeling of the uncertainty measures that take into account both diversities in the preferences of alternatives, and their positive and negative aspects is an important one.

The given problem setting in the general view has a connection with the problem of elaboration of the entropy approach in application of the theory of subjective preferences to the issues of monitoring and supporting of SPPP technical state in multi-alternative operational situations.

Analysis of the latest researches and publications. The generally believed measure of uncertainty, the one of the subjective preferences, for instance, is the

entropy of the Boltzmann's or Shannon's type [1-3]. The measures of uncertainty that are analogous to the Shannon's entropy, which is not the only function meeting the requirements stated for the entropy, are considered in [1, P. 104-108]. All of those pseudo-entropy functions measures estimate uncertainty in positive values, and that cannot show a researcher which way the active system is making certain to, positive or negative, i.e. to the right/good or to the wrong/bad.

Then, it will be logic, for such a measure, to be changed within the value interval of $[-1 \dots 1]$; with the marginal value of -1 indicating harmful certainty (negative/wrong assuredness), and the value of 1 is vice versa – the useful (positive/right) confidence. Instead of the zeroth entropy for the absolute certainty [1-7], which is incapable to depict the quality of the sureness, the zero point for the new estimation has the meaning of and evaluates the uncertainty.

The task setting. Thus, the purpose of this paper is to find a combined criterion that makes allowance for both the uncertainty/certainty, and the direction of that uncertainty/certainty; and would be a representative quantitative and qualitative value, which is convenient for using in applications of the subjective analysis.

The main content (material). On assessing the distribution of the active element's (subject's/decision making person's) of a system subjective preferences, let us consider and analyze advantages and disadvantages of different proposed below uncertainty measures in order to apply that one which suites peculiarities and meets requirements of a specific problem in the best way.

The problem formulation. Thus, first, we are suggesting analyzing the disadvantages of the traditional Shannon's type entropy in the view of [1, P. 98]

$$H_{\pi} = -\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i); \quad \sigma_i \in S_a |_{\sigma_0}, \quad (1)$$

where H_{π} – entropy of subjective preferences of π ; N – number of the achievable alternatives of σ ; $\pi(\sigma_i)$ – function of subjective preferences; σ_i – i^{th} alternative; S_a – set of the achievable alternatives; σ_0 – alternative of the initial state of the active system assessing the operational problem-resource situation; as the subjective entropy of individual preferences.

It is obviously, the uncertainty measure in the form of (1) being everywhere a positive value, as well as the functions of preferences themselves, does not illustrate anything except the mere fact of certainty/uncertainty with some magnitude of those values alone.

Then, in order to indicate the right or wrong intensions and desires of the system active element, we might prescribe just a positive or negative sign to his subjective preferences for positive σ_j^+ and negative σ_k^- alternatives correspondingly, hence obtaining

$$\pi(\sigma_j^+) > 0; \quad \pi(\sigma_k^-) < 0, \quad (2)$$

which illustrates the needed directions, but ruins the logarithms operations for (1) because of the second condition of the inequalities of (2), and the same to the normalizing condition of [1, P. 98, (3.2)]

$$\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) = 1. \quad (3)$$

Therefore, we will have to apply the absolute values for (1) and (3) in case of the conditions of (2)

$$H_{|\pi|} = - \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) \ln \pi(\sigma_j^+) + \sum_{k=1}^L |\pi(\sigma_k^-)| \ln |\pi(\sigma_k^-)| \right];$$

$$\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) + \sum_{k=1}^L |\pi(\sigma_k^-)| = 1, \quad (4)$$

where M – number of positive alternatives; L – number of negative alternatives correspondingly;

$$M + L = N; \quad (4')$$

and that will indispensably lead us to the initially shaped representations of uncertainty because of denying the introduced above sign.

It might seem that the mentioned difficulty could be overcome by inserting the direction sign into the formula of (1), then instead of (1) or (4), we get

$$H_{\pi_{\pm}} = - \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) \ln \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \ln \pi(\sigma_k^-) \right]. \quad (5)$$

The condition of (4') is the same for both (4), and (5), but the (2) acquires the view of

$$\pi(\sigma_j^+) > 0; \quad \pi(\sigma_k^-) > 0. \quad (6)$$

In the case of (5) implying (6), we need inevitably some additional extra researches because the sign of the pseudo-entropy does not necessarily show the righteousness of the subjective preferences; its magnitude does not monotonously correlate with the entropy (1). Moreover, the zero point of the pseudo-entropy (5) may be of the two kinds, namely: the first – the absolute or complete certainty for a singular distribution of the given subjective preferences; the second – the positive entropy member simply equals the negative one, i.e.

$$\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) \ln \pi(\sigma_j^+) = \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \ln \pi(\sigma_k^-). \quad (7)$$

Manipulating with the negative sign for the entire values of (1, 4, 5) we may reflect the desired direction of preferences but cardinally gaining no clearness concerning the principle of good/bad certainty/uncertainty.

The same to the modifications of the entropy (1) to the ratios of

$$\bar{H}_{\pi_{-}^{+}} = \frac{H_{\pi_{-}^{+}}}{H_{\max}} = - \frac{\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) \ln \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}) \ln \pi(\sigma_k^{-})}{H_{\max}}; \quad (8)$$

$$\dots 0 \dots 0, \quad (9)$$

where $H_{\max}$ – maximal value of the entropy of the view of (1) [1, P. 100]

$$H_{\max} = \ln N. \quad (10)$$

Since the entropy in the view of (1) seems more attractive so far, we may modify it with the multiplier that takes into account the direction of preferences in the view of not the negative and positive entropy members like in (5, 7-9), but as the preferences prevailing/dominating factor/index

$$\Delta\pi = \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}). \quad (11)$$

This value has the sign of the prevailing good / right or bad / wrong preferences and varies from – 1 up to 1, with the zeroth point when there is no dominance of any of the total preferences, i.e. neither right nor wrong dominates in general.

Combining the index of subjective preferences domination in the view of (11) with the subjective entropy of (1) into a common criterion we obtain

$$H_{\Delta\pi} = H_{\pi} \Delta\pi = - \left[\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i) \right] \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}) \right]. \quad (12)$$

$$H_{\max-\Delta\pi} = (H_{\max} - H_{\pi}) \Delta\pi = \left[H_{\max} + \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i) \right] \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}) \right] \quad (12')$$

These values of (12, 12') have the required sign, but unfortunately their magnitudes still do not demonstrate stability in showing the assessment of the system active element's certainty. The same to the compositions with the relative values of the type of (8, 9)

$$\bar{H}_{\Delta\pi} = \frac{H_{\pi}}{H_{\max}} \Delta\pi = - \frac{\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i)}{H_{\max}} \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}) \right]; \quad (13)$$

$$\bar{H}_{\max-\Delta\pi} = \frac{H_{\max} - H_{\pi}}{H_{\max}} \Delta\pi = \frac{H_{\max} + \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i)}{H_{\max}} \left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^{+}) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^{-}) \right] \quad (14)$$

The problem solution. Thus, the preferences prevailing/dominating factor/index of (11) introduced above into the expressions of (12-14) contains the necessary quality of the positive or negative intentions of the system's subject, but has a distortion influence upon the relative entropy measures. In order to avoid this disturbance we use the relative subjective preferences domination factor

$$\Delta\pi_{|\Delta\pi|} = \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = \frac{\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-)}{\left| \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right|}. \quad (15)$$

Then, the relative prevailing index of (15) is used in the hybrid composed pseudo-entropy functions of subjective preferences

$$H_{\frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|}} = H_{\pi} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = - \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i) \frac{\left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right]}{\left| \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right|}; \quad (16)$$

$$H_{\max} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = (H_{\max} - H_{\pi}) \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = \left(H_{\max} + \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i) \right) \frac{\left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right]}{\left| \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right|} \quad (17)$$

The values of the expressions of (16, 17) have the absolute magnitudes the same as the entropy (1) and the difference between (1) and maximal value of entropy (10) correspondingly. The sign of the expressions of (16, 17) will depend upon the magnitude of the prevailing/dominating preferences. The equation of (16) is the measure of uncertainty; at the certainty situation it has the zero value, thus, no one can say whether it is the right or wrong certainty, therefore its representativeness is incomplete. The value of (17) shows the certainty to the positive or negative direction.

And at last the relative values from (16, 17)

$$\bar{H} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = \frac{H_{\pi}}{H_{\max}} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = - \frac{\sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i)}{H_{\max}} \frac{\left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right]}{\left| \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right|}; \quad (18)$$

$$\bar{H}_{\max} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = \frac{H_{\max} - H_{\pi}}{H_{\max}} \frac{\Delta\pi}{|\Delta\pi|} = \frac{H_{\max} + \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i)}{H_{\max}} \frac{\left[\sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right]}{\left| \sum_{j=1}^M \pi(\sigma_j^+) - \sum_{k=1}^L \pi(\sigma_k^-) \right|} \quad (19)$$

The measure of certainty of (19) has the sign of the prevailing preferences and varies within the wanted diapason from -1 , which means the negative certainty, up to 1 – the positive certainty. The certainty measure of (19) has the zeroth value as the point of uncertainty. Accordingly to the hybrid model of (19), the uncertainty of the first kind is when the entropy of subjective preferences has the maximal value of (10). The uncertainty of the second kind is when the total positive subjective preferences equal the total negative ones, like for the zero value of the formula of (11). In its turn, the zero value of the prevailing index of (11) breaks the relative subjective preferences domination index of (15), and, therefore, the hybrid functions of (16 - 19), and the breakage, in its turn, can also be of its own first and second kind.

The expression of (18) like (16) is the measure of uncertainty. Its value has the necessary sign, but the value of it depicts the uncertainty alone, which makes it unclear whether it is a right or wrong situation when the hybrid function of (18) has the zeroth value of the first kind. The zeroth value of the second kind does not mean certainty, but the second kind of uncertainty, like for the hybrid model of (19).

Practical application of the problem solution. Let us consider, for example, a multi-alternative operational situation when the operators neglecting their duties are doing something else or whatever they want. For instance, radio operators of the Royal Mail Ship Titanic» had been warned several times through the wireless about floating icebergs all around, but they ignored even reporting that crucial information to the navigation bridge, preferring transmitting radiograms and being tipped. The officers on duty ignored giving binoculars to sailors to watch the sea carefully. The fatal results of that are well known. The same notorious «human factor» in present days sometimes leads to the similar consequences. In 2005, in the modern electronically controlled ME, in the electrohydraulic control system, the four sensors went out of order one by one. Engineers decided, thus, step by step preferred to ignore the absence of the sensors, and on July 19, the ME of one of the world's largest container carrier «Savannah Express» failed during maneuvering at Southampton. There was a serious damage. One more example is the aircrash of the Polish government aircraft at Smolensk in April 2010. A few times the captain was warned about dense fog, but each time he neglected the risk of landing at Smolensk and recommendations to land at the other airport, thus each time he preferred wrong.

Let the distribution of actual subjective preferences at some moment in time would have been

$$\pi_{ia} = 0.05, \quad \pi_{ta} = 0.8, \quad \pi_{0a} = 0.15, \quad (20)$$

where π_{ia} – preference of right; π_{ta} – wrong; π_{0a} – neutral alternative correspondingly. The normalizing condition

$$\pi_{ia} + \pi_{ta} + \pi_{0a} = 1. \quad (21)$$

The actual entropy of the subjective preferences (1) and maximal entropy of (10) are correspondingly

$$H_{\pi a} = 0.613, \quad H_{\max} = \ln 3 = 1.099. \quad (22)$$

Let the needed distribution and corresponding entropy of subjective preferences

$$\pi_{in} = 0.995, \quad \pi_{tn} = 0.0025, \quad \pi_{0n} = 2.5 \cdot 10^{-3}, \quad H_{\pi n} = 0.035. \quad (23)$$

Suppose the required distribution of subjective preferences and corresponding entropy

$$\pi_{ir} = 0.8, \quad \pi_{tr} = 0.1, \quad \pi_{0r} = 0.1, \quad H_{\pi r} = 0.639. \quad (24)$$

These values after the first warning

$$\pi_{ip1} = 0.2, \quad \pi_{tp1} = 0.675, \quad \pi_{0p1} = 0.125, \quad H_{\pi p1} = 0.847. \quad (25)$$

After the second warning

$$\pi_{ip2} = 0.1, \quad \pi_{tp2} = 0.75, \quad \pi_{0p2} = 0.15, \quad H_{\pi p2} = 0.731. \quad (26)$$

After the third warning

$$\pi_{ip3} = 0.075, \quad \pi_{tp3} = 0.85, \quad \pi_{0p3} = 0.075, \quad H_{\pi p3} = 0.527. \quad (27)$$

After the fourth warning

$$\pi_{ip4} = 0.0025, \quad \pi_{tp4} = 0.995, \quad \pi_{0p4} = 2.5 \cdot 10^{-3}, \quad H_{\pi p4} = 0.035. \quad (28)$$

The system is gradually getting certain to the wrong alternative, i.e. preferring negative, but the subjective entropy getting closer to zero does not show that.

Applying the hybrid model of the pseudo-entropy of (19) we obtain the result shown in the fig. 1.

The researches results. If the distributions of subjective preferences are given in the canonical form [1, P. 124, (3.56), 125, (3.58)]

$$\pi_i(x) = \frac{e^{\beta F_i}}{\sum_{j=1}^N e^{\beta F_j}}, \quad (29)$$

where x – independent variable associated with each alternative; β – structural parameter, which can be considered in different situations as Lagrange coefficient, weight coefficient or endogenous parameter that reflects certain psychic properties

[1, P. 119]; F_i – efficiency function; then for a case with two alternatives, the mathematical modeling gives the following results.

Having the functions of subjective preferences, let us say, in the view of

$$\pi_1(x) = \frac{xe^{\beta x}}{xe^{\beta x} + e^{\alpha\beta x}}, \quad \pi_2(x) = \frac{e^{\alpha\beta x}}{xe^{\beta x} + e^{\alpha\beta x}}, \quad (30)$$

where α – multiplier coefficient for the second alternative efficiency function, with the values of the coefficients and maximal entropy

$$\alpha = 2.7, \quad \beta = 0.05, \quad H_{\max} = \ln 2 = 0.693, \quad (31)$$

the results of modeling are represented in the fig. 2.

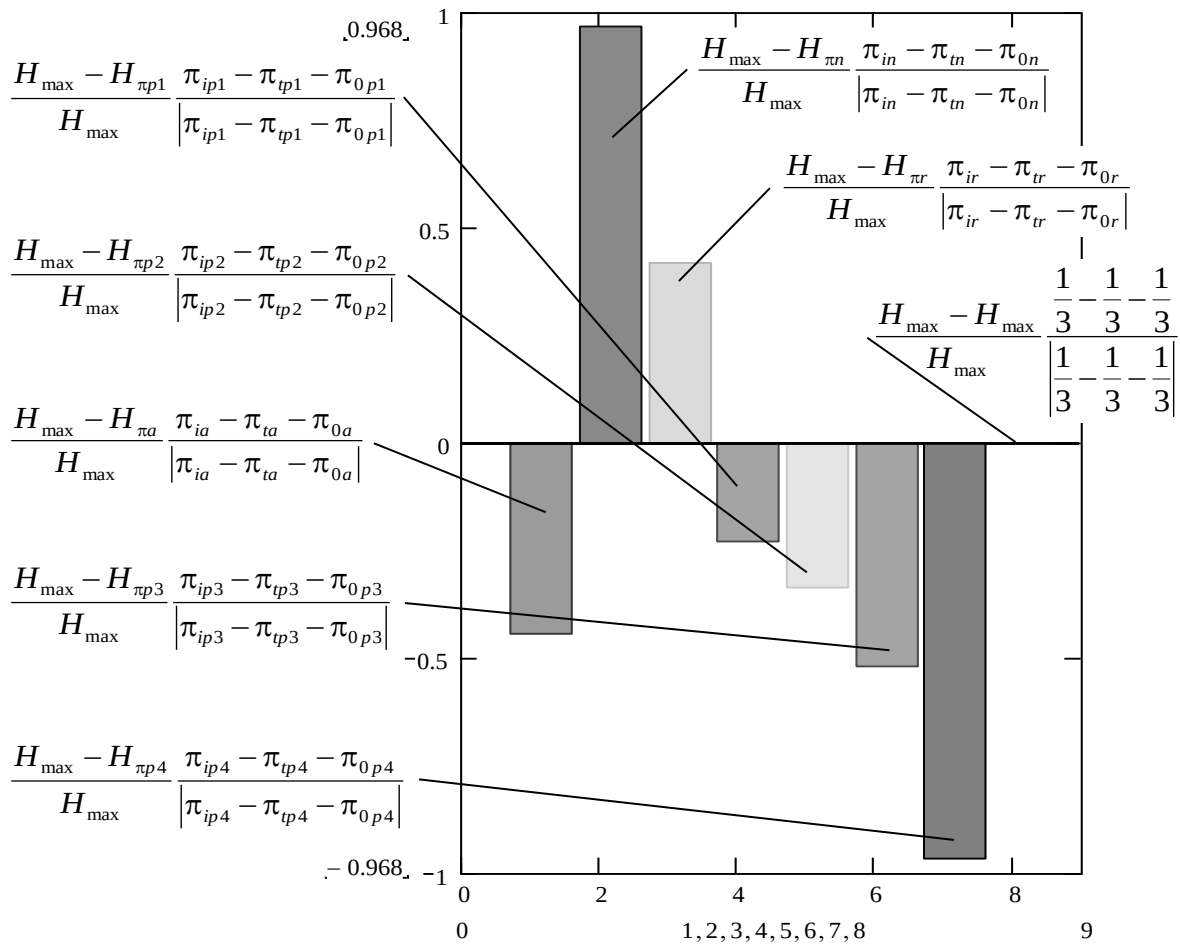


Figure 1 – Pseudo-entropy varying in the interval of $[-1 \dots 1]$ for discrete preferences

In case of three achievable alternatives, the mathematical modeling gives the following results.

Supposedly, functions of subjective preferences

$$\pi_1(x) = \frac{xe^{\beta x}}{xe^{\beta x} + e^{\alpha\beta x} + e^{\alpha\beta\gamma x}}, \quad \pi_2(x) = \frac{e^{\alpha\beta x}}{xe^{\beta x} + e^{\alpha\beta x} + e^{\alpha\beta\gamma x}}, \quad (32)$$

$$\pi_3(x) = \frac{e^{\alpha\beta\gamma x}}{xe^{\beta x} + e^{\alpha\beta x} + e^{\alpha\beta\gamma x}},$$

where γ – multiplier coefficient for the third alternative efficiency function.

The value of the γ coefficient

$$\gamma = 1.215. \quad (33)$$

The rest of the coefficients are the same and the maximal entropy has the magnitude calculated above in the expression of (22). The results of modeling are represented in the fig. 3.

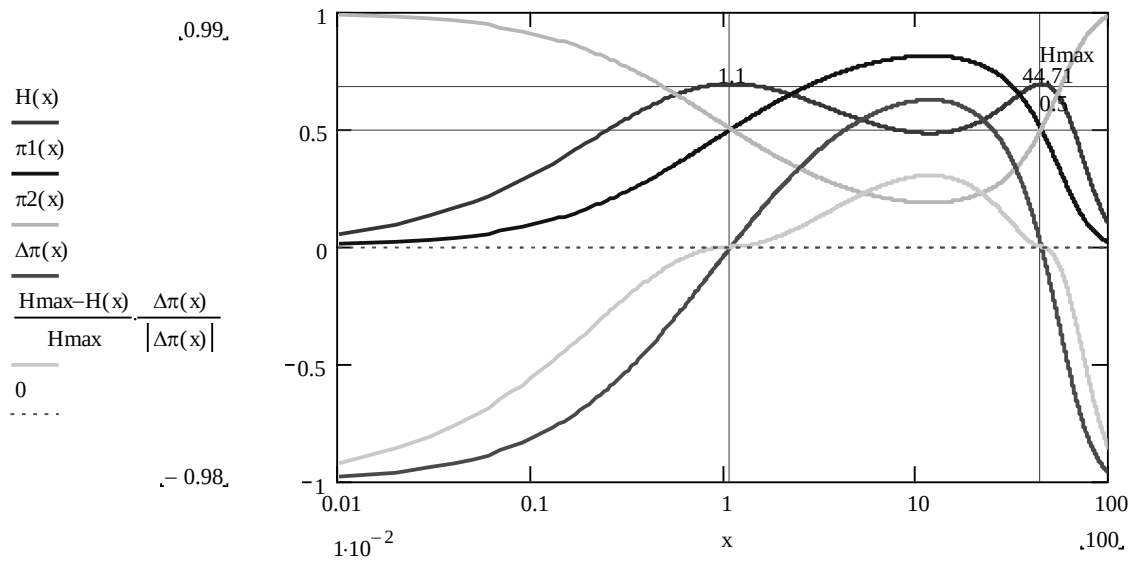


Figure 2 – Pseudo-entropy varying in the interval of $[-1 \dots 1]$ and other parameters for canonical distribution of subjective preferences in case of two alternatives

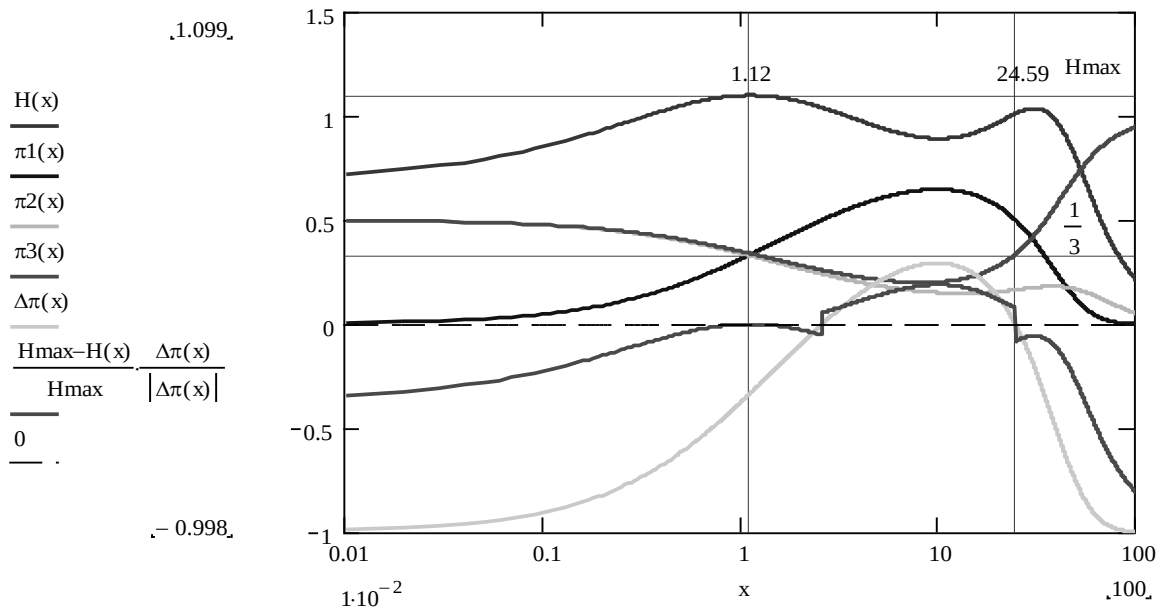


Figure 3 – Pseudo-entropy varying in the interval of $[-1 \dots 1]$ and other parameters for canonical distribution of subjective preferences in case of three alternatives

Conclusions. Accordingly to the peculiarities and meeting the requirements of a specific problem, the suggested hybrid models of combined pseudo-entropy of subjective preferences in the view of the expression of (19), varying in the interval of $[-1 \dots 1]$, suit in the best way.

Principally, the vast majority of alternatives in a certain problem-resource situation can be divided into two or three groups. Namely, for problem settings with the two main groups of achievable alternatives: right and wrong; and in the case with the three: right, wrong, and neutral. Then, there are applicable the methods of (1-19). The mathematical modeling of (29-33), also the results illustrated in fig. 1-3, demonstrate the advantages of the suggested uncertainty measure, the pseudo-entropy function (19), comparatively with the traditional entropy of the Boltzmann's or Shannon's type, the example of (20-28).

Prospects of further researches. After determination the positive and negative certainty/uncertainty, there can be conducted further researches in the each of the separate subdivisions. Applying the entropy approach, it is a kind of a scientific interest to investigate the value of the subjective information behavior and postulated in the subjective analysis variation principle with the functional hybrid models that involves the threshold entropy, Kasyanian of an active system, and Bayesian risk at making decisions.

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Касьянов В. А. Субъективный анализ : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.
2. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2003. – 224 с.
3. Касьянов В. А. Субъективные предпочтения и правовое воздействие как факторы развития двигателестроения / В. А. Касьянов, А. В. Гончаренко, С. В. Кружкова // Авиационно-космическая техника и технология : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 7 (74). – С. 182-189.
4. Касьянов В. А. Субъективный анализ и безопасность активных систем / В. А. Касьянов, А. В. Гончаренко // Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Вып. 142. – С. 41-56.
5. Гончаренко А. В. Типи задач рекомендованих до опрацювання при виконанні дипломної роботи за спеціальністю «Експлуатація суднових енергетичних установок» усіх форм навчання: навчальний посібник для ВНЗ / А. В. Гончаренко. – Херсон : Видавництво ПП Трифонов, друкарня «Графіка», 2010. – 192 с.
6. Гончаренко А. В. Моделирование влияния энтропии субъективных переваг на прийняття рішень стосовно ремонту суднової енергетичної установки / А. В. Гончаренко // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 1 (23). – С. 123-131.

7. Random house Webster's unabridged dictionary. 2nd ed. USA, New-York : Random House, 1999. – 2230 p.

Гончаренко А.В. МІРИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СУБ'ЄКТИВНИХ ПЕРЕВАГ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН
Запропоновано псевдоентропійну гібридну модель у якості міри невизначеності суб'єктивних переваг експлуатаційників. Завдяки введеному відносному показникові переваг, що превалюють, запропонована гібридна модель має переваги порівняно до традиційних мір невизначеності у вигляді Больцманівської або Шеннонівської ентропії. Відповідно до відносного індексу домінуючих переваг, псевдоентропія змінюється у межах $[-1 \dots 1]$, показуючи знак та величину відносної суб'єктивної упевненості. Отримано аналітичні вирази. Теоретичну концепцію проілюстровано прикладами та графіками.

Ключові слова: псевдоентропія, гібридна модель, суб'єктивний аналіз, показник переваг, що превалюють, індекс домінуючих переваг, суднова пропульсивна установка, головний двигун, суб'єктивні переваги, багатоальтернативні ситуації.

Гончаренко А.В. МЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СУБЪЕКТИВНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННИКОВ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

Предложена псевдоэнтропийная гибридная модель в качестве меры неопределенности субъективных предпочтений эксплуатационников. Благодаря введенному показателю превалирующих предпочтений предложенная гибридная модель имеет преимущества по сравнению с традиционными мерами неопределенности в виде Больцмановской либо Шенноновской энтропии. Соответственно относительному индексу доминирующих предпочтений псевдоэнтропия изменяется в пределах $[-1 \dots 1]$, показывая знак и величину относительной субъективной уверенности. Получены аналитические выражения. Теоретическая концепция проиллюстрирована примерами и графиками.

Ключевые слова: псевдоэнтропия, гибридная модель, субъективный анализ, показатель превалирующих предпочтений, индекс доминирующих предпочтений, судовая пропульсивная установка, главный двигатель, субъективные предпочтения, многоальтернативные ситуации.

THE BALANCE OF POWER AND DISCIPLINE ON BOARD – COMPONENT OF THE SAFETY OF NAVIGATION

*Gurov A.A., Leonov V.Ye.,
Kherson State Maritime Academy*

The article deals with the basic principles and details of the relations of captain's power and administration on a ship from one side and the discipline of crewmembers the other side. This factor is even more noteworthy than the international becomes the ship's crew, which is in recent years on international shipping. A different approach to discipline and subordination in the various countries is very pronounced it in a small team and limited space, which, in fact, are the ship and the ship's crew. However was not a multinational crew of the ship - one goal: to save the ship and the normal order of functioning. And in this sense should be installed at the balance of influence a subordinate, as well as the reverse effect.

Keywords: ship's crew, the captain's authority, discipline, mentality, subordination.

Introduction. Exploring in detail the «human factor» on a ship, we need one of the main components to consider the power of the administration (master) and discipline among the crew members on board as they play a special significance when compared, for example, with conventional onshore business. The coexistence of such phenomena as the power and discipline must be balanced so that neither of the parties did not provide the dictates of another, or do not suppress it with it presence.

The purpose of the article. The purpose of this paper is an attempt to focus the attention of ship crews and shipping companies to the desired parity and mutual understanding between the ship's captain, officers and ratings of the vessel, as the definition of moral boundaries between these groups of crew, when performing their duties on board.

Discipline. What is a discipline on which it is based, as there is power and what it is, the crew members, depending on the mentality and rarely think about it, but the company that manages vessels and people, and organizing shipping, without focusing on these factors and understanding sources of discipline and authority, just not enough to manage. Principles and methods of discipline on the ship are different. Discipline reflects the real controversy in the team. Discipline is any property of the social and productive activities, it is the state of social control and a very three-dimensional concept.

If the onshore plant discipline can be classified by types of social norms, such as economical, political, financial, labor, technology and other types, then the ship as a production unit of the company it can be controlled as the production. And in this sense we can emphasize three types of disciplines:

1) the performance discipline – execution by each member of the crew of his duties. The peculiarity of this kind of discipline is that the slave does not provide rights and, moreover, did not want him to have them and showed some activity;

2) an active discipline – the use of rights in the performance of duties. This kind of discipline is preferred, as an employee exhibits in his conduct the activity, i.e. Actively use their rights;

3) self-discipline – is the fulfillment of an employee of his duties and the execution of their rights on the basis of self-government. It also includes a display of worker activity more than required by law or duty.

The aim of the relations is a management discipline education is not performing discipline and not even an active discipline, but self-discipline! Discipline on board - an indicator of the level of organization, of moral health of the crew. In connection with this company is looking for ways to improve the level of discipline, for example, in the following ways:

- convergence of various methods of the concepts of «discipline» and «order»;
- improving the efficiency of control over the execution of their duties for each crew member;
- shifting the emphasis in management from the discipline of coercion inherent in the command style of management, to the promotion and persuasion, interest in the outcome of labor motivation;
- shifting the emphasis from performance discipline to the self-discipline;
- to determine the effectiveness of managerial influence on the discipline of its level, i.e. By the final result, with constant monitoring of discipline;
- consideration misconduct as not only a failure to perform its duties, but the excess of the rights, causing damage to the rights of others;

Disciplinary relationship – it is a secondary form of relationship, which is present in every crew, as it is - the ratio over the duties and rights.

The content of disciplinary relations are the rights and obligations of the parties hereto, their responsibility. The content of the educational relationship includes the right and duty to bring the administration of the employee, using, in particular, the method of persuasion. The purpose of these relationships is to increase the level of education, the formation of personality, instilling necessary skills and abilities, forming the world, improving the physical development of man.

Authoritative side – the administration of the vessel (captain) – endowed with the following rights: enforcement, encouragement and belief in relation to the second side – the employee. At the same time, any member of the crew shall have the right feedback in relation to the captain, the general meeting, etc.

Here we must pay attention to the balance of power (command) and discipline (obedience). The decisive role here is the mentality of the commander and subordinate. Blind obedience to the master is also a negative factor in the interaction of factors: the power and discipline. There are plenty of examples.

Think of the famous shipwreck in 1986 near Novorossiysk (Russia), as a result of a collision of m / v «Peter Vasev» and «Admiral Nakhimov», the last of them sank with huge loss of human life.

In this case, the mates of the m / v «Peter Vasev» were on the «Bridge» and correctly and realistically assess the real situation, however, have not been able to overcome disciplinary barriers and directly express the captain of his wrong-doing, but acted indirectly with hints. That is, they were not prepared adequately for their disciplinary principles, were stronger than common sense. As a result, there was a collision of 2 ships. Authoritarianism, in this case, led to fatal role.

Influence of mentality. «The west is west, east is east, and together they do not come together», said Rudyard Kipling. However, in the ship's crew, they did come together, and come together for a long time and for a common aim.

For the eastern culture characterized by authoritarianism, strict subordination, teamwork, emphasis on personal relationships, communication and context vague concept of time. In turn, western culture is characterized by democracy, individualism, business relationships, purely verbal communication and a clear time frame.

In the culture of the eastern countries, as we know, the authoritarian system of government prevails almost everywhere. The formation and growth of these countries came under authoritarian regimes in which most Asian countries were integrated into the market economy and economic reforms.

Another feature of the asian mentality – a strict hierarchical subordination to superiors. In western corporations you can call your boss by name, and after working hours with him to miss a mug of beer. You can even make friends families. In asian countries, the master will never put himself on the level of subordinates, and superiors tight relationship with them impossible. Bosses communicate with the same bosses, subordinates – with those who are at approximately the same stage with them in social status. That's why they say that the very rich do not have many friends. The chief can't drop his status to a subordinate status as an equal.

Collectivity – one of the main features of the asian mentality. If people in western culture is an individual – and the individual qualities are most important for him, for asian people cannot imagine himself apart from the team. Teamwork – the fundamental quality and as a consequence – the highest productivity of the organization for asians. From the chain of command and collectivity comes another positive quality – obedience to the law (discipline).

Hence, not surprisingly, that many european shipping companies are on board a crew of sailors from asian countries: philippines, china, indonesia, etc.

The power of the captain. Administration (captain), in turn, uses its power to the vessel, pursuing the same aims. Let's consider several types of power:

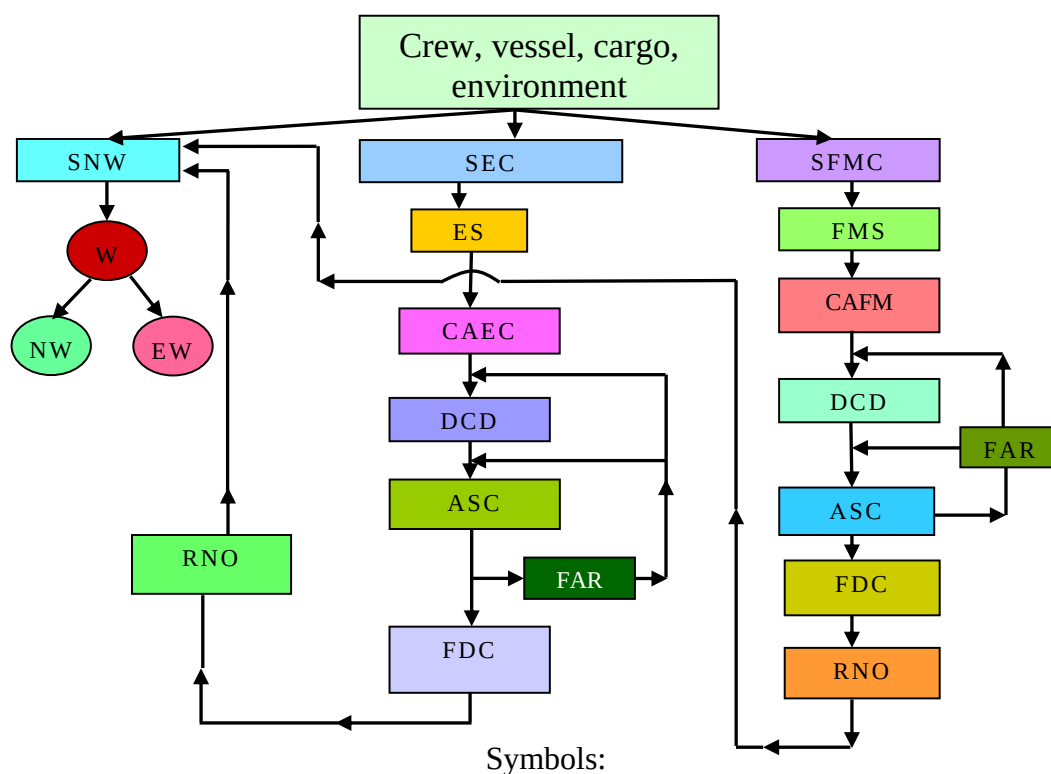
A. Power based on the law. Often it is called the traditional authority. A person obeys such a power, confident and agrees that the leader has the right to make decisions, give orders, to command subordinates. Legitimate power is based on a hierarchical structure of the organization in which people are placed on the steps of the organization.

It is believed that the culture of the west millennium strengthened the power of the authorities. And because the subordination of man to man, occupying a

certain position is taken for granted as the normal order of society's existence. Gradually, the society was born corresponding tradition.

B. Power based on enforcement. The strength of this kind of power is the fear that has the power inspires the captain. This fear is based on the credentials of the owner of the following authorities: termination of the contract, disembark of the vessel. Negative emotion that occurs only at the thought of the possible penalties, also contributes to the effectiveness of this method. As pointed out by many experts, it is fear - the reason that causes a person to accept the influence of other authorities.

Ways to call to intensify the fear of the leaders are very common. It is believed that the use of managers at various levels of this method to cause fear, as a humiliation, forcing subordinates to work more fully and effectively. Enforcement, though, and calls an external obedience, often accompanied by feelings of stiffness, anxiety, alienation, the desire for revenge, dissatisfaction with work, the desire to deliberately deceive.



Symbols:
 SNW – Ship's normal work;
 SEC – ship in emergency condition;
 SFMC – ship in force major condition;
 W – waste ; NW – natural waste; EW – energetic waste;
 ES – emergency situation; FAR – for additional refinement;
 CAEC – captain's analysis of emergency case;
 DCD – development of collegial decision by the «brain» storm;
 ASC – analysis of solutions to the captain;
 FDC – final decision the captain;
 RNO – return to the normal operation of the vessel;

Figure 1 –

C. Power based on rewards or encouragement. The employee performs his duties in this case because he believes in the opportunity to meet their needs through promotion. This influence is based on positive emotions associated with obtaining a reward. The disadvantage of this type of power is the limited funds that the company may allocate for the promotion;

D. The reference power. This rule is based on the influence of example. This kind of power is based on the strength of the personal qualities and abilities of the leader. Followers of such leaders feel the need to belong to his group, respect for this group. One can cite the typical characteristics of such a person:

- ability to speak, to persuade;
- confident and dignified demeanor;
- the ability to instill a sense of admiration for his personality;
- possession of an imposing appearance;
- possession of an independent character.

E. Power through persuasion. The most effective way to influence. Conviction – it is the most efficient transfer of his opinions, decisions.

All the forms of power can be grouped in another way. These types of power, as power based on coercion, on remuneration, on conviction, be included in the maintenance of legitimate authority. At the same time every kind of power can exist in isolation. For example, one of the crew, even without having a legitimate authority through persuasion can influence the behavior of the entire organization, and some of the sailors may simply frighten his colleagues in the team and get some power.

The uniqueness of the power of capital is that in his hands are concentrated almost all functions. His power is manifested in the fact that from it depends largely on the post, salary, promotion of the corporate hierarchy, access to social benefits subordinates. In certain cases, and subordinates have power over the executive, since these depend largely on his knowledge, informal contacts in the community and others.

In fact, the need to meet the requirements of specific groups is the basis for the powerful influence of one person to another: it is the primary – physiological needs and the needs of a higher order - in self-esteem, of being involved in self-realization fellowship, and so on.

The essence of the use of authority in the management of human resources of the sea is the unity of the crew and the manager (the captain and chief engineer).

Thus, it may be noted that the command of the vessel shall:

- coordinate in such a way as to achieve an appropriate balance between its authority and responsibility of team members;
- implement corrective management actions, when there is an imbalance;
- together with the power and unity of command captain is also responsible for everything that happens on the ship, and if there are any accidents, is responsible for this punishment. Here are some examples of accidents:

1. m/v «Exxon Valdez». 1989. US flag VLCC. Major Pollution in US waters. Master jailed, prosecuted.

2. m/v «Union». 1995. Hong Kong flag bulk carrier. Ran aground off Japan.
3. British Master arrested and subsequently fined.
4. m/v «Al Hadhi». 1996. Panamanian flag bulk carrier. Sank off India. Pakistani master arrested and detained in India for 10 months.
5. m/v «Erica». 1999. Maltese flag tanker. Vessel broke up and caused serious pollution off France. Indian master charged and detained in France for 3 months.
6. m/v «Tampa». 2001. Norwegian flag container/Ro-Ro vessel. Entered Australian waters illegally with over 400 rescued refugees who were genuinely at risk of perishing at sea. Vessel boarded by Australian forces and master threatened with criminal prosecution by Australian authorities. Vessel permitted to proceed after significant delay.
7. m/v «Virgo». 2001. Cyprus flag tanker. Allegedly involved in collision off US coast. Russian master, 2nd Officer and watch AB, held in Canada on US manslaughter extradition request for over 18 months.
8. m/v «Prestige». 2002. Bahamas flag tanker. Vessel broke up and caused serious pollution off Spain and France. Master arrested and jailed in high security prison for 4 months and then released but still detained in Spain. Decision pending.
9. m/v «Dutch Aquamarine». 2003. Dutch flag chemical tanker. Collision in English Channel. Dutch 2nd Officer charged with manslaughter, found guilty and jailed by British court.

With ships. In all these examples of maritime accidents captain was not directly responsible for the incident, but was punished. This fact, in some way justifies the actions and demands of the captain.

As the recommendations in the conservation of the crew team and collegial management style vessel can propose an algorithm for the captain and the actions of decision-making in an emergency.

Conclusions. In conclusion we can say that the current power structure is based not on muscle strength, wealth and violence, but the culture and intellect of man, on the balance of power and discipline. The spread of a new economy based on knowledge, provides a new stage in relations between people including the discipline and subordination, as well as the publication of local shipping companies documents, such as the charter, rules of the internal labor regulations, collective agreements, etc.

Prospects for further research. In the context of this article, factors such as captain's and officers authority and discipline of the crew can be attributed to the psychophysical qualities of the members of the crew. In this sense, there is a certain field for further research and debate. The study of the mentality and culture of the neighboring national education, tolerance to it can bring great benefits in relationship to the crew and as a consequence, the final result, that is the normal functioning of the vessel and the safety of navigation.

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды : монография / [Дмитриев В. И., Леонов В. Е., Химич П. Г. и др.] ; под ред. В. И. Дмитриева, В. Е. Леонова. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – 400 с.

2. Менеджмент морских ресурсов / Безлуцка О. П., Колегаев М. О., Кошелик Л. А. и др. – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2011. – 100 с.

3. Michael Masterson. Seafarers' Rights: Initiatives or Nuisance? [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.imo.org

Гуров А.А., Леонов В.Е. БАЛАНС ВЛАСТИ И ДИСЦИПЛИНЫ НА СУДНЕ – СОСТАВЛЯЮЩАЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

В статье рассмотрены основные принципы и детали соотношения власти капитана и администрации на морском судне с одной стороны и дисциплины со стороны членов экипажа с другой стороны. Этот фактор тем более обращает на себя внимание, чем более интернациональным становится экипаж судна, что в последние годы наблюдается в международном судоходстве. Различный подход к дисциплине и субординации в различных странах очень ярко проявляется именно в небольшом коллективе и ограниченном пространстве, каким, собственно, и является судно и судовой экипаж. Однако, каким бы многонациональным не был судовой экипаж, цель одна – сохранять на судне порядок и нормальное функционирование. И в этом смысле должен быть установлен баланс влияния командира на подчиненного, а также обратная связь.

Ключевые слова: судовой экипаж, власть капитана, дисциплина, менталитет, субординация.

Гуров А.А., Леонов В.Є. БАЛАНС ВЛАДИ І ДИСЦИПЛІНИ НА СУДНІ – СКЛАДОВА БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВАННЯ

У статті розглянуті основні принципи та деталі співвідношення влади капітана і адміністрації на морському судні з одного боку і дисципліни з боку членів екіпажу з іншого боку. Цей фактор тим більше звертає на себе увагу, чим більш інтернаціональним стає екіпаж судна, що в останні роки спостерігається в міжнародному судноплаванні. Різний підхід до дисципліни і субординації в різних країнах дуже яскраво проявляється саме в невеликому колективі і обмеженому просторі, яким, власне, і є судно і судовий екіпаж. Однак, яким би не був багатонаціональним судовий екіпаж, мета одна – зберігати на судні порядок і нормальне функціонування. І в цьому сенсі має бути встановлений баланс впливу командира на підлеглого, а також зворотній зв'язок.

Ключові слова: судовий екіпаж, влада капітана, дисципліна, менталітет, субординація.

УДК 656.6.1+378.1+005.3.2

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ ПЛАВСОСТАВА

Дмитриев В.И., Козик С.В.,

Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций

В статье, на основе анализа причин аварийности на флоте, возрастании в этом роли человеческого фактора, обосновывается необходимость организации психологической подготовки плавсостава. Психологическая подготовка будущих офицеров флота проводится и в ходе обучения по новой дисциплине – Психологические основы управления судовым экипажем и в результате психологического обеспечения образовательного процесса в университете. Представлены организационные формы психологического обеспечения образовательного процесса.

Ключевые слова: человеческий фактор, психологическое обеспечение, психологическая подготовка, психологическая служба, психолого-педагогическая служба.

Вступление. Аварийность на транспорте, в том числе и на водном, – объективная реальность, обусловленная сложными факторами транспортного процесса. Полное устранение этого негативного явления, к сожалению, не представляется возможным. Однако на практике вполне допустимо влиять на аварийность с помощью различных мер технического, организационного, эксплуатационного и правового характера и достичь ее относительного снижения на определенный период времени.

Аварийность судов зачастую влечет за собой человеческие жертвы и загрязнение водной среды, поэтому постоянная борьба за уменьшение числа аварийных случаев – насущная необходимость, продиктованная жизненными, моральными и хозяйственными интересами.

По данным Российского морского регистра судоходства порядка 80% аварийных случаев в находящемся под наблюдением Регистра флоте прямо или косвенно связаны с влиянием человеческого фактора. Примерно такие же цифры характеризуют причины аварийности и по мировому флоту. Так, по данным различных страховых компаний, анализирующих причины морских аварий, приведших к гибели людей, грузов и судов, а также загрязнению окружающей среды, в 60-80% случаев аварии – результат непрофессиональных действий человека.

О чем свидетельствуют вышеприведенные цифры?

Актуальность проблемы. С одной стороны это говорит о том, что чем выше эта доля, тем меньше аварий по причине отказа судовых технических систем и форс-мажорных факторов, с другой - необходимо направить все усилия на снижение доли человеческого фактора в общем числе аварий.

Ведь аварийность на флоте обусловлена тремя основными причинными факторами: непрофессиональными действиями экипажа («человеческий фактор»), непредсказуемыми отказами функционирования техники

(технический фактор) и неблагоприятными состояниями внешней среды (внешний фактор).

Можно высказать на первый взгляд парадоксальную мысль – необходимо стремиться к тому, чтобы доля человеческого фактора в общем числе аварий составляла 100%! Это будет свидетельствовать о том, что степень надежности судовых технических систем составляет 100%. Это, во-первых. И, во-вторых, никакие форс-мажорные обстоятельства в виде неблагоприятных погодных условий не сказываются на безопасности плавания судов, то есть суда надежны на 100%!

Отсюда следует, что усилия необходимо направить не только на повышение надежности судовых технических систем и самого судна, способного противостоять любой стихии, но и сконцентрировать усилия на снижение аварийных случаев по причине непрофессиональных действий экипажа.

Со второй половины прошлого века во всех развитых странах началось активное изучение влияния психологических особенностей моряков на эффективность их деятельности в системе «судно – среда – человек».

Наибольший интерес среди объектов этих исследований представляет профессиональная группа судоводителей. Так, оказалось, что в работе судоводителей наибольшее удельное значение (36%) имеют ошибки, связанные с запаздыванием принятия решений и необходимых действий. На втором месте (31,6%) находятся причины, связанные с запоздалым обнаружением опасности. Третье место (16,2%) приходится на выполнение необоснованных маневров на малых расстояниях и в неподходящих условиях и еще 16,2% приходится на все остальные аварии [1].

Сейчас учеными в спектр актуальных проблем, связанных с управлением судном, включают психологические аспекты профессионального реагирования и межличностного взаимодействия. Считается необходимым рассчитывать специфику психологических особенностей каждого члена экипажа судна, уровень сформированности его профессионально важных качеств.

К сожалению, психология всё ещё не играет на флоте той роли, которую должна была бы играть. Не всегда осознаётся важность психологических рекомендаций, имеющиеся на сегодняшний день достижения психологии реализуются не в полной мере. Далеко не везде и не всегда решаются такие традиционные и столь важные для морского флота проблемы, как организация профессиональной психологической диагностики судовых специалистов и поддержание высокого уровня их психологической готовности к работе.

Мало используется опыт психологии в учебных заведениях водного транспорта. Практически отсутствуют специализированные кафедры и специалисты, занимающиеся вопросами психологии для водного транспорта. Нет учебников и учебных пособий по курсу морской психологии. Нет чётких программ, учебных планов и методических рекомендаций, позволяющих в

достаточной мере вести психологическую подготовку студентов (курсантов), не предусматриваются для этих целей специализированные практические занятия, например, психологические тренинги. Да и само понятие «морская психология» пока ещё скорее формальное, чем реальное, не имеющее под собой хорошо проработанной научной, методической практической базы.

Следствие этого – низкий уровень психологических знаний у работников судоходных компаний, плавсостава, значительной части преподавателей высших и средних учебных заведений водного транспорта.

Существенным прорывом в этой области являются принятые в Маниле поправки («Манильские поправки») к Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДМНВ -78) [2]. Они предусматривают, в частности, обязательную подготовку командного состава судна в области управления ресурсами навигационного мостика, умения осуществлять руководство судовым персоналом.

В связи с этим в Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) 3-го поколения по специальности 180403 «Судовождение» в гуманитарный, социальный и экономический цикл Учебного плана подготовки включена дисциплина «Психологические основы управления судовым экипажем».

В соответствии с ФГОС ВПО специалист по направлению подготовки 180403 «Судовождение» должен решать следующие профессиональные задачи в организационно-управленческой деятельности:

- организация работы коллектива исполнителей с разнородным национальным, религиозным и социально-культурным составом, осуществление выбора, обоснования, принятия и реализация управленческих решений;
- организация работы коллектива в сложных и критических условиях, при чрезвычайных ситуациях, осуществление выбора, обоснования, принятия и реализация управленческих решений в рамках приемлемого риска.

Среди общекультурных компетенций, которыми должен обладать специалист, есть следующая (ОК-5): знание психологических основ управления коллективом, способов влияния на формирование целей команды и способов воздействия на её социально-психологический климат.

Психологические знания помогают моряку правильно понять свои личностные особенности и найти рациональные приёмы для самоформирования профессионально важных качеств; дают возможность проанализировать и объективно оценить психологические особенности других людей, без учёта которых невозможно добиться успешной совместной работы в экипаже; позволяют моряку предвидеть и предупредить многие негативные явления, присущие длительному рейсу [3].

Велика роль психологических знаний для выпускников учебных заведений водного транспорта, будущих командиров, перед которыми

зачастую встають задачі керівництва колективами в особливо складних умовах.

Широкое внедрение достижений научно-технической революции на флоте потребовало пересмотра требований, предъявляемых к специалистам водного транспорта, особенно к плавсоставу. Исследования показали, что определённые группы людей, несмотря на достаточное здоровье и активное стремление к работе на флоте, не могут в силу своих психологических особенностей при этом добиться необходимого для службы на судах профессионального мастерства. Даже при достаточном уровне общих и специальных знаний они не только труднее и медленнее овладевают специальностью в процессе подготовки, но и работают на флоте хуже других, чаще допускают ошибки, являются основными виновниками разного рода аварий.

Предложения. Необходимо поставить и решить задачу организации систематической и целенаправленной диагностики уровня развития профессионально важных качеств у кандидатов для обучения в учебных заведениях водного транспорта, чтобы как можно раньше начать планомерную психологическую работу по их развитию и формированию. Мы должны в ходе диагностики не закрывать двери на флот, а рекомендовать и советовать молодому человеку те или иные конкретные шаги. Человек может выработать отдельные недостаточно развитые качества личности, причём с тем большей вероятностью, чем более упорно и настойчиво он к этому стремится. Бывают случаи, когда недостающие качества заменяются другими, если студенту (курсанту) удаётся таковые в себе воспитать. Они вырабатываются упорным и долгим трудом, помноженному на желание и силу воли. Явление компенсации одних личностных качеств другими обязательно следует учитывать в практике формирования профессионально важных качеств.

На наш взгляд, для широкого внедрения диагностики профессионально важных качеств в практику приёма в учебное заведение необходима большая разъяснительная работа среди абитуриентов и преподавателей, организация системы профориентационных мероприятий, глубокое научное обоснование применения методик диагностики, изучение взаимосвязи личностных особенностей и профессиональных требований к судовым специалистам, реакций личности на профессиональные и связанные с ними нагрузки на флоте.

Ни один метод психологии не получал, пожалуй, таких противоречивых оценок, не имел такого количества критики, как психологические тесты. Возможность применения тестов всегда вызывала острые дискуссии. Правда, в последнее время всё больше специалистов убеждается в эффективности применения этого метода. Сейчас уже ставится вопрос не о возможности применения тестов для тех или иных практических целей, а о грамотном их использовании.

Целесообразно сразу же после зачисления студентов (курсантов) в учебные заведения заводить на них «профессиональный личностный паспорт», содержащий комплекс психологических и психофизиологических характеристик индивида и перечень наиболее предпочтительных для него видов профессиональной деятельности (специальностей) на флоте. В этом паспорте в дальнейшем должны отмечаться все результаты психодиагностических обследований, рекомендаций по психологической коррекции недостаточно развитых профессионально важных качеств и целесообразности использования студента (курсанта) в той или иной специальности, а после прихода на флот – в той или иной должности.

Человек, удачно выбравший профессию, живёт интересной и полноценной жизнью, и не удивительно, что перед ним отступает даже старость. По данным геронтологов, подавляющее большинство людей в возрасте 80 лет и старше не меняли профессии на протяжении 60-70-летней трудовой жизни. Это означает, что для человека, выбирающего профессию моряка, крайне необходима научная помощь. И психологи должны помочь ему выбрать профессию на всю жизнь.

Психологическая помощь будущим морякам, в ходе их обучения и становления в стенах образовательного учреждения, должна быть оказана в рамках налаженной системы психологического обеспечения всех аспектов деятельности образовательного учреждения, и в первую очередь образовательного процесса.

Нет четко устоявшегося определения термина «психологическое обеспечение». Для этого есть и объективные (состояние научной разработанности проблемы) и субъективные причины (место, время, люди, средства).

Предлагается использовать следующее рабочее определение: *это целенаправленное и планомерное использование психологических ЗНАНИЙ в управлении образовательным процессом для повышения его ЭФФЕКТИВНОСТИ.*

Термин «знание» используется в очень широком смысле – это и знание психологических особенностей субъектов процесса (студентов, педагогов, других специалистов образовательного учреждения), это и психологические знания о процессах управления, это и психологические знания о процессах возрастных изменений человека, профессиональных деформациях и так далее.

Психологические знания «добываются» (получаются, собираются и т.д.) в результате комплекса психологических работ, должны быть актуальными, объективными, адекватными для выработки управленческих решений.

В образовательном учреждении основной составляющей психологических знаний является информация о психологических особенностях студентов – развернутая психологическая характеристика (психологическое досье) студента.

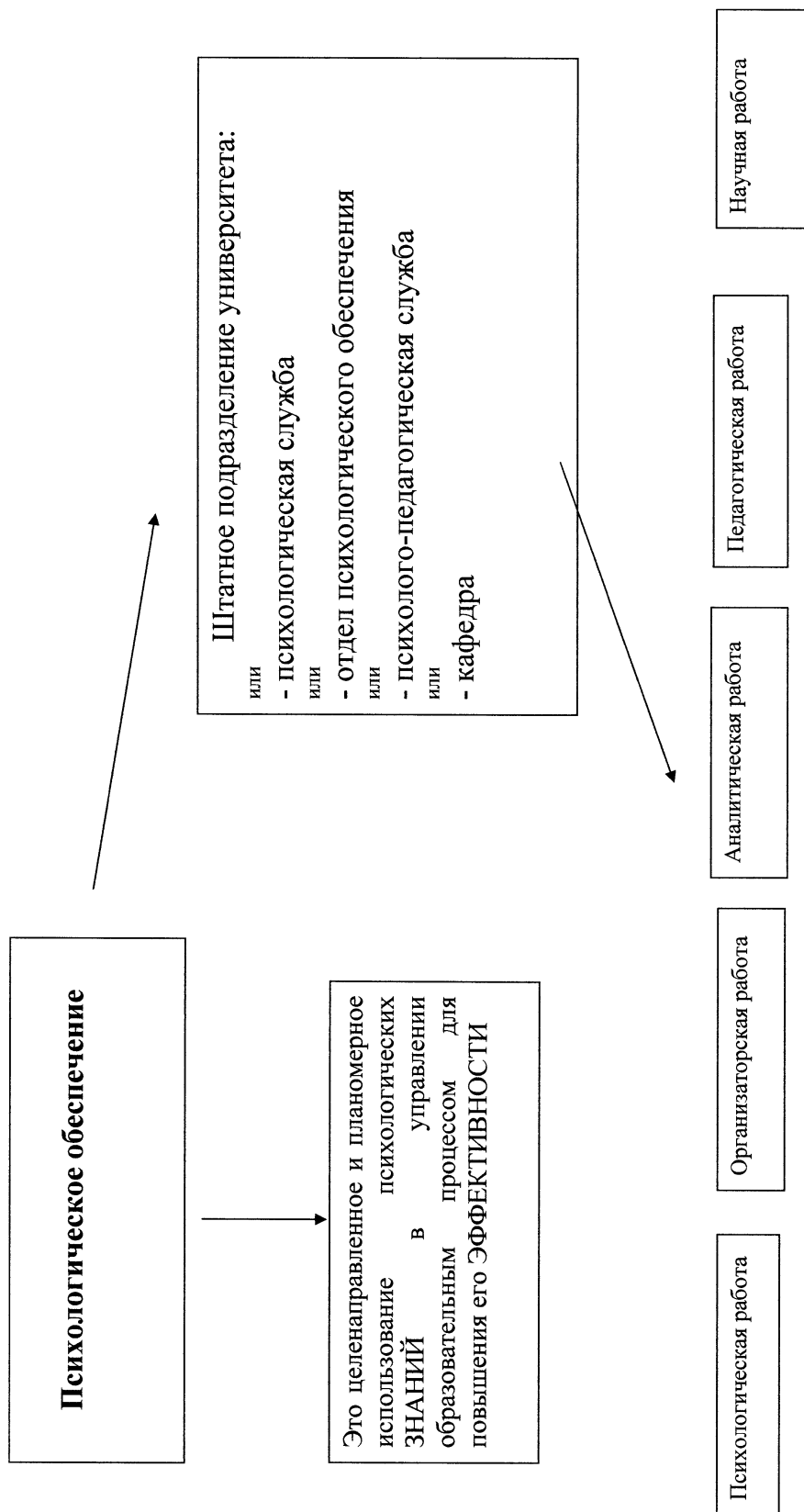


Рисунок 1 – Элементы психологического обеспечения

Для выполнения такого комплекса психологических работ создается штатное подразделение учреждения и чаще всего – это психологическая служба [4].

Комплекс психологических работ включает в себя:

- психодиагностическую работу
- консультационную работу
- экстренную психологическую помощь.

Анализ многолетнего опыта деятельности психологических служб (или подразделения, имеющих другое название, но решающие схожие задачи, в первую очередь это подразделения профессионального-психологического отбора, которые, например, в военно-морском флоте действуют с 1979 года) позволяет выделить узловые моменты правильной организации психологической работы:

- для каждого вида работ нужен психолог, получивший специализацию по этому виду работы
- качественная психодиагностическая работа может проводиться только в специально выделенные часы учебных занятий
- качественная психодиагностическая работа может быть проведена только при наличии автоматизированной системы психодиагностики (сетевой компьютерный класс на 15 - 20 рабочих мест и специальное программное обеспечение)
- соблюдать важнейший принцип психодиагностики – сообщать обследуемому результаты психодиагностики (консультационная работа в расширенном варианте).

Следующий этап развития психологической службы связан с расширением спектра психологической работы.

Введение коррекционной психологической работы потребует создания уже психолого-педагогической службы, подразделению, наиболее полно отвечающему комплексу мероприятий, обеспечивающих психологическое сопровождение (рис. 1).

Но базовой организацией для психолого-педагогической службы может быть только специализированная кафедра, например кафедра «Психологической подготовки», где студенты получают знания и навыки саморазвития с целью формирования у себя профессионально важных качеств [5].

В рамках учебного процесса этой кафедры как раз наиболее оптимально проведение всех видов психологической работы.

Выводы. Психологическое обеспечение подготовки кадров плавсостава имеет исключительно важное значение для повышения качества и надёжности судовых специалистов, безопасности судоходства. Очевидно, многое в решении психологических проблем, стоящих в единстве перед системой подготовки плавательных специальностей и флотом, зависит в первую очередь от квалифицированной и искусной организации и деятельности психологической службы отрасли, её кадрового и материально-технического обеспечения. Вместе с тем немалую роль в этом играют и все

остальные подразделения судоходных компаний и учебных заведений водного транспорта, без активного сотрудничества которых психология на водном транспорте вряд ли добьётся значительных успехов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XII международного семинара «Качество судоходства: стандарты XXI века». – СПб. : Морской регистр России, 2009. – 113 с.
2. Международная Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДМНВ).
3. Оперативная оценка функционального состояния судоводителя : Отчет по НИР. – СПб. : СПб университет водных коммуникаций, 2010 – 94 с.
4. Козик С. В. Концепция «Системы формирования профессионально важных качеств» у курсантов военно-морского института. – СПб, 2001. – 103 с.
5. Зайцев А. Г., Зайцев С. В., Козик С. В. Теория и практика здоровья: валеология профессиональной деятельности и семейной жизни. – СПб, 2003. – 156 с.

Дмитрієв В.І., Козік С.В. ПСИХОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДГОТОВКИ ПЛАВСКЛАДУ

У статті на основі аналізу причин аварійності на флоті та зростання ролі людського фактору, обґрунтована необхідність організації психологічної підготовки плавскладу. Психологічна підготовка майбутніх офіцерів флоту впроваджується при вивченні дисципліни – Психологічні основи управління судновим екіпажем та в результаті психологічного забезпечення навчального процесу в університеті. Представлені організаційні форми психологічного забезпечення навчального процесу.

Ключові слова: людський фактор, психологічне забезпечення, психологічна підготовка, психологічна служба, психолого-педагогічна служба.

Dmitriev V.I., Kozik S.V. PSYCHOLOGICAL EDUCATION SUPPORT OF SEAFARERS

In this article, by analyzing the causes of accidents in the fleet, an increase in the role of human-factors that justified the need for psychological training of seafarers. Psychologically prepare future officers of the fleet is carried out in the course of learning a new discipline - the psychological foundations of management of the ship's crew and as a result of the psychological support of the educational process at the university. Presents the organizational forms of psychological support of the educational process.

Keywords: human factors, psychological support, psychological training, psychological services, psycho-pedagogical service.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШТРАФНОЙ ДОБАВКИ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ ПОИСКА ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУДНА

Кабанова Н.Н.,

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

Проанализированы виды штрафных добавок к оптимизируемой целевой функции. Путем сравнения предложен наилучший вариант добавки, обеспечивающий отсутствие овражного рельефа поверхности оптимизируемой функции.

Ключевые слова: штрафная добавка, целевая функция, оптимальное решение.

Постановка задачи. Как известно, штрафная добавка (ШД) применяется для сведения оптимизационной задачи с ограничениями к безусловной. Это достигается путем добавления «штрафа» на оптимизируемый критерий эффективности. Таким образом, оптимизируется целевая функция (ЦФ), являющаяся результатом сложения исходной функции и штрафной добавки.

Одним из методов решения задач такого рода является метод Пауэлла. Однако данный метод плохо работает на функциях, имеющих ярко выраженный овражный рельеф. Поскольку вне области допустимых значений величина ШД намного больше ЦФ, форма новой поверхности в основном определяется ШД, и следовательно, ее вид имеет ключевое значение для успешного применения алгоритма оптимизации.

Анализ последних достижений и публикаций показал развитие направления оптимизационного проектирования судов, обеспечивающее их большую конкурентоспособность. Для решения оптимизационных задач, как правило, используются методы нелинейного программирования, в частности метод Пауэлла, рассмотренный в работе [1]. Для сведения задачи с ограничениями к безусловной, могут применяться методы барьерных и штрафных функций [1-3].

Выделение нерешённых ранее частей общей проблемы. В задаче оптимизационного проектирования судна выбор типа штрафной функции недостаточно изучен; неправильный ее выбор может привести к овражному рельефу оптимизируемого критерия, и, как следствие, – к получению искаженного результата.

Цель работы состоит в выборе типа штрафной добавки для оптимизационной задачи таким образом, чтобы поверхность модифицированной функции наилучшим образом подходила для ее решения методами нелинейного программирования [2].

Изложение основного материала. Проектирование судна сопряжено с решением задачи выбора характеристик, обеспечивающих наиболее эффективное выполнение функциональных операций при его эксплуатации. При этом необходимо выполнить ряд условий, представленных системой

соответствующих тривиальных и функциональных ограничений. Таким образом, задача сводится к виду:

$$f(\bar{x}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $f(\bar{x})$ – оптимизируемая ЦФ; $\bar{x}$ – вектор независимых переменных.

На выражение (1) накладывается система n линейных или нелинейных ограничений в виде неравенств.

Как правило, задача (1) решается методами нелинейного программирования. Это достигается путем использования штрафных функций [3], позволяющих свести оптимизационную задачу с ограничениями к безусловной. Таким образом, оптимизации подлежит новый критерий:

$$f(\bar{x}) = f(\bar{x}) + P(\bar{x}), \quad (2)$$

где $P(\bar{x})$ – штрафная функция.

Штрафная функция в (2) может иметь различную математическую форму. В зависимости от этого различают методы внутренней (барьерная функция) и внешней точки (штрафная функция). Примером барьерной функции является:

$$P(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{g_i(x)},$$

где g_i – штрафная добавка, которая при нарушении ограничений ухудшает значение Φ . К минусам рассмотренной добавки можно отнести невозможность получения результата при выходе точки из области допустимых значений. Для решения этой проблемы в [1] предложено введение условного перехода, вследствие чего добавка примет вид [1]:

$$P(\bar{x}) = \begin{cases} \frac{1}{g_i(x)} & \text{їдї } g_i(x) \geq \varepsilon \\ \frac{[2\varepsilon - g_i(x)]}{\varepsilon^2} & \text{їдї } g_i(x) < \varepsilon \end{cases},$$

где ε – положительная малая величина.

Однако, как показывает практика, при необходимости выполнения большого количества ограничений, выбор ε сопряжен с трудностями.

В задаче оптимизационного проектирования судна широкое применение нашла безразмерная нормализованная штрафная функция:

$$P(\bar{x}) = r_k \sum_{i=1}^n [(g_i(x))^2], \quad (3)$$

где r_k – штрафной коэффициент, регулирующий скорость возрастания суммарного штрафа; штрафная добавка:

$$g_i(x) = \begin{cases} \frac{c-x}{x} & \text{їдє } \frac{c-x}{x} \leq 0 \\ 0 & \text{їдє } \frac{c-x}{x} > 0 \end{cases}. \quad (4)$$

В выражении (4): x – параметр, на который накладывается ограничение; c – значение ограничения.

Однако (4) также, как и предлагаемая в [1], является барьерной.

Рассмотрим пример использования выражения (4). Пусть поставлено тривиальное ограничение $c \leq 5$, при $r_k = 3$, тогда графически штрафная добавка $g(x)$ примет вид, представленный на рисунке 1.

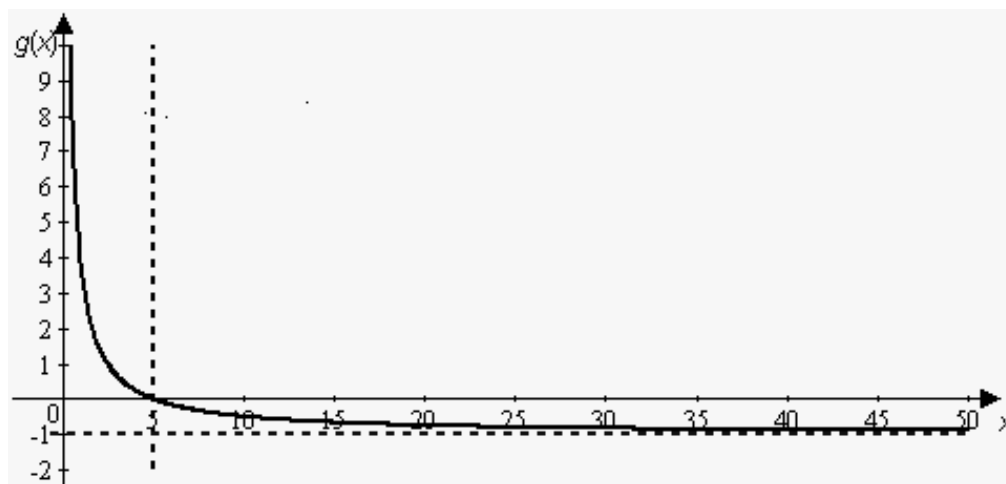


Рисунок 1 – Зависимость штрафной добавки от значения переменной, на которую накладывается ограничение

Как видно из рисунка 1, на границе ограничения график функции пересекает ось x и выходит в отрицательную область, асимметрично приближаясь к границе $g(x) = -1$. Данная форма легко объясняется, если функцию привести к виду:

$$g(x) = \frac{c-x}{x} = \frac{c}{x} - \frac{x}{x} = \frac{c}{x} - 1.$$

Таким образом, при $x \rightarrow \infty$ выполнится условие $\frac{c}{x} \rightarrow 0$ и как следствие $g(x) \rightarrow -1$.

Штрафная функция (3) же примет вид, представленный на рисунке 2.

Анализ зависимости показал, что после перехода допустимой границы $c = 5$ для функции выполняется условие:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{P(x)}{x} = r_k. \quad (5)$$

Таким образом, при применении $P(\bar{x})$ рассматриваемого типа может возникнуть случай, когда скорость убывания ЦФ станет выше скорости

возрастания штрафной функции. Попытка решить данную проблему увеличением r повлечет лишь увеличение «крыла» функции.

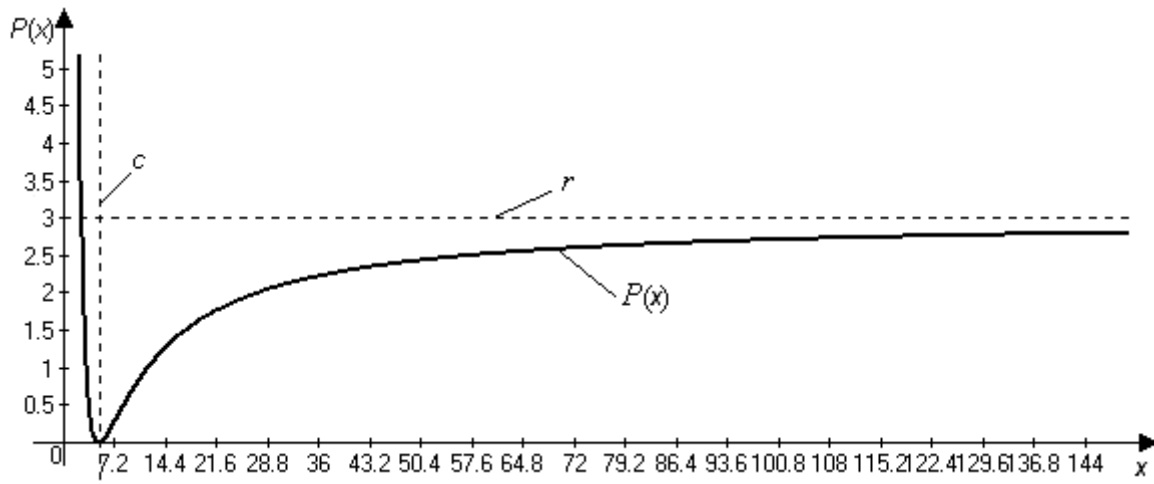


Рисунок 2 – Зависимость штрафной функции от значения переменной, на которую накладывается ограничение

Как известно, выбор типа штрафной добавки зависит от характера поверхности оптимизируемой функции. При этом необходимо помнить, что поиск ведется по модифицированной поверхности (МП), аналитически задаваемой выражением (2).

Одним из множества ограничений в задаче проектирования судна является невязка уравнения плавучести:

$$eps = 100 \left| \frac{C_b L B d \gamma - \sum_{i=1}^n G_i}{C_b L B d \gamma} \right| \leq 0,5,$$

где C_b , L , B , d – соответственно коэффициент общей полноты, длина, ширина, осадка судна, G_i – значение i -го раздела нагрузки масс судна, n – количество наименований разделов масс судна, γ – плотность морской воды.

Диапазон изменения невязки, по сравнению с другими ограничениями, значительно больше. Ряд опытов показал, что в процессе решения оптимизационной задачи данный параметр может принимать значение $eps = 400$. Поскольку скорость роста функции в направлении максимального изменения данного ограничения значительно больше, чем в других, возникает случай овражной функции (рис. 3). Использование метода Пауэлла для поиска экстремума в этом случае, сопряжено с трудностями. Связано это с тем, что дно модифицированной функции будет иметь вид наклоненной площадки; а поскольку ее наклон мал, и в окрестности дна поверхность имеет крутые края, метод Пауэлла не сможет определить глобальный оптимум. Это означает, что при n -ом количестве запусков задачи поиска оптимума, будет получено n различных решений. Это и объясняет получение неустойчивого оптимального результата.

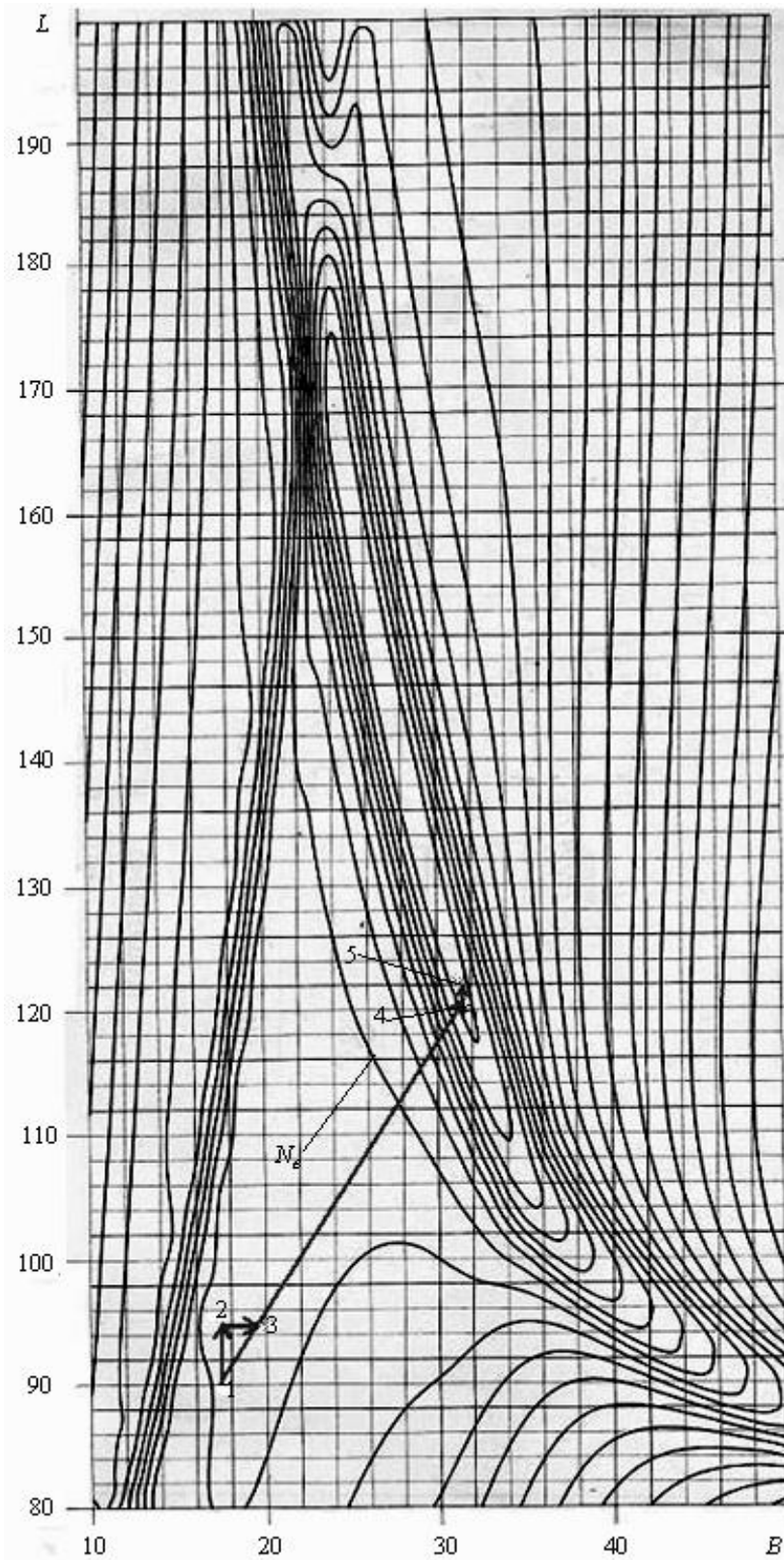


Рисунок 3 – Пример работы метода Пауэлла на овражной функции

На рисунке 3 представлены линии уровня поверхности $N_e = f(L, B) + P(\bar{x})$, где N_e, L, B – соответственно мощность СЭУ, длина и ширина судна.

Использование (3) влечет за собой условия:

а) чем дальше от границы допустимых значений находится переменная, тем большее значение приобретает штрафная добавка. Однако с учетом (5) на определенном участке скорость увеличения $P(\bar{x})$ будет незначительна, а это значит, что в этом случае на указанном промежутке $\frac{\partial P(x)}{\partial x} \rightarrow 0$. Таким образом, роль играет наклон ЦФ, а не величина штрафной добавки;

б) в то же время незначительное нарушение ограничения повлечет резкое увеличение $P(\bar{x})$.

Анализируя вышеуказанные особенности (3), можно сделать вывод о сложности ее применения. Эта проблема может быть решена путем изменения вида штрафной добавки к виду:

$$g_i(x) = \begin{cases} k_i(c_i(x) - z_i^{\min}) & \text{їдє } c_i(x) - z_i^{\min} < 0 \\ k_i(z_i^{\max} - c_i(x)) & \text{їдє } z_i^{\max} - c_i(x) < 0 \\ 0 & \text{їдє } c_i(x) - z_i^{\min} \geq 0 \\ 0 & \text{їдє } z_i^{\max} - c_i(x) \geq 0 \end{cases},$$

где k_i – коэффициент управления штрафной добавкой; $c_i(x)$ – параметр, на которое накладывается ограничение; $z_i^{\max}$, $z_i^{\min}$ – соответственно максимальное и минимальное допустимые значения ограничений;

Штрафная функция сведется к виду:

$$P_i(x) = r_k \ln \left[\sum_{i=1}^n |g_i(x)|^p + a \right], \quad (6)$$

где p – показатель степени штрафной добавки, $a = 1$ – параметр, обеспечивающий нахождение (6) в ОДЗ:

$$\sum_{i=1}^n |g_i(x)|^p \uparrow \Rightarrow \ln \left(\sum_{i=1}^n |g_i(x)|^p + 1 \right) \uparrow$$

по

$$\text{їдє } \sum_{i=1}^n |g_i(x)|^p = 0, \ln \left(\sum_{i=1}^n |g_i(x)|^p + 1 \right) = \ln(0 + 1) = \ln(1) = 0$$

В выражение (6) введен логарифм для удобства восприятия графического изображения модифицированной функции, в окрестности которой ведется поиск экстремума. Таким образом, решается проблема стремительного возрастания функции по оси ординат.

Повышение степени (p) влечет за собой более пологую форму графика, тем самым давая возможность регулировки дна оптимизируемой поверхности (рис. 4).

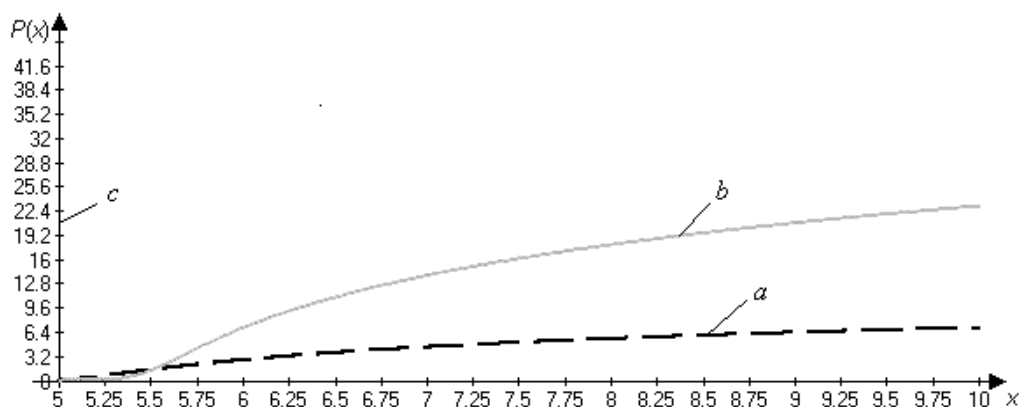


Рисунок 4 – Влияние степени штрафной добавки (p) на форму $P(x)$:
 $a - P(x) = 2\ln[2(5-x)^{1.5} + 1]$; $b - P(x) = 2\ln[2(5-x)^5 + 1]$; $c=5$ – ограничение на $P(x)$

Монотонно возрастающая функция может управляться коэффициентами k , r , регулирующими плавность ее возрастания (рис. 5, 6).

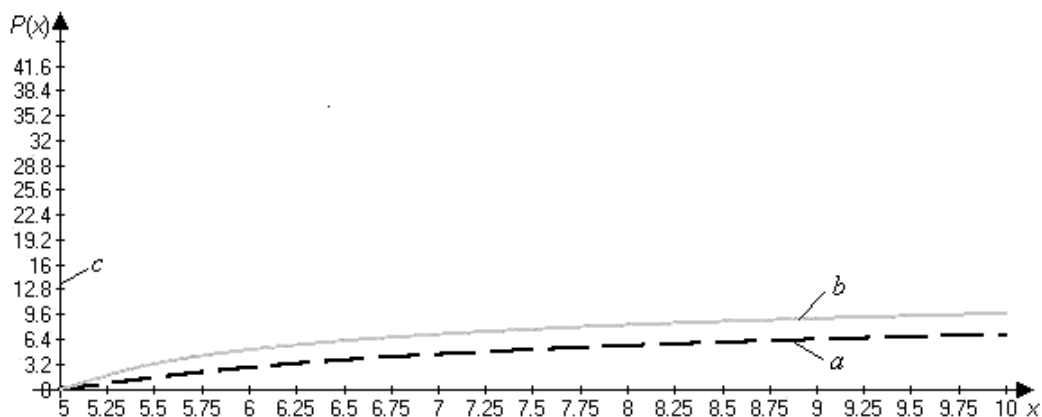


Рисунок 5 – Влияние коэффициента штрафной добавки (k) на форму $P(x)$:
 $a - P(x) = 2\ln[2(5-x)^{1.5} + 1]$; $b - P(x) = 2\ln[5((5-x)^{1.5} + 1)]$; $c=5$ – ограничение на $P(x)$

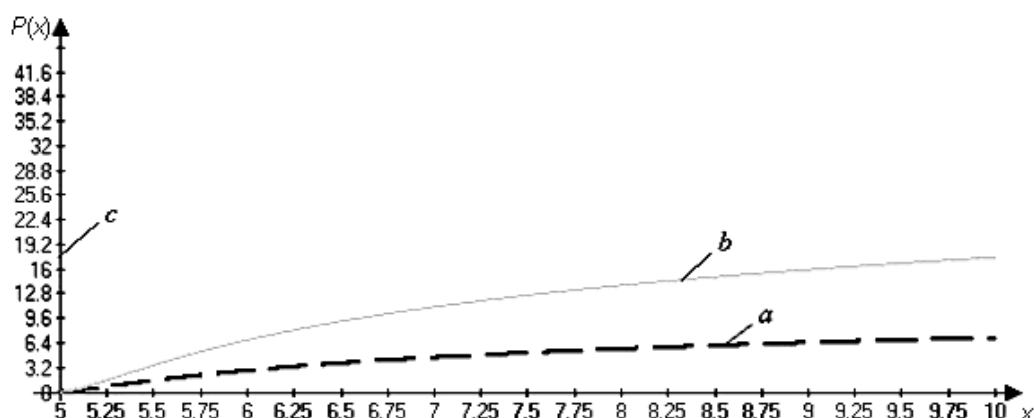


Рисунок 6 – Влияние коэффициента штрафной функции (r) на форму $P(x)$:
 $a - P(x) = 2\ln[2(5-x)^{1.5} + 1]$; $b - P(x) = 5\ln[2((5-x)^{1.5} + 1)]$; $c=5$ – ограничение на $P(x)$

В отличие от (3), модифицированная штрафная функция (6), путем варьирования соответствующих коэффициентов, позволяет обеспечить плавность поверхности, вдоль которой ведется поиск оптимального решения и отсутствие на ней оврагов. Тем самым обеспечивается возможность беспрепятственного применения известного метода Пауэлла.

Вывод. Для рассматриваемого решения рассматриваемой оптимизационной задачи, целесообразно использование штрафной добавки вида (6), как обеспечивающей управление модифицированной поверхностью путем вариации коэффициентов и степени штрафной функции и как следствие получение гладкой поверхности, в окрестности которой ведется поиск оптимального решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вashedченко А. Н. Автоматизированное проектирование судов / А. Н. Вashedченко – Л. : Судостроение, 1985. – 159 с.
2. Mokhtar S. Bazaraa Nonlinear Programming: theory and algorithms / Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C. M. Shetty. – 3rd ed., 2006. – 853 p.
3. Трифонов А. Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения [электронный ресурс] / А. Г. Трифонов – режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book2/index.php>.

Кабанова Н.М. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТРАФНОЇ ДОБАВКИ В ОПТИМІЗАЦІЙНІЙ ЗАДАЧІ ПОШУКУ ГОЛОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНА
Проаналізовано види штрафних добавок до оптимізованої цільової функції. Шляхом порівняння запропоновано найкращий варіант добавки, який забезпечує відсутність яружного рельєфу поверхні оптимізованої функції.
Ключові слова: штрафна добавка, цільова функція, оптимальне рішення.

Кабанова Н.Н. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШТРАФНОЙ ДОБАВКИ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ ПОИСКА ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУДНА

The types of penalty supplements for optimized objective function are analyzed. The best variant of supplement is proposed which was obtained by comparison. The condition for choosing was the absence of ravine surface relief.

Keywords: штрафна добавка, цільова функція, оптимальне рішення.

ОХРАНА ТРУДА ЭКИПАЖА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАНКЕРА

*Леонов В.Е., Гуров А.А., Букетов А.В., Исаев Е.А.,
Херсонская государственная морская академия*

В статье приведены сведения по охране труда судового экипажа нефтеналивного судна – танкера. Особое значение, согласно нормативных требований Международной Морской Организации, придается сохранению жизнедеятельности экипажа и живучести судна. Приведен анализ вредных и опасных факторов при эксплуатации танкера, как специфического вида морского транспорта. Особенно необходимо отметить повышенную пожаро-взрывоопасность перевозимых нефтепродуктов и, как следствие, необходимость для судовладельца иметь на судне квалифицированный экипаж.

Ключевые слова: охрана труда, экипаж судна, танкер, система инертных газов, безопасность экипажа.

Введение. Охрана труда на морском транспорте имеет свои особенности и специфична в том смысле, что экипажу необходимо постоянно помнить о том, что в случае возникновения каких-либо проблем или причинения вреда здоровью или летального исхода членов экипажа, экипаж, в каждом случае, оказывается один на один с этой проблемой.

Постановка проблемы. Одним из наиболее сложных видов морского транспорта является танкерный флот. Для судов этого типа характерны специфические операции, такие как грузовые работы, балластировка, зачистка танка, подача инертного газа или вход в закрытые помещения. Поэтому все члены экипажа танкера должны иметь соответствующие сертификаты, подтверждающие их компетенцию и возможность выполнения всех необходимых судовых процедур.

Вопросам охраны труда на морском транспорте посвящены работы российских учёных Латухова С. В., Ушакова В. М., Никитина В. А., Соколова М. О. и других, которые обобщены в монографии [1] Дмитриева В. Н., Дмитриевой Е. Н. [2], Белова С. В. [3] и украинских учёных Колегаева М. А., Иванова Б. Н., Басанца Н. Г. [4].

При эксплуатации танкеров в процессе загрузки – выгрузки, транспортировки и хранения нефтепродуктов происходит эмиссия паров углеводородов с воздухом из танков. Это опасно, поскольку может привести к пожару, взрыву, гибели экипажа, разрушению судна и загрязнению морской среды нефтепродуктами.

Для устранения вышеуказанных опасных и вредных факторов нами разработано новое техническое решение [5÷7], которое состоит в оригинальном способе утилизации паров углеводородов.

Данное новое техническое решение позволит решить три основные проблемы:

1. *Повысить экономическую эффективность морских перевозок нефтепродуктов за счет снижения потерь углеводородов.*

2. Уменьшить опасность проявления «парникового» эффекта (Киотский Протокол 1997г., Япон) за счет снижения эмиссии паров углеводородов в атмосферу.

3. Снизить степень риска пожара, взрыва паров углеводородов с воздухом с 10^{-4} до 10^{-6} , соответственно, повысить уровень безопасности, охраны труда экипажа, обеспечить безопасность плавания танкеров и сохранность материальных ценностей.

Цель работы. Говоря о системе охраны труда на флоте и, на танкере в частности, необходимо выделить несколько направлений, по которым нужно направить усилия и внимание:

1. Знание и безусловное выполнение нормативно-правовых и законодательных актов, конвенций при транспортировке опасных горючих материалов наливом танкерами.

2. Сохранение мореходных качеств танкера при погрузочно – разгрузочных операциях и транспорта нефтепродуктов морским флотом.

3. Локализация пожара и предотвращение взрыва при возникновении опасных ситуаций.

4. Подготовка инертных газов на борту судна и использование инертных газов в качестве безопасной среды в танках для предотвращения взрывов и пожаров.

5. Разработка конкретных рекомендаций по обеспечению безопасных и безвредных условий труда экипажа при эксплуатации танкерного флота.

Практическая значимость. Для предотвращения опасности возникновения пожара или взрыва на танкере необходимо исключить присутствие источника воспламенения и воспламеняющейся среды в одном и том же месте одновременно. Поскольку присутствие воспламеняющихся газов возможно в отсеках грузовых помещений, насосных отделениях, а в некоторых случаях - на палубе над танками, важно, прежде всего полностью исключить наличие источников воспламенения в этих местах. В каютах, камбузах и других помещениях, расположенных в пределах жилого блока, исключить наличие источников воспламенения, таких как электрические приборы, спички и зажигалки. В машинном и котельном отделениях источники воспламенения, возникающие в процессе эксплуатации котла и электрооборудования, устранить невозможно. Поэтому действия должны быть направлены, главным образом, на предотвращение проникновения воспламеняющихся газов в такие помещения. Экипаж танкера должен поддерживать установленный контроль за предотвращением опасности воспламенения бункерных и грузовых отсеков. В будущем в практике эксплуатации, появится возможность надежно контролировать как наличие воспламеняющихся газов, так и источников воспламенения в палубных мастерских, кладовых, на баке, в рубке, в сухогрузных трюмах [8].

Все время эксплуатации танкера, курение разрешается во время и в местах, установленных капитаном. В разделе 4.8.2. ISGOTT содержатся критерии, которые должны быть приняты во внимание при определении мест

для курения. Курение должно быть запрещено на палубе над танками или в любом другом месте, где могут содержаться пары углеводородов. Использование спичек и зажигалок за пределами жилых помещений должно быть запрещено, за исключением тех мест, где курение разрешается. Спички и зажигалки не должны выноситься персоналом за пределы этих помещений и переноситься по палубе. Переносные и стационарные предупредительные знаки, запрещающие курение и использование открытых огней, должны быть выставлены так, чтобы они были хорошо заметны и у выходов из жилых помещений. В пределах жилых помещений на заметных местах должны быть вывешены инструкции по курению.

Персонал камбуза также должен быть проинструктирован о порядке безопасной эксплуатации оборудования камбуза. Лица, не имеющие соответствующих полномочий или опыта, не допускаются к эксплуатации такого оборудования. Персонал камбуза должен быть обучен обращению со средствами пожаротушения. Должны быть в наличии соответствующие огнетушители и покрывала для локализации огня. Переносное электрооборудование, включая лампы, должно быть одобрено компетентными органами и тщательно осмотрено с целью обнаружения возможных дефектов непосредственно перед использованием. Особое внимание следует обращать на целостность изоляции и надежность соединений кабелей до включения и в процессе использования данного оборудования.

Оборудование из алюминия не должно соприкасаться со сталью, так как это может привести, к образованию пятен, которые, в случае, если сталь ржавая, при последующем ударном воздействии может стать причиной возникновения воспламеняющей искры. Поэтому рекомендуется, чтобы нижние поверхности алюминиевых трапов и других тяжелых переносных алюминиевых конструкций были защищены твердым пластиковым покрытием или деревянными рейками.

Некоторые влажные органические материалы или материалы, пропитанные маслом, особенно маслом растительного происхождения, могут воспламениться не в результате воздействия внешнего источника нагревания, а в результате постепенного нагревания самого материала в процессе окисления. Опасность самовоспламенения нефтяных масел не столь велика по сравнению с растительными маслами, однако они все же могут воспламениться. Остатки хлопка, ветошь, брезент, постельные принадлежности, джутовые мешки и любые подобные им поглощающие материалы не должны складироваться рядом с маслом, краской, а также их не следует оставлять на причале, палубах, оборудовании, на трубопроводах или вокруг них. Если эти материалы увлажнились, их следует просушить до того, как они будут убраны. В том случае, если они пропитались маслом, их следует либо очистить, либо уничтожить. Жидкие нефтепродукты при нагревании до определенной температуры воспламеняются даже при отсутствии источника открытого огня. Этот процесс самовоспламенения наиболее часто имеет место при разбрызгивании под давлением топлива или

смазочного масла на горячую поверхность. Он также возникает, когда масло пролившись на обшивку, испаряется и вспыхивает. Оба таких случая явились причиной серьезных пожаров в машинном отделении. Маслопроводные питающие линии требуют особого внимания в части предотвращения разбрызгивания масла из точек истечения. Предохранительный кожух, пропитанный маслом, должен быть заменен, а персонал в период замены кожуха защищен от любого последующего воспламенения паров.

Насосные отделения, в силу своего расположения, устройства и характера эксплуатации, представляют особую опасность и требуют принятия специальных мер предосторожности. Осушительные колодцы насосного отделения должны содержаться чистыми и сухими. Особое внимание следует обращать на предотвращение протечки нефтепродуктов и углеводородных паров в насосное отделение. Поэтому все сальники насосов, прокладки клапанов, уплотнители, сливные краны и отстойники должны поддерживаться в хорошем состоянии.

В случае значительной протечки применение изолирующей огнетушительной пены поможет контролировать выделение углеводородных испарений до тех пор, пока ситуация не будет взята под контроль.

Из-за возможности присутствия углеводородного газа внутри насосного отделения требуется применение вентиляции. Правила предписывают удалять воздух и любой нефтяной газ из-под настила насосного отделения механическим способом.

Перед каждым входом в насосное отделение оно должно быть тщательно провентилировано, а его атмосфера проконтролирована на содержание паров углеводородов. Вентилирование должно осуществляться до тех пор, пока доступ персонала в насосное отделение более не потребуется. Отключение вентиляционной системы насосного отделения в случае пожара требует эффективной работы заслонок в газоотводной магистрали. Поэтому их следует поддерживать в работоспособном состоянии. Никто не должен входить в насосное отделение, в какое бы то ни было время без предварительного разрешения ответственного лица командного состава. Обязанностью лица командного состава, ответственного за грузовые операции, является обеспечение вентилирования насосного отделения, с тем, чтобы атмосфера внутри помещения стала пригодной для входа, а также установление и поддержание соответствующего порядка связи. У входа в насосное отделение должны быть выставлены предупредительные знаки, запрещающие вход без предварительного разрешения. Спасательные концы и снаряжение насосного отделения должны находиться в состоянии готовности к немедленному использованию. Там, где это возможно, должен быть обеспечен свободный для доступа прямой подъемник. Дыхательные и реанимационные аппараты одобренного типа должны находиться в доступном месте.

Одной из дополнительных мер обеспечения безопасности танкера является система инертного газа.

Отметим некоторые, наиболее важные, факторы и процедуры, которые должны выполняться экипажем при эксплуатации такого судна.

Эксплуатация и уход за системой инертных газов должны производиться в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации системы, издаваемой заводом-изготовителем.

Содержание кислорода в инертном газе не должно превышать 5% объема, при этом в газе должны отсутствовать оксид углерода и другие горючие примеси. При увеличении содержания кислорода до 8% объема должна срабатывать световая и звуковая сигнализация предупреждения. Температура газа, поступающего в грузовые танки, не должна быть более 65°C.

Давление инертного газа в грузовых танках не должно превышать 0,017 МПа (0,17 кгс/кв.см), исключая танки, спроектированные для высоких давлений. При этом должны использоваться высокочувствительные приборы для контроля за давлением.

В состав инертных газов могут входить диоксид серы, оксиды азота, которые обладают токсичностью. В связи с этим членам экипажа при работе с инертными газами экипажу необходимо соблюдать особые меры предосторожности.

При этом необходимо отметить, что применение системы инертных газов на танкере не гарантирует абсолютную взрывопожаробезопасность в связи с возможностью попадания атмосферного кислорода в инертные газы, поэтому на танкерах с системами инертных газов не должны ослабляться обычные меры пожарной безопасности и экипаж должен быть об этом хорошо осведомлен.

Инертными газами нельзя воздействовать на внешние очаги загорания, например при загорании нефтепродуктов, разлитых на грузовую палубу, при пожаре в грузовом танке, получившем пробоину при столкновении, и др., так как инертные газы легко обогащаются кислородом воздуха.

Если грузовые танки заполнены инертным газом под давлением, то нельзя открывать крышки горловин танков, смотровых и моечных лючков, например, для замера уровня груза или отбора проб, до тех пор, пока в танке давление не будет уменьшено и не сравняется с наружным. При этом при открывании крышек горловин или моечных лючков следует находиться в стороне от них и ни в коем случае не стоять над ними.

Перед началом погрузки необходимо в грузовых танках замерить содержание кислорода в инертном газе и данные записать в судовой журнал.

Необходимо учитывать, что при плавании с грузом или в балласте утечки инертного газа из грузовых танков могут происходить при изменении температурных условий, т.е. при повышении температуры воздуха и воды давление газов в танках увеличивается и часть газов выпускается в атмосферу через газоотводную систему, а при понижении температуры воздуха и воды давление газов в танках падает и в них поступает атмосферный воздух, поэтому бывает необходимо произвести подкачку инертных газов в грузовые танки. Подкачку инертного газа рекомендуется

производить в жаркое время суток, чтобы в последующем избежать подрыва предохранительных клапанов.

Пустые грузовые танки, в которых не перевозится груз, также должны заполняться инертным газом, так как в них могут скапливаться пары нефтепродуктов, а также перетекать груз из смежных танков. Особенно важно, чтобы при выгрузке система инертных газов работала постоянно, чтобы поддерживать необходимое давление газов в танках.

Во избежание попадания наружного воздуха разгерметизация грузовых танков не допускается. Дыхательные клапаны газоотводной системы должны быть закрыты. Замер уровня груза в танках должен производиться закрытой системой.

Во время выгрузки необходимо контролировать давление газов в грузовых танках, так как объем поступающих в грузовые танки инертных газов может быть меньше объема отбираемых из танков нефтепродуктов.

В случае снижения давления газов в грузовых танках при работающем нагнетателе необходимо уменьшить производительность грузовых насосов.

Если после выгрузки возникает необходимость проверки остатков груза с помощью рулетки или футштока, необходимо остановить вентиляторы системы инертных газов, закрыть клапаны на все танки, стравить избыточное давление и после этого выполнить замеры.

После проведения замеров необходимо повысить давление газа до номинального.

При производстве балластных операций система инертных газов должна работать в таком же режиме, как и при проведении грузовых операций. При мойке танков стационарными моечными машинками давление инертных газов в танках следует поддерживать в пределах, не превышающих давления, при котором происходит выброс газов из танка через дыхательные клапаны газоотводной системы.

При мойке танков переносными моечными машинками давление инертных газов в танках следует поддерживать несколько больше атмосферного, чтобы предотвратить попадание кислорода в моющиеся танки из внешней среды.

Перед тем как переносить моечные машинки из одного танка в другой, давление инертных газов в этих танках следует снизить до атмосферного. Перед началом мойки и после ее окончания необходимо определить содержание кислорода в атмосфере танка.

После окончания мойки грузовые танки должны быть вновь заполнены инертным газом до номинального давления. Обязательно перед спуском людей в танки для профилактического осмотра или проведения работ необходимо проверить газоанализатором состояние атмосферы танка, то есть концентрацию кислорода, проверить закрытие клапанов, через которые может подаваться инертный газ, и убедиться в том, что танк не сообщается с другими, заполненными инертным газом танками. Во время нахождения людей в танке должна производиться его вентиляция свежим воздухом.

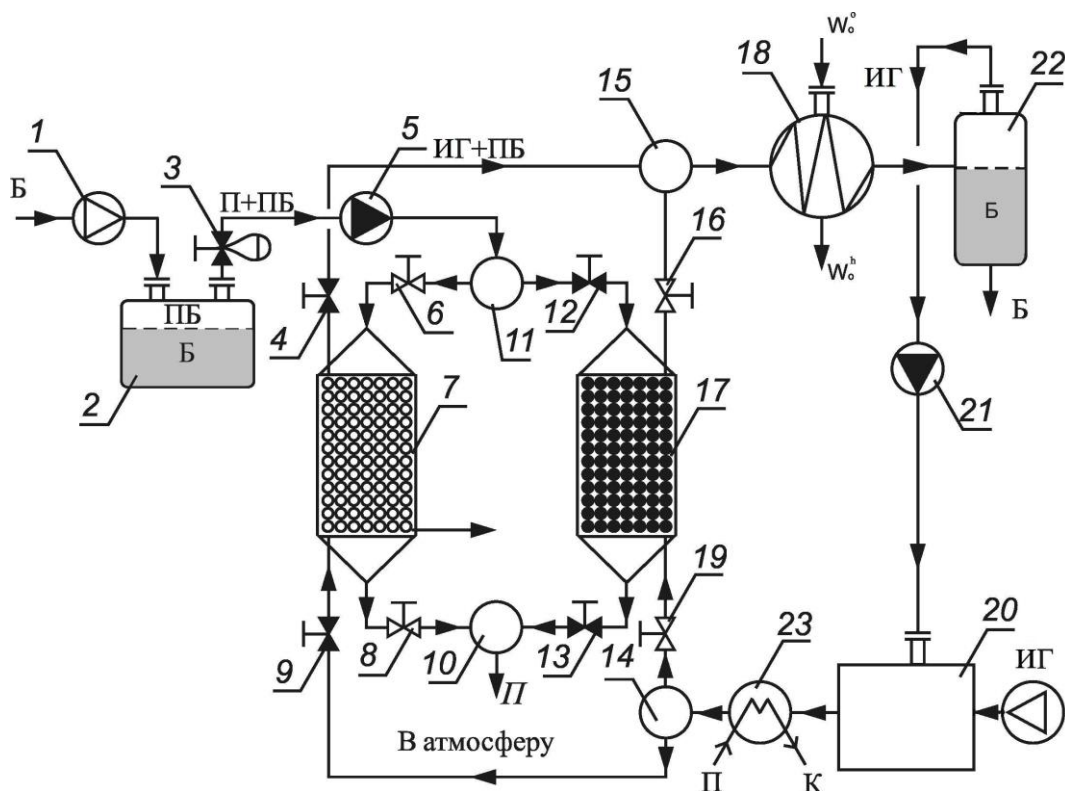


Рисунок 1 – Принципиальная схема утилизации паров углеводородов [9]:

1 – насос; 2 – хранилище; 3 – редуктор; 4, 9, 12, 13 – запорная арматура в закрытом положении; 5, 21 – компрессор; 6, 8, 16, 19 – запорная арматура в открытом положении; 7 – адсорбер в режиме поглощения; 10, 11, 14, 15 – смеситель-распределитель; 17 – адсорбер в режиме регенерации; 18 – холодильник-конденсатор; 20 – установка для получения ИГ; 22 – сепаратор; Б – бензин; ПБ – пары бензина; В – воздух; ИГ – инертный газ; Т – топливо; W_{0o} , W_{0h} – соответственно, охлаждающая и нагретая вода; о – исходный адсорбент для поглощения ПБ; • – адсорбент, насыщенный ПБ; П – пар; К – конденсат

Во время погрузки, приема балласта или дегазации танков, когда из них вытекает инертный газ, все иллюминаторы и двери, выходящие на грузовую палубу, должны быть закрыты во избежание попадания его в судовые помещения. Также необходимо принять меры, предупреждающие захват инертного газа общесудовой вентиляцией через палубные приемники воздуха. При определенных ветровых условиях выпускаемые газы могут задуваться на палубу, даже, если выпуск производится через специально спроектированные газовыпускные отверстия. Более того, если газы выпускаются на низком уровне, а грузовые люки, измерительные отверстия или вентиляторы другого танка используются как газовыпускные отверстия, то атмосфера прилегающих зон может содержать газ во вредных концентрациях и в ней может быть недостаточно кислорода. В этих условиях все вспомогательные работы следует прекратить, а на палубе должен оставаться только основной персонал, предпринимающий все соответствующие меры предосторожности. Кроме того, если предыдущим грузом была сернистая сырая нефть, то следует произвести контрольные

замеры содержания серосоединений. Если установлено, что его содержание превышает 10 ppm, членам экипажа, не защищенным соответствующим образом, следует запретить работать на палубе.

Низкое содержание кислорода в инертном газе может внезапно вызвать удушье. Поэтому не следует находиться в струе выпускаемого газа. При измерении или отборе проб должны быть предприняты меры по предотвращению вдыхания газа. В связи с этим экипажу следует находиться в отдалении от выходящего газа и стоять под прямыми углами к направлению ветра. При нахождении оператора непосредственно по ветру от измерительного отверстия возможно образование вихревых потоков по направлению к оператору.

Отверстия, через которые измерение или отбор проб летучего нефтепродукта производятся вручную, следует держать открытыми только до окончания данных операций [10].

Выбрасываемые из ёмкостей пары углеводородов при процедурах «загрузки-выгрузки» наносят экологический ущерб окружающей среде – «парниковый» эффект и экономический ущерб вследствие прямых потерь углеводородов, а также имеется потенциальная опасность пожара и взрыва при взаимодействии паров углеводородов с воздухом. С целью практического решения указанных проблем разработана технология поглощения углеводородов (рис. 1).

Выводы. Показано отрицательное воздействие танкера, как объекта повышенной опасности на окружающую среду и здоровье человека. Приведены конкретные рекомендации по улучшению обеспечения безопасности экипажа, сохранению его жизнедеятельности. Необходимо расширить исследования по получению инертного газа с концентрацией кислорода не более 1,5 % объема, что снизит риск пожара и взрыва паров углеводородов с воздухом. С целью повышения экологической безопасности экономической эффективности целесообразно продолжить исследования по эффективному поглощению паров углеводородов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латухов С. В., Никитин В. А., Соколов М. О. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда на морском транспорте : монография / Под общей редакцией В. М. Ушакова – СПб : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2011. – 276 с.
2. Правовые обеспечения профессиональной деятельности моряков : учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Дмитриева, Е. Н. Дмитриевой, С. В. Латухова. – М. : Академкнига, 2006. – 207 с.
3. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Под редакцией С. В. Белова. – М. : Высшая школа, 2009 – 245 с.
4. Коллегаев М. А. Иванов Б. Н., Басанец Н. Г. Безопасность жизнедеятельности и выживание на море : учебное пособие. – Одесса : Одесская национальная морская академия, 2011. – 353 с.

5. Патент України на корисну модель «Утилізація парів вуглеводнів» ; заявник та патентовласник : Леонов В. Є., Кареев І. А., Рогожа Г. А., Корсунський В. І. – опубл. 15.02.2007 р.

6. Леонов В. Є. Ресурсозберігаюча іновіційна технологія утилізації парів вуглеводнів // Бізнес - навігатор. – Херсон : МУБІП, 2009. – №1 – С. 48-52.

7. Леонов В. Е. Ходаковский В. Ф. Куликова Л. Б. монография / Под редакцией доктора технических наук, профессора В. Е. Леонова – Херсон : Издательство Херсонского государственного морского института, 2010. – 352 с.

8. Правила морской перевозки нефти и нефтепродуктов наливом на танкерах ММФ. РД 31.11.81.36-81.

9. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды : монография / [Дмитриев В. И., Леонов В. Е., Химич П. Г. и др.] ; под ред. В. И. Дмитриева, В. Е. Леонова. – Херсон : Издавництво ХДМА, 2012. – 400 с.

10. International safety guide for oil tankers and terminals.

Леонов В.Є., Гуров А.А., Букетов А.В., Ісаєв Є.О. ОХОРОНА ПРАЦІ ЕКІПАЖА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТАНКЕРА

У статті наведені відомості з охорони праці суднового екіпажу нафтоналивного судна - танкери. Особливе значення, згідно нормативних вимог Міжнародної Морської Організації, надається збереженню життєдіяльності екіпажу і живучості судна. Наведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації танкера, як специфічного виду морського транспорту. Особливо необхідно відзначити підвищену пожежо-вибухонебезпечність перевезених нафтопродуктів і, як наслідок, необхідність для судновласника мати на судні кваліфікований екіпаж.

Ключові слова: охорона праці, екіпаж судна, танкер, система інертних газів, безпека екіпажу.

Leonov V.Ye., Gurov A.A., Buketov A.V., Isaev E.A. ОХОРОНА ПРАЦІ ЕКІПАЖА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТАНКЕРА

The article presents information on the protection of health and safety of the crew of oil tanker. Special importance, according to the regulations of the International Maritime Organization, is attached to the protection of life and survivability of the crew of the ship. Presents the analysis of hazards and injuries during the operation of tanker as a specific vessel's type at sea transport. It is especially necessary to note the increased fire explosion transported oil products and, consequently, the need for the owner to have on board a qualified crew.

Keywords: health and safety, the crew of the vessel, a tanker, a system of inert gases, safety of the crew.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Нестеренко В.Б., Завальнюк О.П.,

Херсонская государственная морская академия

Рассмотрены способ и методика оценки технического состояния судовых конструкций длительной эксплуатации. Проанализированы напряженно-деформированное состояние и степень усталости корпуса исследуемого судна во время грузовых операций, для чего был использован метод неразрушающего контроля путем измерения коэрцитивной силы. По результатам коэрцитиметрических измерений получены числовые характеристики.

Ключевые слова: техническое состояние корпуса судна, напряженно-деформированное состояние, усталость, неразрушающий контроль, коэрцитивная сила, диагностика.

Введение. Техническое состояние судовых корпусных конструкций в эксплуатации [1] должно обеспечивать безопасность плавания и сохранность перевозимого груза.

В настоящее время в эксплуатации находится большое число судов типа «река-море», которые выработали свой расчетный ресурс, тем не менее, продолжают работать далее, т.к. их замена требует значительных капитальных вложений. Техническое состояние таких судов различно, поэтому требуется способ и методика экспертной оценки их состояния для подтверждения возможности их безопасной эксплуатации или проведения восстанавливающего ремонта либо для принятия решения относительно вывода судна из эксплуатации для утилизации.

Актуальность исследований. Согласно правилам технической эксплуатации РТМ 31.2003-77 [2] судовой экипаж обязан регулярно наблюдать за корпусом и конструкциями, восстанавливать покрытие металла, выполнять ремонт поврежденных элементов конструкции. Класс приводит в [3] нормы износа элементов конструкции, обшивки и палуб, по изменениям которых устанавливают районы и объемы замены металла. Однако на сегодняшний день приборный контроль напряженно-деформированного и усталостного состояний корпуса судна – как основного несущего элемента сложного инженерного сооружения – отсутствует.

Цель работы состоит в том, чтобы используя один из методов неразрушающего контроля, выполнить экспертную оценку технического состояния корпуса судна типа «река-море» и проанализировать его напряженно-деформированное состояние во время грузовых операций.

Результаты исследований. Под напряженно-деформированным состоянием корпуса судна [4] понимают пространственное распределение напряжений и деформаций в судовой корпусной конструкции. Напряженно-деформированное состояние корпуса судна является его важной эксплуатационной характеристикой, так как превышения определенного

уровня напряжения могут привести к деформациям или разрушению судовых конструкций.

Согласно [5] техническое состояние корпуса судна (корпусных конструкций) – это совокупность параметров, определяющих прочность, жесткость и непроницаемость корпуса (корпусных конструкций), подверженных изменению в процессе эксплуатации. Техническое состояние корпусов судов устанавливается в зависимости от степени износа их основных связей, от характеристик остаточных деформаций и других дефектов.

Для корпуса судна Регистром [5] установлены следующие виды технического состояния: *годен* – для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого удовлетворяют требованиям нормативной документации; *ограниченно годен* – для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого удовлетворяют требованиям нормативной документации только для ограниченных (по сравнению с первоначально установленными) условий эксплуатации, регламентируемых Регистром; *не годен* – для корпуса судна, количественные характеристики дефектов которого не удовлетворяют требованиям нормативной документации.

Техническое состояние корпусов судов по Правилам Регистра регламентируют по остаточным толщинам основных групп связей, параметрам деформаций и повреждений, уменьшающих общую и местную прочность корпуса.

Изменение технического состояния корпуса [1] обуславливается дефектами, возникающими при эксплуатации. Дефекты проявляются в виде постепенных износов, остаточных технологических или эксплуатационных деформаций и внезапных отказов (разрушений). Износы представляют собой закономерное уменьшение построечных толщин элементов корпусных конструкций, вызываемое коррозией, эрозией или истиранием. Остаточные эксплуатационные деформации возникают из-за перегрузок отдельных участков или всей корпусной конструкции. Разрушения проявляются в виде разрывов связей, пробоин и трещин. Явление разрушения при многократном повторении напряжений называют [4] усталостью металла. Усталостное разрушение наблюдается при наличии одной из следующих особенностей нагружения: при многократном нагружении одного знака или при многократном нагружении, периодически изменяющемся не только по величине, но и по знаку. Для разрушения от усталости недостаточно переменной напряжений. Необходимо также, чтобы напряжения имели определенную величину.

Оценку технического состояния [5] производят по различным характеристикам: по основному моменту сопротивления поперечного сечения корпуса и остаточной площади расчетной палубы; по остаточным характеристикам поперечного сечения связей корпуса; по остаточным характеристикам отдельного элемента корпуса (листовые связи, набор); по

остаточным деформациям; по состоянию сварных швов и заклепочных соединений.

Для выполнения поставленной задачи был выбран, как наиболее оптимальный [6, 7], магнитный метод неразрушающего контроля по измерениям магнитной характеристики материала конструкции – коэрцитивной силы. Экспертная оценка технического состояния корпуса судна типа «река-море» осуществлялась на основании распределения значений коэрцитивной силы материала судовых конструкций по шпангоутам.

Коэрцитивной силой H_c называют напряженность магнитного поля, необходимую для полного размагничивания предварительно намагниченного ферромагнетика (получения $B=0$ по предельной петле гистерезиса) [8].

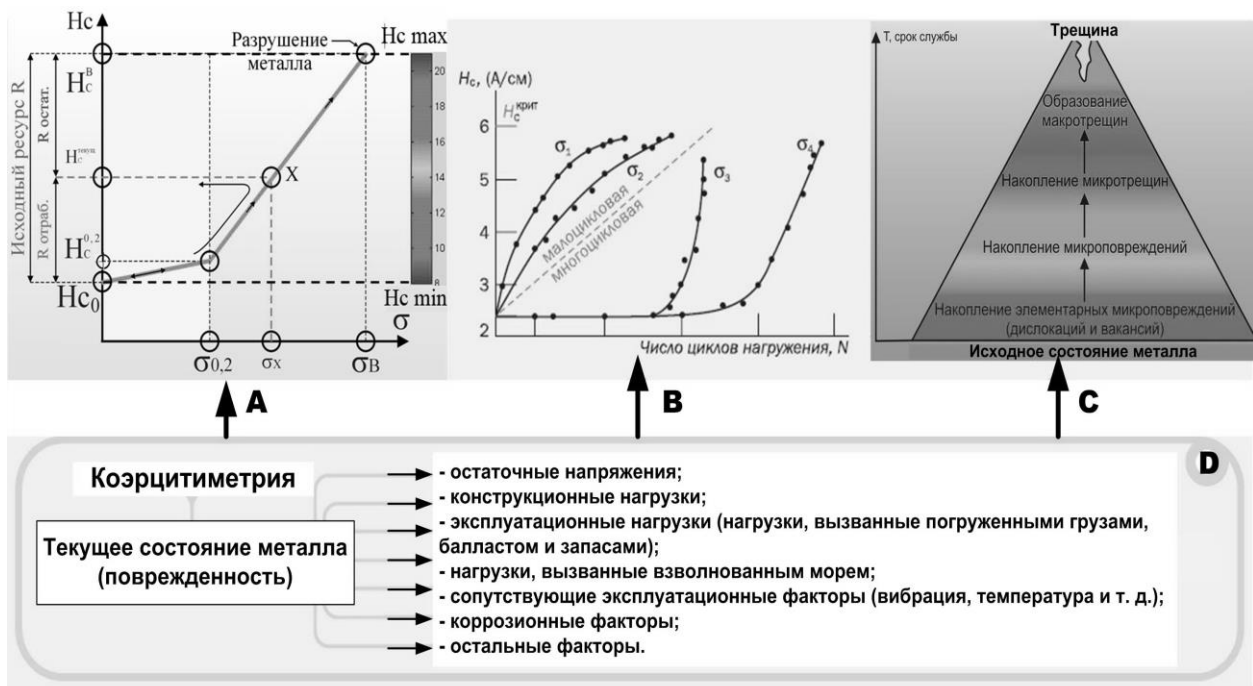


Рисунок 1 – Условные (А, В, С) разновидности развития деградации металла по усталостному типу и эксплуатационные факторы судов (D)

На рисунке 1 модельно показаны основные варианты А, В, С зарождения, накопления и развития необратимых усталостных изменений металла конструкционных марок сталей широкого применения. Часть D рис. 1 показывает главные эксплуатационные факторы судов, являющиеся непосредственной причиной этого процесса деградации или своеобразными его катализаторами. Часть А рис. 1 соответствует доведению металла до разрушения при статическом нагружении за счет механического истощения запаса пластичности и прочности металла. Этот вариант проще всего имитировать при стендовых испытаниях образцов металла на растяжение. В условиях конструкционной деформационной закрепощенности металла имеет место другая крайность деградации металла по усталостному типу (рис. 1, С), когда развитие и накопление микрповреждений в объеме металла происходит без его выраженного макропластического

деформирования. Часть В – смешанный механизм усталостной деградации, когда накопление микрповреждений происходит совместно с невыраженным макропластическим деформированием конструкции.

В процессе накопления микрповреждений и истощения запаса пластичности величина коэрцитивной силы H_c возрастает на 300-400% для таких сталей, как, например, Ст3 или 09Г2С. Для каждой марки металла имеются свои величины коэрцитивной силы в состоянии поставки, H_c^0 , и в состоянии, эквивалентном напряжениям на пределе прочности, H_c^B . Разница $\Delta H_c = H_c^B - H_c^0$ характеризует потенциальный эксплуатационный ресурс металла. В зависимости от сочетания эксплуатационных факторов, (рис. 1, D) и интенсивности нагружения ресурс может расходоваться с разной скоростью (рис. 1, B). Скорость и величину истощения ресурса возможно контролировать на практике измерениями коэрцитивной силы металла, особенно в идущих с опережением зонах концентрации нагружений и напряжений, являющих собой самые опасные области судового корпуса.

Эксперименты осуществлялись на одном и том же судне типа «река-море» в процессе погрузки семян подсолнечника. Грузовые операции проводились в пресноводном порту: на терминале с. Львово (Херсонская обл., р. Днепр). Исследуемое судно имело около 1200 т балласта и 1800 т груза.

Измерения выполнялись согласно временной методике экспертной оценки и технического диагностирования судовых конструкций коэрцитиметрическим методом [9].

Для измерений использовался магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М, который предназначен для контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций, изготовленных из магнитных марок конструкционных сталей. Прибор «различает» по коэрцитивной силе механические свойства и структурное состояние конструкционных марок сталей широкого применения на основных стадиях диаграммы нагружения – упругой, упругопластической и пластической. Диапазон измерения коэрцитивной силы прибором составляет $1,00 \div 40,00$ А/см. Пределы основной допускаемой погрешности измерения коэрцитивной силы не превышают $\pm(0,025/H_c + 0,03)$. Длительность цикла измерения не более 8 с.

Принцип действия прибора основан на вычислении коэрцитивной силы по измеряемому току компенсации остаточной магнитной индукции в замкнутой магнитной цепи, составленной из магнитопровода преобразователя и контролируемой конструкции.

Цикл измерений включает этапы:

- магнитная подготовка (продолжительность 3 с);
- компенсация остаточной намагниченности (продолжительность 3 с);
- вычисление коэрцитивной силы (продолжительность 1-2 с);
- индикация результата измерения.

В процессе магнитной подготовки область исследуемой конструкции между полюсными наконечниками магнитной системы преобразователя

периодически намагничивается до насыщения импульсами тока с амплитудой не менее 2,0 А. Затем осуществляется автоматическая компенсация поля остаточной намагниченности. По величине тока компенсации магнитного поля автоматически вычисляется значение коэрцитивной силы. После чего происходит включение цифровой индикации.

В целом, тактика оценки технического состояния судна предполагала измерение коэрцитивной силы в различных точках на поверхности горизонтальной пластины комингса трюмов, как верхней поверхности объемного бруса. Сплошной комингс грузовых трюмов является одной из важнейших несущих продольных связей и поэтому может использоваться в качестве объекта контроля прочностно-усталостных характеристик судна типа река-море.

Таким образом, наблюдения и измерения выполнялись по верхней поверхности горизонтального листа сплошного комингса люка с правого и левого бортов. Комингс исследуемого судна простирается от шпангоута №50 до шпангоута №210. Материал контрольного листа – сталь 09Г2С.

Механические и магнитные свойства листов толщиной 5-20 мм конструкционной стали 09Г2С приведены в таблице 1. Энергетическая теория разрушения [10] позволяет определить базовые параметры контроля состояния металла магнитных методом по величине коэрцитивной силы, а именно: H_c^0 – исходное значение коэрцитивной силы (в первоначальном ненапряженном состоянии значение коэрцитивной силы является наименьшим для какой-либо марки стали), H_c^T – соответствует уровню внутренних напряжений, равных пределу текучести стали, H_c^B – отвечает достижению предела прочности стали.

Таблица 1 – Механические и магнитные свойства листов толщиной 5-20 мм конструкционной стали 09Г2С

Марка стали	Механические свойства			Магнитные свойства, А/см			
	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	H_c^0	H_c^T	H_c^B	$H_c^{уст}$
09Г2С	470	325	21%	3.0	7.5	9.5	9.5

Граничное допустимое значение коэрцитивной силы для стали марки 09Г2С составляет 9,5 А/см. В процессе экспериментальных измерений показания коэрцитиметра не превышали 6÷7 А/см, поэтому уровень безопасной работы судна являлся приемлемым, т.к. это значение соответствует напряжениям при растяжении и сжатии образца на переделе текучести. В реальном металле корпуса при этом текучесть отсутствует. В сварной конструкции предельное допустимое значение коэрцитивной силы будет несколько больше до 7,5÷8 А/см, за счет армирующего действия более прочного металла сварных швов и за счет стесненности свободы пластического деформирования металла обшивки несущих элементов каркаса, как особенности конструкции корпуса.

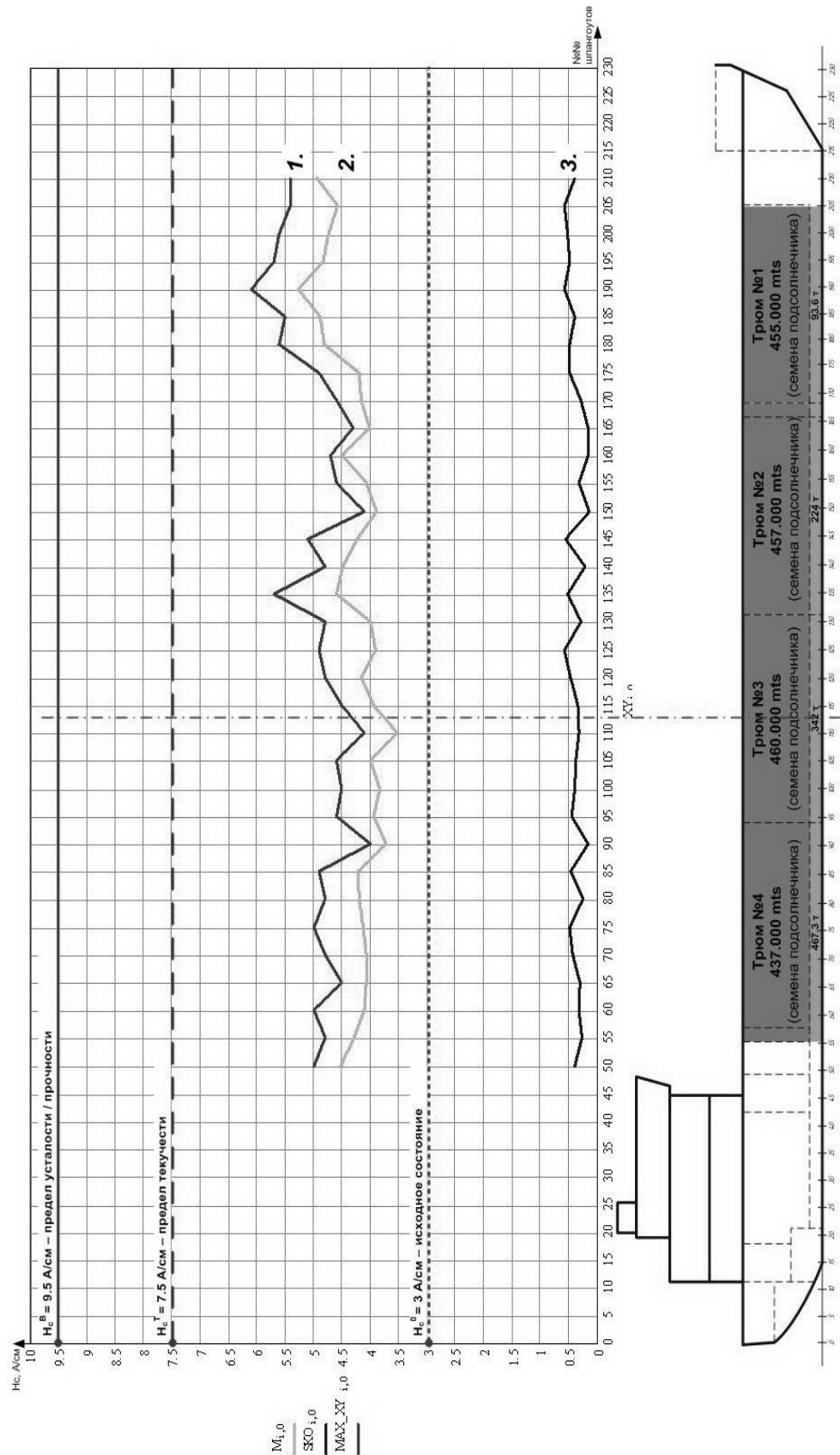


Рисунок 2 – Числовые характеристики, полученные по результатам коэрцитиметрических измерений:

- 1 – наибольшее выявленное в данной зоне значение $H_{c\max}$;
 2 – математическое ожидание; 3 – среднеквадратическое отклонение

По результатам коэрцитиметрических измерений получены следующие числовые характеристики (рис. 2): математическое ожидание (МО); наибольшее выявленное в данной зоне значение H_{c}^{max} ; среднеквадратическое отклонение (СКО) в каждом сечении шпангоута, характеризующее степень разброса состояний металла относительно его текущего усредненного состояния, характеризуемого величиной МО. С течением срока службы числовые значения МО и СКО очевидно будут возрастать. Скорость их роста по годам будет означать скорость истощения ресурса. Это численная характеристика величины накопленной усталости и скорости ее роста.

Также в ходе визуального осмотра судовых конструкций были выявлены следующие деформации и повреждения: деформация стоек фальшборта в области соединения их с главной палубой в районе 135 шпангоута правого и левого бортов; разрыв стойки фальшборта в районе 177 шпангоута левого борта; разрыв вертикальной стенки комингса люка в районе 100-110 шпангоутов правого борта; разрыв настила главной палубы в районе 110 шпангоута правого борта.

Выводы:

1. Используя метод коэрцитиметрии, выполнена экспертная оценка технического состояния корпуса судна типа «река-море».
2. Измерения не установили перенапряжений в корпусе судна, по-видимому, осуществляемый вариант погрузки может считаться наиболее благоприятным с позиции сохранности корпуса.
3. С помощью измерений коэрцитивной силы по горизонтальным поверхностям комингсов трюмов установлено, что наибольшие напряжения корпус испытывает в сечениях шпангоутов № 50; 135; 190-185; 205-210. В районе шпангоута № 50 наблюдается повышенная напряженность главной палубы в месте перехода от комингсов люка к рубке. Значительные напряжения сконцентрированы в районе 132-142 шпангоутов правого и левого бортов.
4. Для данного судна, судя по его обзорной коэрцитиметрической экспертизе, наиболее характерен линейный вариант развития и накопления поврежденности. Корпус судна не имеет выраженных слабых мест с недопустимым уровнем накопленной усталости. Неравномерность деградации металла вполне соответствует его сроку службы. Если организовывать «режим эксплуатационного управления ресурсом», который в части состояния корпуса судна предполагает слежение в ручном режиме за выявленными зонами с самыми высокими значениями величины коэрцитивной силы, например, один раз в полгода, то график динамики изменений в этих точках покажет скорость нарастания деградации металла, если она будет иметь место. По этой скорости легко определить время, когда состояние металла станет несовместимым с безопасной эксплуатацией судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение : энциклопедия в 40 т. / Редсовет : Фролов К. В., председатель и др. – М. : Машиностроение. Разд. 4: Расчет и конструирование машин, Т. 4-20. Корабли и суда, Кн. 2. Проектирование и строительство кораблей, судов и средств океанотехники / В. Т. Томашевский, В. М. Пашин, В. Л. Александров [и др.] ; Ред.-сост. В. Т. Томашевский, отв. ред. В. М. Пашин. – 2004. – 882 с.
2. Руководящий технический материал. РТМ 31.2003-77 «Корпус, помещения, устройство и системы судна. Правила технической эксплуатации». – ЦРИА «Морфлот». Министерство морского флота СССР, 1988. – 97 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов: в 2 т. / Рос. мор. регистр судоходства. – СПб. : [б. и.]. Т. 1. – 2003. – 492 с.
4. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.; Отв. ред. Г. С. Писаренко – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Наук. думка, 1988. – 736 с.
5. Сборник нормативно-методических материалов. Книга четвертая / Регистр СССР. – М. : В/О «Мортехинформреклама», 1986. – 136 с.
6. Безлюдько Г. Я. Применение коэрцитиметрии для мониторинга продольной прочности корпуса судна в условиях эксплуатации / Г. Я. Безлюдько, Е. И. Елкина, Р. Н. Соломаха, О. П. Завальнюк, В. Б. Нестеренко // В мире неразрушающего контроля. – СПб, 2011. – № 3(53). – С. 19-23.
7. Завальнюк О. П. Мониторинг прочности судна как один из путей обеспечения безопасности мореплавания / О. П. Завальнюк, В. Б. Нестеренко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Киев, 2011. – № 4. – С. 53-56.
8. Машиностроение: энциклопедия в 40 т. / Редсовет : Фролов К. В., председатель и др. – М. : Машиностроение. Разд. 3: Технология производства машин, Т. 3-7. Измерения, контроль, испытания и диагностика / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, Н. П. Валуев и др. – 2. изд., испр. и доп. – 2001. – 462 с.
9. Методика експертної оцінки і технічного діагностування суднових конструкцій коерцитиметричним методом (тимчасове видання) / В. Б. Нестеренко, Завальнюк О.П. – Херсон : ХДМА. Науково-дослідна лабораторія «Експертна оцінка і моніторинг загальної міцності суден для забезпечення безпеки мореплавства», 2012. – 36 с.
10. Машиностроение: энциклопедия в 40-ка т. / Редсовет: Фролов К. В., председатель и др. – М. : Машиностроение. Разд. 1: Инженерные методы расчетов, Т. 1-3, Кн. 1. Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин / К. С. Колесников, Д. А. Александров, В. К. Асташев и др. – 1994. – 533 с.

Нестеренко В.Б., Завальнюк О.П. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглянуто спосіб і методика оцінки технічного стану суднових конструкцій тривалої експлуатації. Проаналізовано напружено-деформований стан і ступінь втоми корпусу досліджуваного судна під час вантажних операцій, для чого був використаний метод неруйнівного контролю шляхом вимірювання коерцитивної сили. За результатами коерцитиметричних вимірювань отримані числові характеристики.

Ключові слова: технічний стан корпусу судна, напружено-деформований стан, втома, неруйнівний контроль, коерцитивна сила, діагностика.

Nesterenko V.B., Zavalniuk O.P. ASSESSMENT OF TECHNICAL STATE OF LONG-TERM USE OF SHIP CONSTRUCTION

The methods and assessment methodology the technical state of ship structures long-term operation are considered. Analyzed the stress-strain state and the degree of fatigue of the investigated ship's hull during cargo operations, which used the method of non-destructive control by measuring the coercive force. According to the results of measurements obtained coercimetric numerical characteristics.

Keywords: technical condition of the hull, the stress-strain state, fatigue, non-destructive control, coercive force, diagnostics.

ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЛКЕРА

Панкова О.В.,

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Предложены основные зависимости, которые можно использовать в оптимизационной модели проектирования балкера при определении мощности энергетической установки на начальных стадиях проектирования судна. Данные зависимости используются в уравнениях эффективности транспортного и промыслового судов как результат выполнения условия оптимальности.

Ключевые слова: оптимизационная модель, балкер, мощность энергетической установки.

Постановка проблемы. Задача определения оптимальных характеристик балкера носит нелинейный стохастический характер и имеет ряд особенностей, связанных с проектированием судов данного типа.

Для повышения эффективности исследований эксплуатации судна данного типа требуется инновационный поиск нетиповых научных направлений с учетом общих перспектив судостроения и судоходства.

В математической модели технических свойств и модели функционирования судна:

- решается система уравнений проектирования (плавучести, масс, ходкости, остойчивости, качки, прочности, вместимости);
- вычисляются главные размерения, параметры формы корпуса и прочие характеристики судна;
- осуществляется проверка их адекватности;
- вычисляются показатели эффективности выполнения судном задач функционирования;
- вычисляется экономический показатель судна.

Связь работы с научными программами, планами и темами. В статье приводятся результаты исследования, выполненного автором в рамках общего плана научных исследований Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова и госбюджетной НИР № 1819 «Разработка методики определения параметрической надежности судна на начальных этапах его проектирования».

Анализ последних исследований и публикаций. Результаты многочисленных исследований по разработке зависимостей для определения мощности энергетической установки в оптимизационной модели проектирования балкера отражены в большом количестве публикаций, которые охарактеризованы достаточно полно в работах [1-6].

Для того чтобы с большой степенью достоверности определить требуемую мощность энергетической установки, нужно знать с достаточной

точностью сопротивление голого корпуса, коэффициент влияния корпуса, коэффициент полезного действия движителя.

Все расчеты этих величин могут быть сделаны и затем уточнены после установления размерений и коэффициентов формы проектируемого судна.

В ряде случаев можно воспользоваться систематизированными результатами эксперимента – графиками сопротивления, графиками элементов и КПД движителя.

В необходимых случаях нужно ставить эксперимент – испытывать модель судна и модель движителя.

При определении же водоизмещения, размерений и коэффициентов на начальных стадиях проектирования приходится искать связи мощности с ограниченным количеством величин, и прежде всего с водоизмещением и скоростью.

Задача выражения мощности через такие общие характеристики судна, как водоизмещение и скорость, что позволяет успешно решить уравнение нагрузки, является настолько же важной, насколько и трудной.

Над этим вопросом в разное время работали многие ученые, такие как В. А. Лесюков, В. В. Давыдов, В. И. Афанасьев, Энсли, А. И. Гайкович, И. В. Челпанов, А. В. Бронников [5].

В данной статье показаны новые более точные зависимости для определения мощности энергетической установки балкера на начальных этапах его проектирования [7, 8].

Цель статьи – разработка зависимостей для определения мощности энергетической установки в оптимизационной модели проектирования балкера.

Изложение материала исследования и анализ полученных результатов. Остановимся подробнее на решении уравнения ходкости в математической модели технических свойств балкера.

При определении элементов проектируемого судна на начальных стадиях используются лишь простейшие зависимости, связывающие сопротивление воды движению судна или мощность машинной установки с элементами судна и скоростью хода.

Погрешность, связанная с применением подобных формул, может быть снижена до допустимого предела, если фигурирующие в них практические коэффициенты определяются по подходящим статистическим данным при числах Фруда, соответствующих скорости проектируемого судна.

Формула для определения мощности энергетической установки, полученная путем обработки статистических данных [9-11]:

$$Ne = \frac{2}{AC} D^3 v^3,$$

где Ne – мощность энергетической установки судна, л.с.;

D – водоизмещение судна, т;

v – эксплуатационная скорость хода, уз;

$AC = a + bFr$ – адмиралтейский коэффициент (рис. 1);

Fr – число Фруда;

a, b – квадратичные функции; $a = f(Cb)$; $b = f(Cb)$ (рис. 2);

Cb – коэффициент общей полноты судна.

Адмиралтейский коэффициент изменяется в очень широких пределах в зависимости от формы и относительной скорости судна. Данный коэффициент зависит, кроме того, от типа машинной установки и элементов гребного винта.

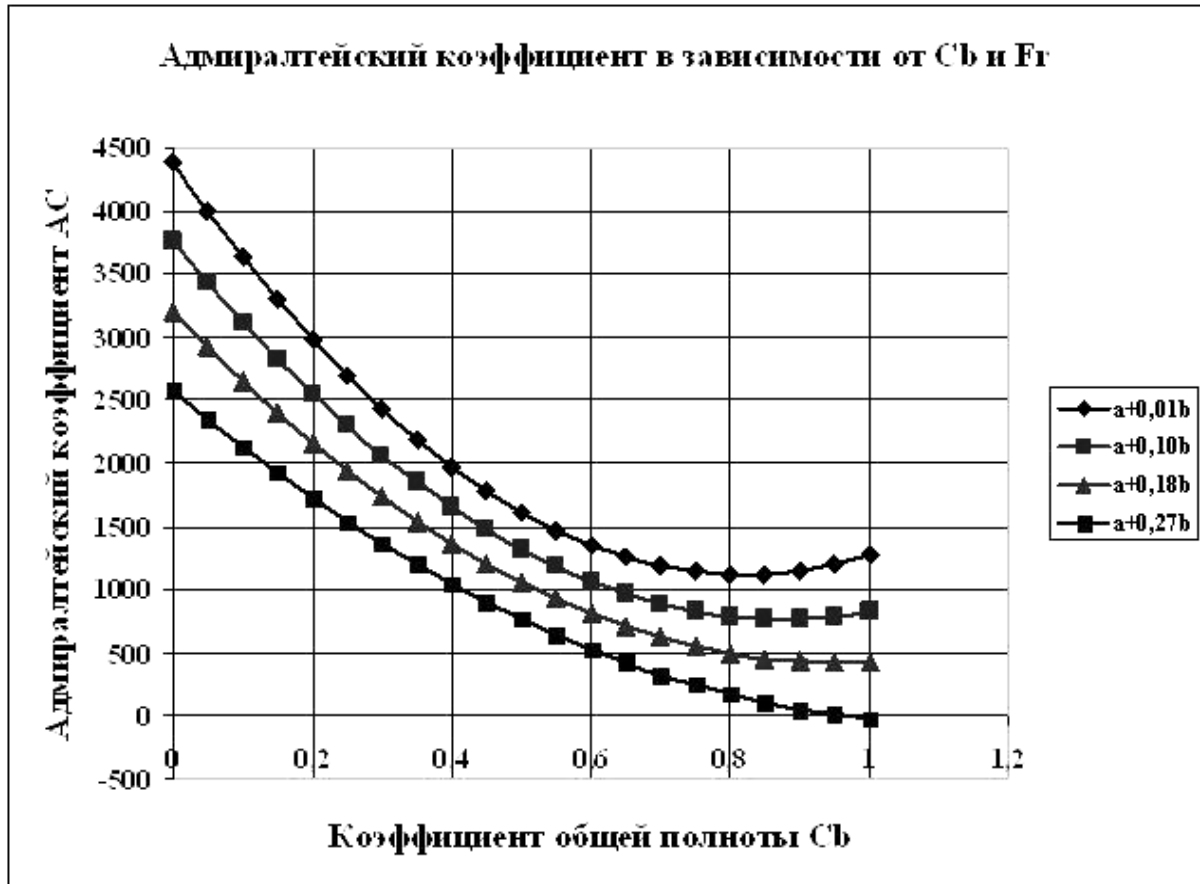


Рисунок 1 – Зависимость адмиралтейского коэффициента от коэффициента общей полноты и числа Фруда

Тогда формула будет иметь вид:

$$Ne = \frac{D^{\frac{2}{3}} v^3}{a + bFr}.$$

Водоизмещение судна (в данном случае для морской воды) находится по известной формуле:

$$D = 1,025 \cdot L \cdot B \cdot T \cdot Cb,$$

где L – длина судна, м; B – ширина судна, м; T – осадка судна, м.

Число Фруда определяем по формуле:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}},$$

где $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с^2 .

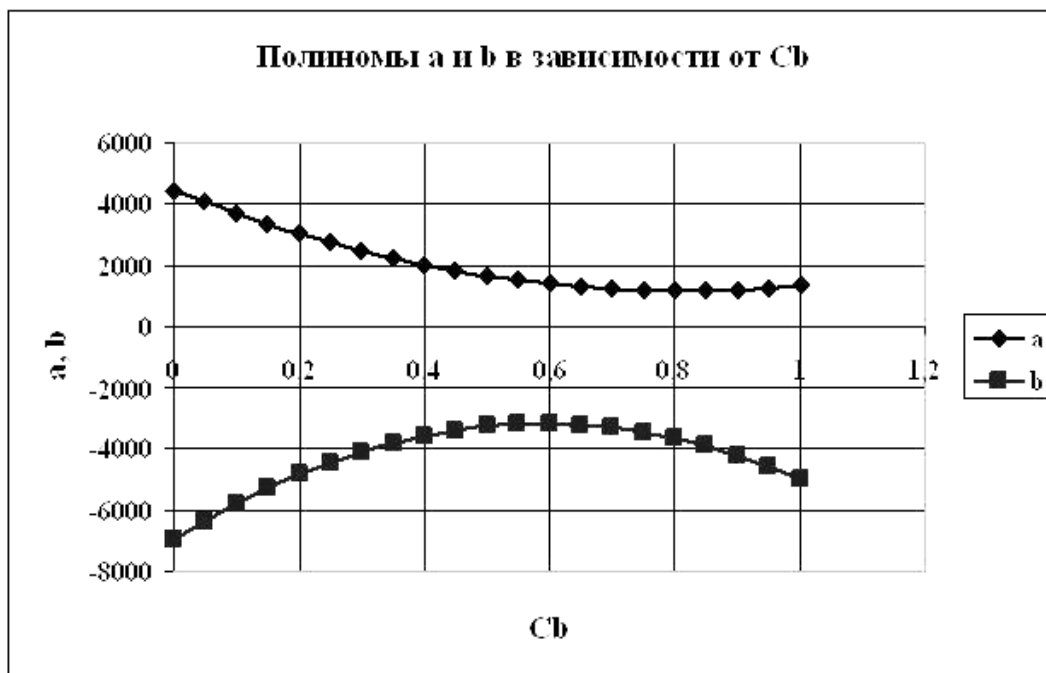


Рисунок 2 – Зависимость полиномов a, b от коэффициента общей полноты

Таблица 1 – Зависимость полиномов a, b от числа Фруда и коэффициента общей полноты

Число Фруда >>>			0,01	0,1	0,18	0,27
Cb	a	b	$a+0,01b$	$a+0,1b$	$a+0,18b$	$a+0,27b$
0,3	2472,76	-4091,47	2431,85	2063,62	1736,30	1368,07
0,35	2229,24	-3803,15	2191,21	1848,92	1544,67	1202,39
0,4	2010,6	-3569,07	1974,91	1653,69	1368,16	1046,95
0,45	1816,84	-3389,23	1782,95	1477,92	1206,78	901,75
0,5	1647,97	-3263,62	1615,33	1321,61	1060,52	766,79
0,55	1503,99	-3192,25	1472,06	1184,76	929,38	642,08
0,6	1384,89	-3175,11	1353,13	1067,37	813,37	527,61
0,65	1290,67	-3212,21	1258,55	969,45	712,47	423,37
0,7	1221,34	-3303,55	1188,31	890,99	626,70	329,38
0,75	1176,90	-3449,12	1142,41	831,99	556,06	245,64
0,8	1157,34	-3648,93	1120,85	792,45	500,53	172,13
0,85	1162,67	-3902,97	1123,64	772,37	460,13	108,86
0,9	1192,88	-4211,25	1150,77	771,75	434,85	55,84
0,95	1247,98	-4573,77	1202,24	790,60	424,70	13,06
1	1327,96	-4990,52	1278,06	828,91	429,67	-19,48

Формулы для определения полиномов a, b :

$$a = 4977,06Cb^2 - 8105,61Cb + 4456,51;$$

$$b = -10847,2Cb^2 + 12817Cb - 6960,32.$$

Выводы. В статье представлены зависимости, которые можно использовать в оптимизационной модели проектирования балкера при определении мощности энергетической установки на начальных стадиях проектирования. Данные результаты также входят в уравнения эффективности транспортного и промыслового судов как результат выполнения условия оптимальности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войлошников М. В. Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность [Текст] / М. В. Войлошников. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2002. – 586 с.
2. Азарова Н. М. Выбор функции цели при проектировании судов в условиях рыночной экономики [Текст] / Н. М. Азарова, А. И. Раков // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – № 1 (349). – С. 58-60.
3. Аксютин Л. Р. Груз и судно [Текст] / Л. Р. Аксютин // Человек, море, техника. – Л. : Судостроение, 1988. – Вып. 5. – С. 274-287.
4. Бейлин М. К. Экономический анализ при проектировании судов внутреннего плавания [Текст] / М. К. Бейлин, А. М. Дмитриев. – Л. : Судостроение, 1979. – 480 с.
5. Бронников А. В. Морские транспортные суда. Основы проектирования [Текст] / А. В. Бронников. – Л. : Судостроение, 1984. – 352 с.
6. Астахов В. Е. Техничко-экономические обоснования проектирования промысловых судов [Текст] / В. Е. Астахов, В. С. Горобец. – Л. : Судостроение, 1982. – 247 с.
7. Панкова О. В. К определению мощности энергетической установки на начальных стадиях проектирования судна [Текст] / О. В. Панкова // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2007. – № 3 (414). – С. 32-38.
8. Панкова О. В. Определение вместимости судна на начальных стадиях проектирования [Текст] / О. В. Панкова // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2007. – № 5 (416). – С. 11-16.
9. Некрасов В. А. Особенности эксплуатации судов в режиме последовательных рейсов [Текст] / В. А. Некрасов, О. В. Панкова // Науковий вісник ХДМІ : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2010. – № 1 (2). – С. 50-55.
10. Басин А. М. Ходкость и управляемость судов [Текст] / А. М. Басин. – М. : Транспорт, 1977. – 456 с.
11. Фукельман В. Л. Теория корабля с основами гидромеханики / В. Л. Фукельман. – Л. : Судостроение, 1964. – 350 с.

Панкова О.В. ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ В ОПТИМІЗАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ ПРОЕКТУВАННЯ БАЛКЕРА

Запропоновані основні залежності, які можна використовувати в оптимізаційній моделі проектування балкера при визначенні потужності енергетичної установки на початкових стадіях проектування судна. Дані залежності використовуються в рівняннях ефективності транспортного і промислового суден як результат виконання умови оптимальності.

Ключові слова: оптимізаційна модель, балкер, потужність енергетичної установки.

Панкова О.В. ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЛКЕРА

Basic dependences which can be used in the optimization model of bulk carrier designing at power plant power determination on the initial stages of ship designing are offered. These dependences are used in equalizations of efficiency of transport and commercial ships as a result of implementation of condition of optimality.

Keywords: оптимізаційна модель, балкер, потужність енергетичної установки.

МІЖНАРОДНИЙ РЕЄСТР СУДЕН – ДЕТЕРМІНАНТ КОНКУРЕНТНИХ ПЕРЕВАГ У МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

Покотілов І.П.,

Херсонський економічно-правовий інститут

Проаналізовано вплив прапору реєстрації суден на розвиток морської галузі. Із застосуванням дисперсійного аналізу показано, що прийняття міжнародного морського реєстру суден Норвегії – NIS здобуло конкурентну перевагу морській галузі Норвегії, що дозволило підвищити конкурентоспроможність економіки Норвегії.

Ключові слова: морська галузь, детермінант, конкурентні переваги, конкурентоспроможність, однофакторний дисперсійний аналіз.

Постановка проблеми у загальному виді. Реєстрація суден під прапор країни підпорядковує судновласника виконання всіх законів цієї держави і насамперед оподаткуванню, але враховуючи великі експлуатаційні витрати, вимагає від судновласників пошуків вибору прапору реєстрації з пільговим оподаткуванням. Норвегія одна з провідних морських країн світу, вивчення її досвіду соціально-економічного розвитку вимагає визначення конкурентних детермінант на глобальному світовому ринку з урахуванням геополітичних особливостей країни. В якості рушійної сили економіки Норвегії розглянемо морську галузь і фактори, що визначили цей розвиток. Для визначення впливу детермінант необхідно використати статистичні методи аналізу, зокрема дисперсійний аналіз ONE WAY ANOVA [1].

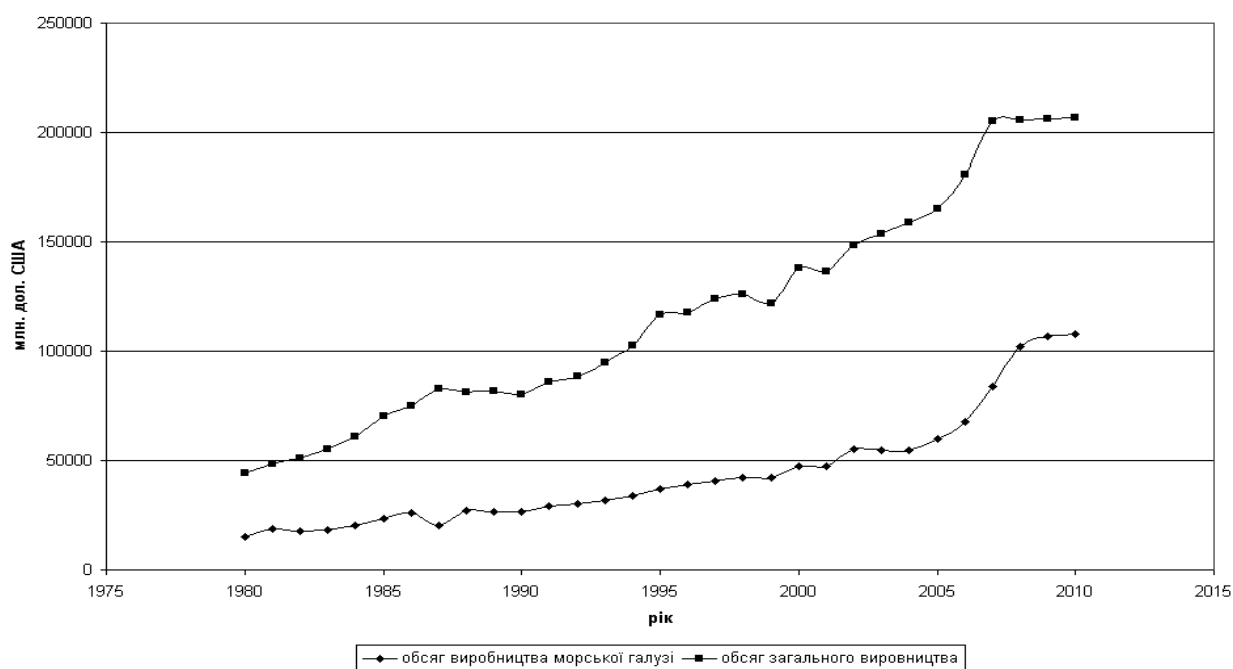


Рисунок 1 – Динаміка розвитку обсягу загального виробництва та обсягу виробництва морської галузі Норвегії

Аналіз досліджень і публікацій. Розвиток міжнародної торгівлі визначив підвищення ролі морської галузі в економіці держав. Аналіз стану морської галузі Норвегії показав (рис. 1), що в країні приділяється важливе значення формуванню та розвитку національної морської індустрії, яка завдяки мультиплікативному ефекту є локомотивом економічного розвитку.

Формування цілей статті: ціллю статті є аналіз впливу прапора реєстрації суден на експлуатаційні витрати судновласників та морську галузь країни.

Основна частина дослідження. Морському транспорту властивий просторовий динамізм, тобто рухливість транспортних засобів у Світовому океані, коли здійснюючи перевезення між країнами, морський флот бере на себе на цей час функції транспортної інфраструктури цих країн. Саме з просторовим динамізмом зв'язано таке явище, як реєстрація флоту під прапором країн «відкритих реєстрів» та країн «зручного прапора». 53% світового бруutto-реєстрового тоннажу зосереджено під прапорами 10 країн відкритих світових реєстрів (табл. 1) [2]. Реєстрація суден під «зручним прапором» значно знижує витрати судновласників, завдяки звільненню від податків на прибуток (Рис. 2), при реєстрації судна сплачується первинний внесок за право плавання під прапором цієї держави, щорічний тоннажний збір та деякі додаткові послуги [3].

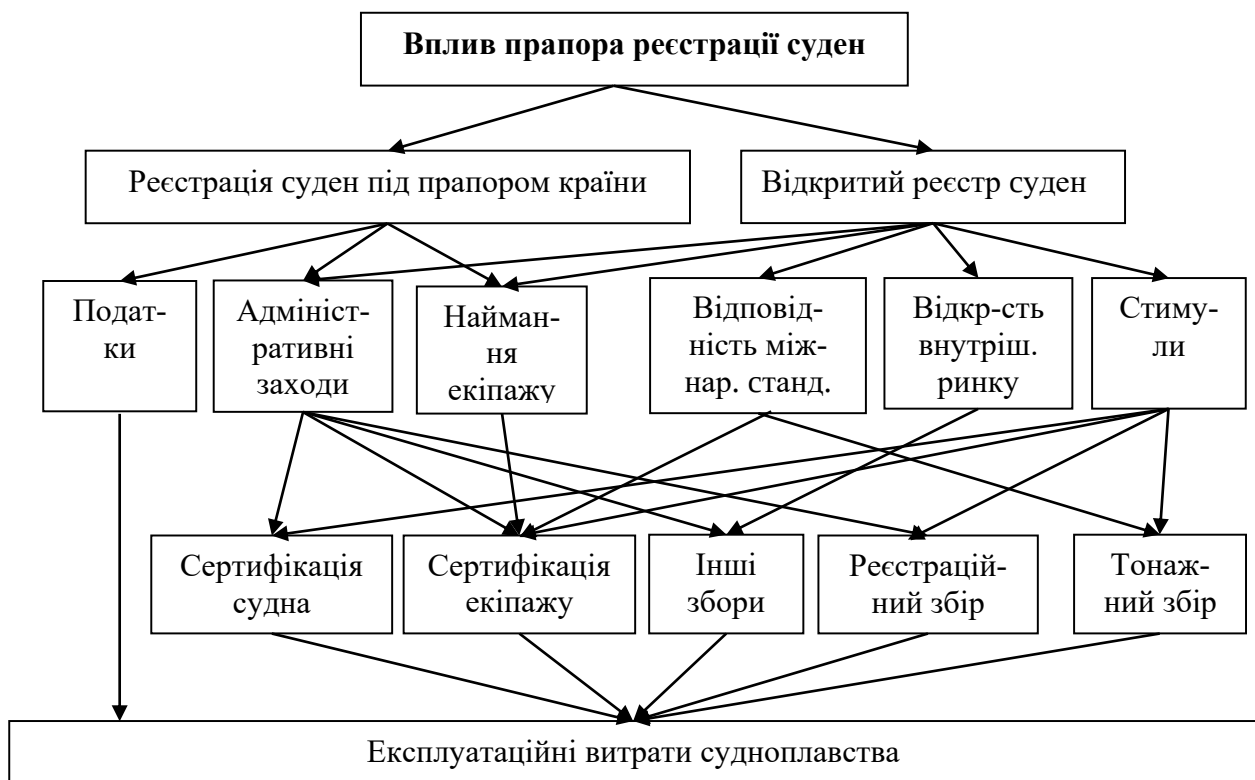


Рисунок 2 – Блок-схема впливу прапора реєстрації суден на експлуатаційні витрати судноплавства

Вікова структура флоту істотно розрізняється також між різними прапорами реєстрації. Деякі з основних відкритих реєстрів мають порівняно

молодий флот, зокрема Антигуа і Барбуда (середній вік суден з розрахунку на тонну дедвейту 8,4 року), Багамські Острови (12,4 року), Бермудські Острови (13,6 року), Кайманові Острови (10,6 року), Ліберія (11,0 року), Маршаллові Острови (9,6 року), Панама (11,0 року) і Філіппіни (12,6 року). Інші відкриті реєстри мають набагато більш старий флот, зокрема Домініка (середній вік суден з розрахунку на тонну дедвейту 21,2 року), Камбоджа (27,9 року), Монголія (29,8 року), Сент-Вінсент і Гренадіни (26,4 року), Сент-Кітс і Невіс (29,3 року) і Тувалу (24,5 року) [2].

Таблиця 1 – Десять основних відкритих світових реєстрів (тис. бруто- рег. т)

Країна	Загальний флот	Нафто-наливні танкери	Балкери	Судна для генеральних вантажів	Контейнеро вози	Інші судна
Антигуа і Барбуда	9537	16	826	3195	5413	87
Багамські Острови	46543	16983	7388	7157	1739	13276
Бермудські Острови	9592	1312	1776	101	770	5634
Кіпр	20109	4944	8437	1569	3954	1206
Острів Мен	8965	5137	1590	361	160	1716
Ліберія	82389	32010	15817	3973	25641	4948
Мальта	31633	10862	13355	3639	1878	1899
Маршаллові Острови	42637	19978	11466	1556	4484	5153
Панама	183503	36945	77912	24176	30763	13708
Сент-Вінсент і Гренадіни	5203	210	1822	2499	150	522
Всього по десяти реєстрах	440113	128396	140389	48227	74953	48149
Інші судна, прапор реєстрації яких невідомий	3932	612	497	1312	43	1467
Усі країни світу	830660	233656	232665	108403	139542	116393

Зіставлення між віковою структурою флоту реєстру і вірогідністю того, що судна, під відповідним прапором реєстрації, стають об'єктом контролю з боку іншої держави порту та свідчать про існування тісного кореляційного зв'язку.

Наприклад, три з останніх вище перелічених прапорів реєстрації з найбільш старим флотом входять в «чорні списки» Паризького і Токійського меморандумів про домовленість відносно контролю з боку держави порту, тоді як три прапори реєстрації з найбільш молодим флотом входять в «білі списки», тобто менша вірогідність того, що судна під цими прапорами,

будуть затримані під час проведення контрольних інспекцій державою порту.

Сьогодні судна під українським прапором перевозять не більш 5-6% всіх вантажів, які перевантажуються портами країни. До речі треба підкреслити, що наявність торгового флоту в країні є свідомством про зрілість її економічної політики. За роки незалежності Україна практично втратила статус морської держави, що підтверджується загальним скороченням і критичним станом торгового флоту, який ще залишився (рис. 3).

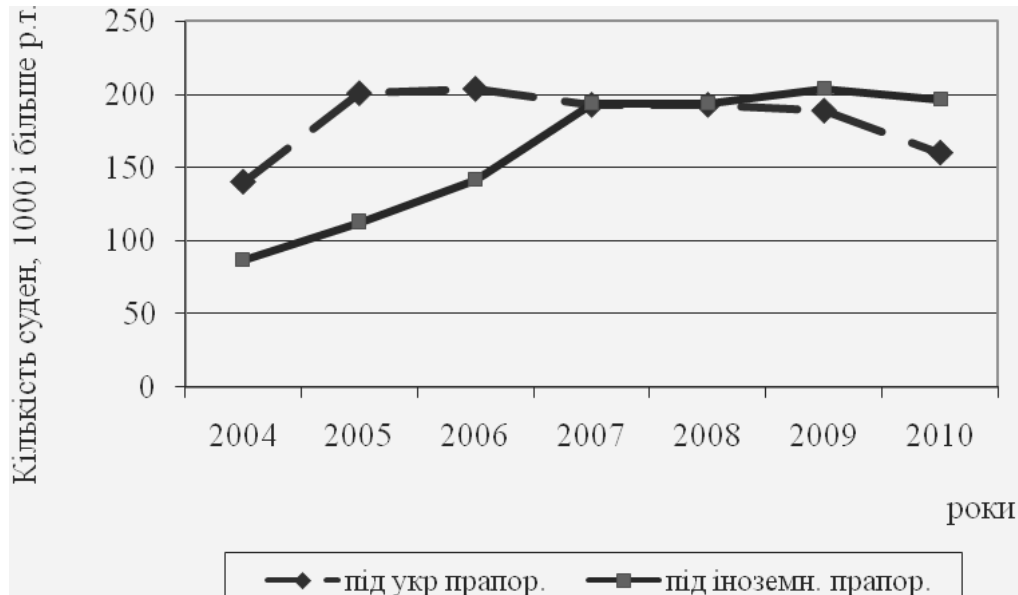


Рисунок 3 – Динаміка торгового флоту України

Розглядаючи кількість суден зареєстрованих у країнах зручного прапора (табл. 1) можна із впевненістю сказати, що він продовжує зростати, і якщо країни не надають стимули розвитку, то вихід суден з прапора країн неминучий. Валютні надходження країн зручного прапора оцінюються по кількості зареєстрованого тоннажу і величини ставки збору склали у 1975 році 27 млн. дол., а в 1985 році подвоїлися [4].

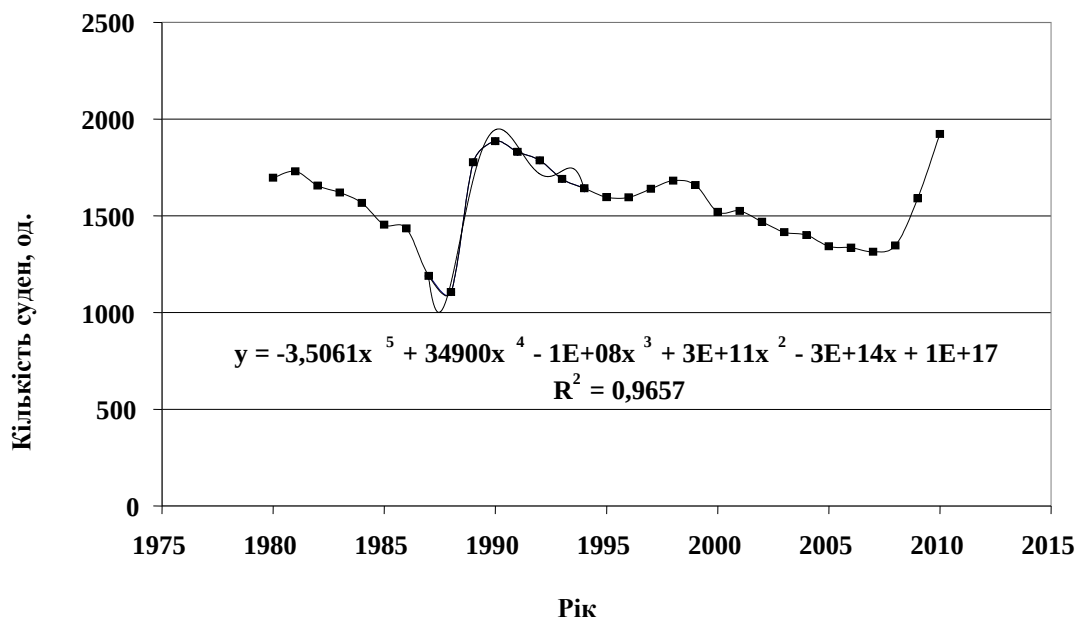
Уперше міжнародний реєстр був заснований у Норвегії, флот якої в 1980-х рр. суттєво скоротився. Динаміка розвитку морського транспорту Норвегії наведено на рис. 4 [2, 3]. У 1987 р. в порту Берген був заснований другий Норвезький міжнародний реєстр суден (NIS), який дозволив, у тому числі, наймати на судна, які значилися у цьому реєстрі, крім громадян країни, іноземних моряків (але як мінімум капітан повинен був бути громадянином Норвегії).

В той же час уряд Норвегії здійснює жорсткий контроль за дотриманням правил безпеки мореплавства [2]. Описові статистики показників розвитку морської галузі економіці Норвегії наведено в табл. 2.

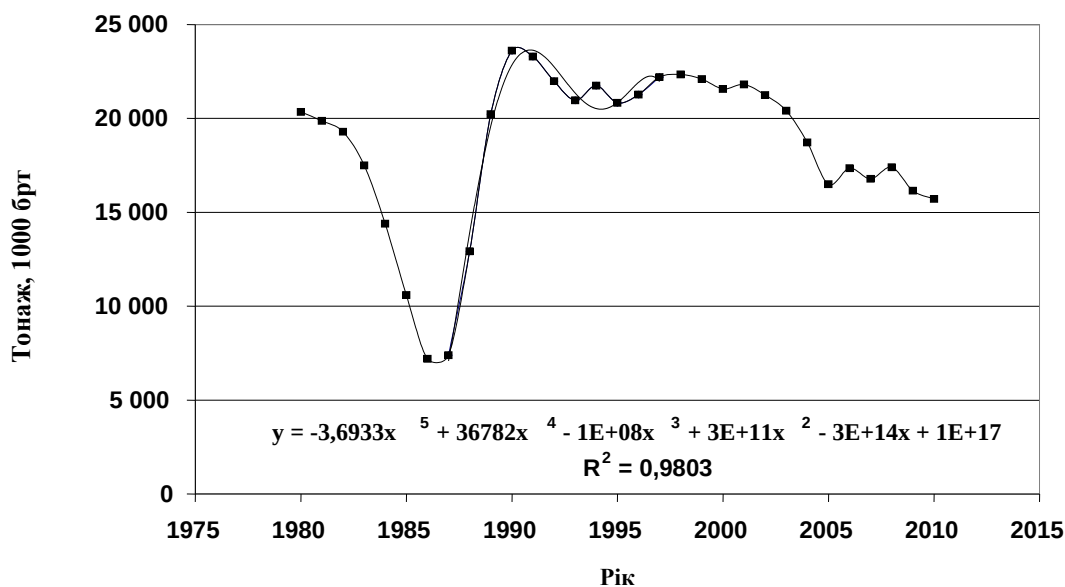
Застосуємо дисперсійний аналіз для розгляду математичної моделі, яка базується на одній з конкуруючих переваг – упровадження NIS [1, 5]. При розгляді моделі використовувалися статистичні данні розвитку Норвегії з 1980 по 2010 рр. [6].

У моделі присутні два рівні: 1-й рівень – без упровадження NIS, 2-й рівень – з упровадженням NIS.

Розглянемо описові статистики приведених показників. Очевидно, зменшення кількості суден під прапором Норвегії було уникнуто. Був поштовх розвитку суднобудуванню – збільшено тоннаж новобудов та створено передумови іноземному інвестуванню та побудови морського кластера. Виникають припущення, що зміни показників пов'язані з фактом прийняття NIS.



а) кількість суден;



б) кількість тоннажу;

Рисунок 4 – Динаміка розвитку морського транспорту Норвегії

За наслідками спостережень необхідно перевірити справедливність статистичних гіпотез H_0 про те, що обидва рівні T_i однаково ефективні для значень всіх показників.

Так як ухвалення NIS – дворівневий чинник, то $m = 2$. Позначимо x_{ij} – значення показників в j -му році на i -му рівні, n_i – число років, протягом яких проводилися спостереження за зміною показників.

Таблиця 2 – Описові статистики показників

Показ- ник	Рівень	Пері- од	Серед. знач.	Станд. відхи- лення	Станд. помилка	95% довірчий інтервал для середнього		Мін.	Макс.
						нижня межа	верхня межа		
Загаль- на кіль- кість суден торг. флоту	1	7	1594,1	114,9	43,4	1487,8	1700,4	1435	1730
	2	24	1552,6	215,9	44,0	1461,4	1643,8	1106	1923
	Загал	31	1562,0	196,7	35,3	1489,8	1634,1	1106	1923
Тон- наж торг. флоту	1	7	15599,0	5293,4	2000,7	10703,3	20494,6	7197	20875
	2	24	19354,2	3769,6	769,4	17762,4	20946,0	7388	23607
	Загал	31	18506,3	4364,2	783,8	16905,4	20107,1	7197	23607
Обсяг вироб- ництва морсь- кої галузі	1	7	19974,5	3813,6	1441,4	16447,5	23501,6	14912	26170
	2	24	50543,1	25864,8	5279,6	39621,3	61464,8	20130	107710
	Загал	31	43640,5	26164,9	4699,3	34043,1	53237,9	14912	107710
ВВП, млрд. NOK	1	7	409624,7	80234,8	30325,9	335419,8	483829	314698	514578
	2	24	1345572,4	629437,4	128483,3	1079784	1611360	556924	2486934
	Загал	31	1134229,4	680646,1	122247,6	884566,3	1383892	314698	2486934

Розглянемо математичну модель, в якій передбачається, що кожна випадкова величина x_{ij} може бути представлена у вигляді:

$$x_{ij} = a_i + \varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

де a_i – значення показника на рівні T_i ,

ε_{ij} – незалежні випадкові величини, які описують сумарний внесок всіх

випадкових чинників, що впливають на підсумкове значення показника.

Найчастіше вважають, що всі $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ тобто мають нормальний розподіл з нульовим математичним очікуванням з однаковою дисперсією. Аналіз результатів буде заснований на зіставленні двох оцінок невідомої дисперсії (σ^2) кожного з показників, які є складовими моделі. Одна з цих оцінок не залежить від того, чи вірна гіпотеза H_0 . Для іншої оцінки це припущення істотне, тобто ця оцінка буде близька до значення σ^2 тільки тоді, коли гіпотеза H_0 вірна.

Якщо обидві оцінки близькі, то гіпотезу H_0 слід прийняти. Якщо ж оцінки істотно відрізняються, то гіпотезу H_0 слід відкинути.

Представимо в табл. 3 дисперсійний аналіз. Задамо надійність наших припущень 95%. Тоді заданий p -рівень дорівнює $1 - 0,95 = 0,05$. Як видно з табл. 3 перший розрахований p -рівень більше заданого, тому першу гіпотезу H_0 приймаємо. Решту трьох гіпотез відкидаємо (2-4 розраховані p -рівні менше заданого).

Таблиця 3 – Дисперсійний аналіз One-Way ANOVA

Показник	Розрахунок	Сума квадратів	Ступені волі	Усереднена сума квадратів	F_p	p -рівень
Загальна кількість суден торг. флоту	Між групами	9341,518	1	9341,518	,235	,631
	Усередині груп	1152090,482	29	39727,258		
	Загал.	1161432,000	30			
Тоннаж торг. флоту	Між групами	76422225,412	1	76422225,412	4,478	,043
	Усередині груп	494966132,512	29	17067797,673		
	Загал.	571388357,924	30			
Обсяг виробництва морської галузі	Між групами	5064041546,251	1	5064041546,251	9,491	,004
	Усередині груп	15474046966,379	29	533587826,427		
	Загал.	20538088512,631	30			
ВВП, млрд. НОК	Між групами	4747344754721,460	1	4747344754721,460	15,045	,001
	Усередині груп	9151030457239,030	29	315552774387,553		
	Загал.	13898375211960,490	30			

Можна стверджувати, що створення міжнародного відкритого реєстру суден країни суттєво впливає на соціально-економічні показники економіки країни.

В даний час другі реєстри існують в Голландії, Данії, Великій Британії, Італії, Франції, Німеччині, Португалії, Росії, Туреччині та інших країнах. Створення міжнародних відкритих реєстрів також сприяло концентрації 97% флоту країни під національним прапором у Данії, 84% – у Туреччині, 70% – в Італії, 81% – у Франції, 83% – у Португалії. У сучасності усі країни ЄС (навіть ті, що не мають виходу до моря), крім Угорщини мають національний флот.

Як видно з проведеного аналізу, створення морського міжнародного реєстру суден є потужним фактором [6], що може створити сприятливе середовище для залучення до флоту під прапором України нових суден і за рахунок цього одержати нові можливості для більш ефективного проектування морських транспортних перевезень і більш гнучкого реагування на виклики ринку при збереженні власних кадрів.

Міжнародні відкриті реєстри суден в більшості країн надають судновласникам різні види податкових пільг на побудову суден, у вигляді альтернативних схем оподаткування або прирівнюючи ставку податку на прибуток до нуля, також кредитні пільги та відповідні гарантії [3, 7].

Висновки та пропозиції. В статті представлено модель, яка визначає міжнародний реєстр суден як провідну детермінанту конкурентних переваг на прикладі Норвегії в умовах що склалися всередині країни. Рекомендуємо прийняти міжнародний (відкритий) реєстр суден в Україні, як основний рушій морської галузі та розвитку економіки. У визначенні детермінантів конкурентних переваг можливо застосовувати факторний аналіз. В наступному рекомендуємо застосувати приклад розвитку морської галузі Норвегії для створення сприятливого інвестиційного клімату в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плис А. И., Сливина Н. А. Mathcad: математический практикум для экономистов и инженеров. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 655 с.
2. Review of maritime transport, 2010 Report by the UNCTAD secretariat // United Nations New York and Geneva, 2010. – 212 p.
3. Покотілов І. П. Принципові підходи до підвищення конкурентоспроможності суднобудівної галузі України / І. П. Покотілов // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – Луганськ : Поліпринт, 2010. – № 3 (35). – С. 125-130.
4. Покотілов І. П. Проект створення світового морського реєстру України як напрям підвищення конкурентоспроможності українського суднобудування / І. П. Покотілов // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – Луганськ : Поліпринт, 2009. – № 1 (29). – С. 121-125.
5. Портер М. Конкурентная Стратегия. Методика анализа отраслей конкурентов. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 452 с.

6. Statistical Yearbook of Norway 1980-2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ssb.no/en/yearbook/aarbok.html>.

7. Разу М. Л. Управление проектом. Основы проектного управления / Под. ред. М. Л. Разу. – М. : КНОРУС, 2006. – 768 с.

РЕЕСТР СУДОВ - ДЕТЕРМИНАНТ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ В МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

Проанализировано влияние флага регистрации судов на развитие морской отрасли. С применением дисперсионного анализа показано, что принятие международного морского реестра судов Норвегии – NIS получило конкурентное преимущество морской отрасли Норвегии, что позволило повысить конкурентоспособность экономики Норвегии.

Ключевые слова: морская отрасль, детерминант, конкурентные преимущества, конкурентоспособность, одинфакторный дисперсионный анализ.

Pokotilov I.F.

Influence of flag of registration of ships is analysed on development of marine industry. It is shown with the use of analysis of variance, that acceptance of international marine register of ships of Norway – NIS scored a competition advantage of marine industry of Norway, that allowed to the competitiveness of economy of Norway.

Keywords: marine industry, determinant, competitive edges, competitiveness, одинфакторный analysis of variance.

ВЫБОР ПЕРЕЧНЯ ТРЮМОВ СУДНА ДЛЯ ПРИЕМА НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ

Пятаков Э.Н.

Херсонская государственная морская академия

В работе рассмотрен способ выбора набора трюмов балкера для приема навалочных грузов в ситуациях нестандартных загрузок, которые не предусмотрены в судовых грузовых документах. Предложенный способ позволяет выявить набор трюмов, содержащих их минимальное число, в которое можно разместить планируемый к приему груз. Получены необходимые аналитические зависимости.

Ключевые слова: мореходная безопасность, грузовые операции балкеров, навалочные грузы, минимальный набор трюмов.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. В настоящее время транспортировка навалочных грузов балкерами составляет значительную часть морских перевозок. Грузовые операции балкеров из-за их значительной длины имеют ряд особенностей, одной из которых является одновременное проведение грузовых и балластных операций. В судовой грузовой документации имеется инструкция по стандартным загрузкам, в которой для каждого из стандартных вариантов грузовых операций указывается последовательность этапов загрузки судна.

В случае, когда загрузки навалочных судов являются нестандартными, возникают значительные трудности с планированием грузовых операций. Начальной операцией перед поиском стратегии проведения грузовых операций является выбор перечня трюмов, в которые планируется размещение груза, что и является темой настоящей публикации.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Проблеме обеспечения надлежащего уровня мореходной безопасности судов посвящены работы [1-6], причем в работах [1, 2] изложены фундаментальные принципы обеспечения мореходной безопасности судов, работы [3, 4] содержат вопросы проведения безопасных грузовых операций навалочных судов. В работе [5] рассмотрены общие принципы оптимизации грузовых операций навалочных судов, а в работе [6] изложены основные вопросы их эксплуатации.

Однако в существующих литературных источниках, посвященных обеспечению мореходной безопасности навалочных судов, как и в судовой грузовой документации, отсутствуют рекомендации по выбору стратегии проведения грузовых операций для нестандартных вариантов, даже в части определения перечня трюмов судна для приема груза.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью статьи является повышение мореходной безопасности навалочных судов путем разработки способа выбора такого перечня трюмов балкера при приеме груза с малым значением удельного погрузочного объема, который минимизирует их суммарный неиспользованный объем с целью снижения риска смещения груза при перевозке.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Начальными известными данными являются набор всех трюмов судна $H_o = (V_i, W_{\max i})$ с учетом объема V_i и максимального допустимого количества груза $W_{\max i}$, заданное к приему количество груза G_c и удельный погрузочный объем груза $\square$. Задача заключается в формировании подмножества $Mn_{n\max}$ минимальных по числу наборов трюмов, которые могут вместить исходное количество груза G_c и используются для формирования допустимых стратегий загрузки судна. Для этого рассчитывается максимальное по грузовместимости количество груза каждого из трюмов судна $W_{\text{exi}} = V_i/\gamma$ и сравнивается с максимально-допустимым значением $W_{\max i}$ по местной прочности.

Меньший из них принимается максимальным количеством груза W_{ri} , который можно погрузить в i -й трюм судна, т. е. $W_{ri} = \min(W_{\text{exi}}, W_{\max i})$. После этого необходимо упорядочить значения W_{ri} по убыванию веса. В итоге формируется упорядоченный по весу груза набор трюмов $\{W_{pi}\}$, из которого выделяются минимальное число $n_{\min}$ членов W_{pi} , суммарный вес которых равен или больше веса принимаемого груза G_c , т.е. $\sum_{i=1}^{n_{\min}} W_{pi} \square G_c$. Трюма судна, соответствующие весам W_{pi} , образуют основной упорядоченный набор $\{W_{pi}\}_{n\max}$. Дополнение этого набора до $\{W_{pi}\}$ обозначим $\{\overline{W}_{pi}\}_{n\max}$.

Очевидно, помимо набора $\{W_{pi}\}_{n\max}$ существуют и другие наборы трюмов числом $n_{\min}$, позволяющие вместить груз G_c , которые образуют множество $Mn_{n\max}$, причем основной упорядоченный набор $\{W_{pi}\}_{n\max}$ является центральным элементом этого множества.

Новые элементы подмножества можно получить, замещая в основном наборе $\{W_{pi}\}_{n\max}$ один из трюмов другим трюмом, взятым из дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n\max}$. Общий вес груза набора $\{W_{pi}\}_{n\max}$ обозначим G_w . Основным условием принадлежности произвольного набора размерностью $n_{\min}$ подмножеству $Mn_{n\max}$ является превосходство суммарного веса набора G_{wi} над весом заданного груза G_c , т. е. $G_{wi} \square G_c$. Если в основном наборе $\{W_{pi}\}_{n\max}$ замещается только один трюм из дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n\max}$, то такое замещение

будем называть однократным. Очевидно, в общем случае возможны замещения вышней кратности, когда производится замещение одновременно нескольких трюмов основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ из дополнения $\{\bar{W}_{pi}\}_{n_{max}}$.

Рассмотрим вначале однократное замещение, и найдем условие допустимости замещения i -го трюма основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ j -м трюмом дополнения $\{\bar{W}_{pi}\}_{n_{max}}$. Так как последовательность членов основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ является неубывающей и содержит n_{min} наибольших членов, то вес груза G_w является наибольшим из весов G_{wi} всех возможных наборов подмножества $M_{n_{max}}$.

Допустим, производим однократное замещение последнего трюма набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$, вес груза которого W_{pnmn} , произвольным трюмом из дополнения с весом W_{pj} . Вес исходного набора можно записать следующим соотношением:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pnmn} = G_w; \quad G_w - G_c = \Delta G_w \geq 0,$$

поэтому справедливо соотношение:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pnmn} = G_c + \Delta G_w. \quad (1)$$

В свою очередь, после замещения вес груза G_{wi} нового набора трюмов $\{W_{pi}\}_{n_{max}[n_{mn},j]}$ определяется выражением:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pj} = G_c + \Delta G_{wi}, \quad (2)$$

где $\Delta G_{wi} = G_{wi} - G_c$, причем ΔG_{wi} может быть как положительным, так и отрицательным.

Вычтем из уравнения (2) уравнение (1):

$$W_{pj} - W_{pnmn} = \Delta G_{wi} - \Delta G_w,$$

или $\Delta G_{wi} = \Delta G_w - (W_{pnmn} - W_{pj})$. Замещение является допустимым, если $\Delta G_{wi} \geq 0$, т.е., как следует из последнего уравнения, $\Delta G_w - (W_{pnmn} - W_{pj}) \geq 0$.

Если обозначить через $\Delta W_{nmn,j}$ разность в весе груза между замещаемыми трюмами, т.е. $\Delta W_{nmn,j} = W_{pnmn} - W_{pj}$, то условие допустимости замещения принимает следующий вид:

$$\Delta G_w \geq \Delta W_{nmn,j}.$$

Если производить замещение произвольного i -го трюма основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{\max}}$ j -м трюмом дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{\max}}$, то условие допустимости замещения принимает вид:

$$\Delta G_w \leq \Delta W_{i,j},$$

где $\Delta W_{i,j} = W_{pi} - W_{pj}$.

Таким образом, при однократном замещении трюмов операция замещения допустима, если разность ΔG_w веса груза основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{n_{\max}}$ и заданного груза к погрузке не меньше разности весов $\Delta W_{i,j}$ грузов трюма, который замещают и трюма, которым замещают.

Для формирования элементов подмножества $Mn_{n_{\max}}$ базовых наборов трюмов с помощью операции замещения существенно знать, каким количеством убывающих по величине элементов дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{\max}}$ (последовательностью) может быть замещен i -й элемент основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{\max}}$. Если производить замещение элементов в очередности их расположения в дополнении $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{\max}}$ (по убыванию весов груза трюмов), начиная с W_{pnmn+1} , то последовательность $W_{pnmn+1}, \dots, W_{pnmn+k}$ ($k > 1$) элементов, удовлетворяющих условию допустимости замещения i -го элемента можно найти следующим образом.

Элемент W_{pnmn+k} в данной последовательности должен последним из $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{\max}}$ удовлетворять условию допустимости замещения, а следующий за ним $W_{pnmn+k+1}$, первым из оставшихся в последовательности дополнения, не соответствует этому условию. Поэтому конечный элемент допустимой последовательности замещения W_{pnmn+k} находится, как предыдущий к элементу $W_{pnmn+k+1}$, для которого первым из последовательности справедливо неравенство $W_{pi} - W_{pnmn+k+1} < \Delta G_w$.

Подмножество $Mn_{n_{\max}}(1)$ множества $Mn_{n_{\max}}$, которое полученное однократным замещением, содержит, в свою очередь, подмножества $Mn_{n_{\max}}(1)_i$, каждое из которых является результатом замещения i -го элемента основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{\max}}$ элементами дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{\max}}$, т. е.:

$$Mn_{n_{\max}}(1) = \{Mn_{n_{\max}}(1)_1, \dots, Mn_{n_{\max}}(1)_i, \dots, Mn_{n_{\max}}(1)_{n_{\max}}\}.$$

Обращаем внимание, что наборы трюмов минимальной размерности, составляющие множество $Mn_{n_{\max}}$, являются наиболее предпочтительными, так как обеспечивают размещение груза в минимально возможном количестве трюмов. Это обстоятельство ведет к тому, что трюма

оказываются максимально наполненными и снижается риск смещения груза при перевозке. Из этих соображений необходимо выбирать базовый набор трюмов $\min H_{bnmaxi}$, для которого разность $\Delta G_{wi} = G_{wi} - G_c$ минимальна. Затем в каждом подмножестве $M_{nmax}(1)_i$ следует выбрать такие наборы $\min H_{bnmaxi}$, наименьший из которых $\min H_{bnmaxi}(1)$ принимается наиболее предпочтительным в подмножестве $M_{nmax}(1)_i$ для построения стратегии загрузки судна.

Формирование базовых наборов трюмов H_{bnmaxi} может быть расширено помимо однократного замещения трюмов замещениями более высокого порядка. Максимальную кратность замещения можно определить следующим образом.

Из формальных соображений при многократных замещениях трюмов основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{nmax}$ трюмами из дополнения $\{\bar{W}_{pi}\}_{nmax}$ кратность замещения b (количество одновременно замещаемых трюмов) не может превосходить меньшего из значений n_{min} и $N_h - n_{min}$, т.е. $b = \min(n_{min}, N_h - n_{min})$. С учетом соотношения весов грузов трюмов, задействованных в замещении кратности b можно аналогично однократному замещению записать следующее соотношение, определяющее допустимость замещения:

$$\Delta G_w \geq \sum_{i=1}^b W_{pi} - \sum_{i=1}^b \bar{W}_{pi}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^b W_{pi}$ и $\sum_{i=1}^b \bar{W}_{pi}$ – вес груза соответственно в трюмах, которые замещаются, и трюмах, которыми производится замещение.

Анализ выражения (3) показывает, что минимальная разность в правой части неравенства, а, следовательно, и максимальное значение кратности замещения b , достигается, если в $\{W_{pi}\}_{nmax}$ выбираются b последних, а в $\{\bar{W}_{pi}\}_{nmax}$ b начальных трюмов, для которых справедливо соотношение (3), но при $b + 1$ оно не выполняется. Таким образом, начиная с $b = 1$, проверяется истинность соотношения:

$$\Delta G_w \geq \sum_{i=nmn-b}^{nmn} W_{pi} - \sum_{i=nmn+1}^{nmn+1+b} W_{pi}. \quad (4)$$

Если соотношение справедливо значение b увеличивают на 1 и снова производится проверка справедливости неравенства (4), так продолжается до тех пор, пока (4) в первый раз не окажется истинным. Предыдущее значение b как раз и является максимальным.

Определение условий допустимости замещений высшего порядка кратности, производится аналогично однократному варианту. При этом условие допустимости замещения кратности c имеет вид:

$$\bigcup_{i=1}^c W_{pi} - \bigcup_{i=1}^c \overline{W}_{pi},$$

где $\bigcup_{i=1}^c W_{pi}$ и $\bigcup_{i=1}^c \overline{W}_{pi}$ – соответственно сумма грузов в трюмах, выбранных для замещения, и в трюмах, которыми намерены произвести замещение.

В дальнейшем, производя замещения высшей кратности, в каждом подмножестве $Mn_{nmax}(k)$ ($k>1$) выбирается наиболее предпочтительный базовый

набор трюмов $_{min}H_{bnmax}(k)$. Затем следует упорядочить полученные базовые наборы $_{min}H_{bnmax}(k)$ ($k=1\dots b$) по росту разности груза ΔG_{wi} и выбрать в качестве исходного минимальный. В целом объединение всех подмножеств k – кратных замещений $Mn_{nmax}(k)$ получим подмножество Mn_{nmax} с распределенной на его элементах мерой ΔG_{wi} , характеризующей их предпочтение по признаку риска возможного смещения груза при перевозке.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, в статье получен способ выбора перечня трюмов балкера, позволяющий при нестандартных вариантах грузовых операций минимизировать риск смещения груза при его перевозке морем. Полученный результат позволяет в перспективе разработать процедуру формирования стратегии проведения грузовых операций навалочных судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сизов В. Г. Теория корабля / В. Г. Сизов – Одесса : Феникс, 2003. – 282 с.
2. Воробьев Ю. Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере / Ю. Л. Воробьев – СПб. : Судостроение, 1992. – 224 с.
3. Кацман Ф. М. Теория и устройство судов / Ф. М. Кацман, Д. В. Дорогостайский, А. В. Конов, Б. П. Коваленко – Л. : Судостроение, 1991. – 416 с.
4. Мельник В. Н. Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судна / В. Н. Мельник – М. : Транспорт, 1990. – 142 с.
5. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Ю. Ю. Васьков // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 40-45.
6. Павленко Л. В. Особенности эксплуатации балкеров / Л. В. Павленко, Л. А. Козырь – Одесса : Латстар, 2002. – 78 с.

П'ятаков Е.М. ВИБІР ПЕРЕЛІКУ ТРЮМІВ СУДНА ДЛЯ ПРИЙОМУ НАВАЛЮВАЛЬНИХ ВАНТАЖІВ

В роботі розглянуто спосіб вибору набору трюмів балкера для прийому навалювальних вантажів в ситуаціях нестандартних завантажень, які не передбачені в суднових вантажних документах. Запропонований спосіб дозволяє виявити набір трюмів, що містять їх мінімальне число, в яке можна розмістити планований до прийому вантаж. Одержані необхідні аналітичні залежності.

Ключові слова: морехідна безпека, вантажні операції балкерів, навалювальні вантажі, мінімальний набір трюмів

Pyatakov .E.N. CHOICE OF LIST OF HOLDS OF SHIP FOR RECEPTION OF LOADS

The method of choice of set of holds of balters for the reception of loads in the situations of non-standard loads which are not foreseen in ship shipping documents is considered in work. The offered method allows to expose the set of holds containing their minimum number, in which it is possible to accommodate the load planned to the reception. Necessary analytical dependences are got.

Keywords: nautical safety, freight operations of balters, loads, minimum set of holds.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХООПОРНОЙ ОБОЛОЧКИ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

Ткаченко Ю.Н.,

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

В работе исследуется жесткость формы мягкой цилиндрической оболочки, закрепленной на жесткой плоскости вдоль параллельных образующих. Материал оболочки считаем абсолютно гибким, не растягивающимися и невесомым. Поперечное сечение оболочки и принятые обозначения показаны на рис. 1. Предложенные зависимости можно использовать для определения параметров оболочки.

Ключевые слова: пневматическая оболочка, центральный угол, радиус-вектор.

Постановка проблемы. В судостроении распространение получают мягкие оболочки воздухоопорного типа [1], в большинстве цилиндрической формы. Способность мягких оболочек претерпевать формоизменения принципиально отличает их жестких конструкций. Для жестких конструкций равновесная форма обычно известна. Для мягких цилиндрических оболочек равновесных состояний может быть множество, в зависимости от характера внешней нагрузки.

В процессе проектирования пневматических воздухоопорных сооружений из мягких материалов необходимо учитывать возможность изменения формы от действующей внешней нагрузки. Способность мягкой оболочки к формоизменению характеризуется жесткостью заданной формы оболочки, ее анализ вызывает большой интерес [2-5].

Анализ последних исследований и публикаций. Задача исследования жесткости рассматривалась в работах [1-4]. Согласно опубликованным результатам жесткость формы мягкой цилиндрической оболочки зависит от внутреннего давления и расстояния между образующими креплений.

Цель статьи – выявление зависимости жесткости и параметров формы цилиндрической пневматической оболочки от условий закрепления, воздействия нагрузки избыточного давления.

Изложение материала исследования и анализ полученных результатов. Рассматривается цилиндрическая оболочка с абсолютно мягкого, не весомого и нерастяжимого материала. Оболочка своими краями закреплена на жестких параллельных образующих A и C , расстояние между которыми B .

Цилиндрическая форма оболочки обеспечивается внутренним избыточным давлением P . Материал оболочки считаем абсолютно гибким, нерастяжимым и невесомым. Пусть на часть оболочки (участок 1), действует избыточное внешним P_1 . На участок 2 действует внутреннее избыточное давление P_2 . N – точка, в которой касательная к оболочке параллельна оси X (горизонтальна). Точка N , также является границей участков 1 и 2. δ – угол наклона основания оболочки к оси X .

Длины L_1 и L_2 участков 1 и 2 заранее неизвестны и определяются из соотношений 1 и 2.

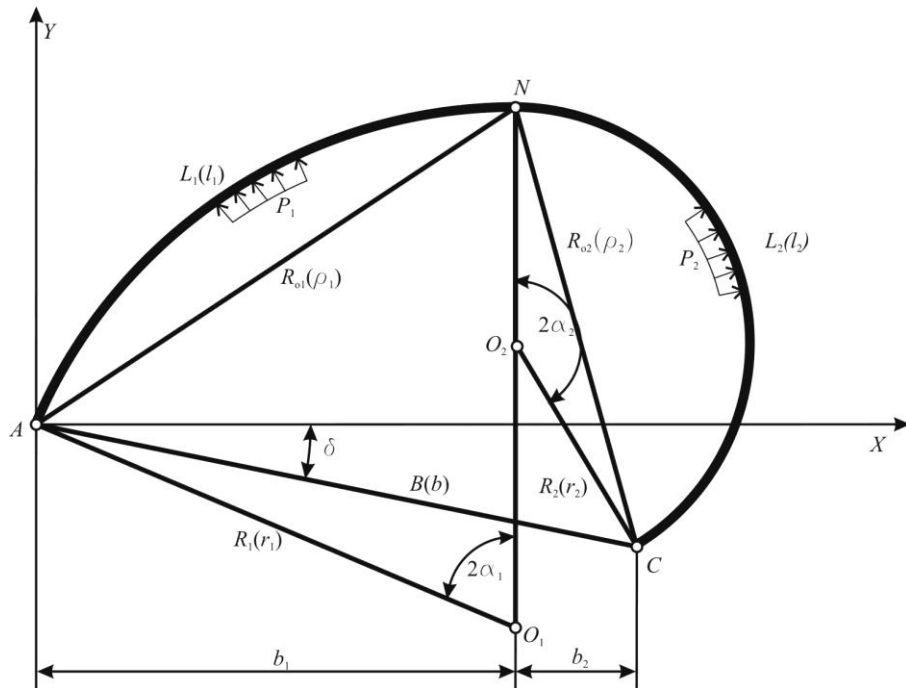


Рисунок 1 – Поперечное сечение оболочки и принятые обозначения

$$L_1 = R_1 \cdot 2\alpha_1 \quad (1)$$

$$L_2 = R_2 \cdot 2\alpha_2 \quad (2)$$

где R_1 и R_2 – радиусы оболочки на участках 1 и 2 соответственно, $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$ – центральные углы оболочки на участках 1 и 2.

Для обобщения результатов расчета и исключения влияния на результат периметра оболочки L , расстояния между краями закрепления B и избыточного давления P , перейдем к безразмерным параметрам. При переходе к безразмерным параметрам все линейные характеристики разделим на L , а силовые на P . Как и в [5] перейдя к безразмерным параметрам обозначим их строчными буквами.

Как было показано в [5] в безразмерном виде радиус-вектор точки N является характеристикой жесткости оболочки.

Задача определения параметров формы ρ_1 , ρ_2 , r_1 , r_2 , $2\alpha_1$, $2\alpha_2$ равновесного состояния оболочки сводится к решению системы трансцендентных уравнений (3, 4) относительно центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$

$$\frac{k \sin(2\alpha_1) + \sin(2\alpha_2)}{2(k\alpha_1 + \alpha_2)} - b \cos(\delta) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{k \sin^2 \alpha_1 - \sin^2 \alpha_2}{k \alpha_1 + \alpha_2} + b \sin(\delta \delta) = 0, \quad (4)$$

где b – расстояние между образующими в безразмерном виде, $k = \frac{P_2}{P_1}$ – соотношение между давлениями, действующие на участки 1 и 2 оболочки.

Радиус-векторы точки N из точек A и C в безразмерном виде определяем по формулам (5, 6)

$$\rho_1 = 2r_1 \sin(\alpha_1) \quad (5)$$

$$\rho_2 = 2r_2 \sin(\alpha_2) \quad (6)$$

где r_1 и r_2 – радиусы оболочки в безразмерном виде на участках 1 и 2 соответственно ρ_1 и ρ_2 – радиус-векторы точки N , проведенные из точек A и C соответственно

Результаты расчета зависимости центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, радиусов дуг оболочек r_1 и r_2 , и радиус-векторов точки N ρ_1 и ρ_2 от расстояния между образующими b представлены в виде графиков на рис. 2.

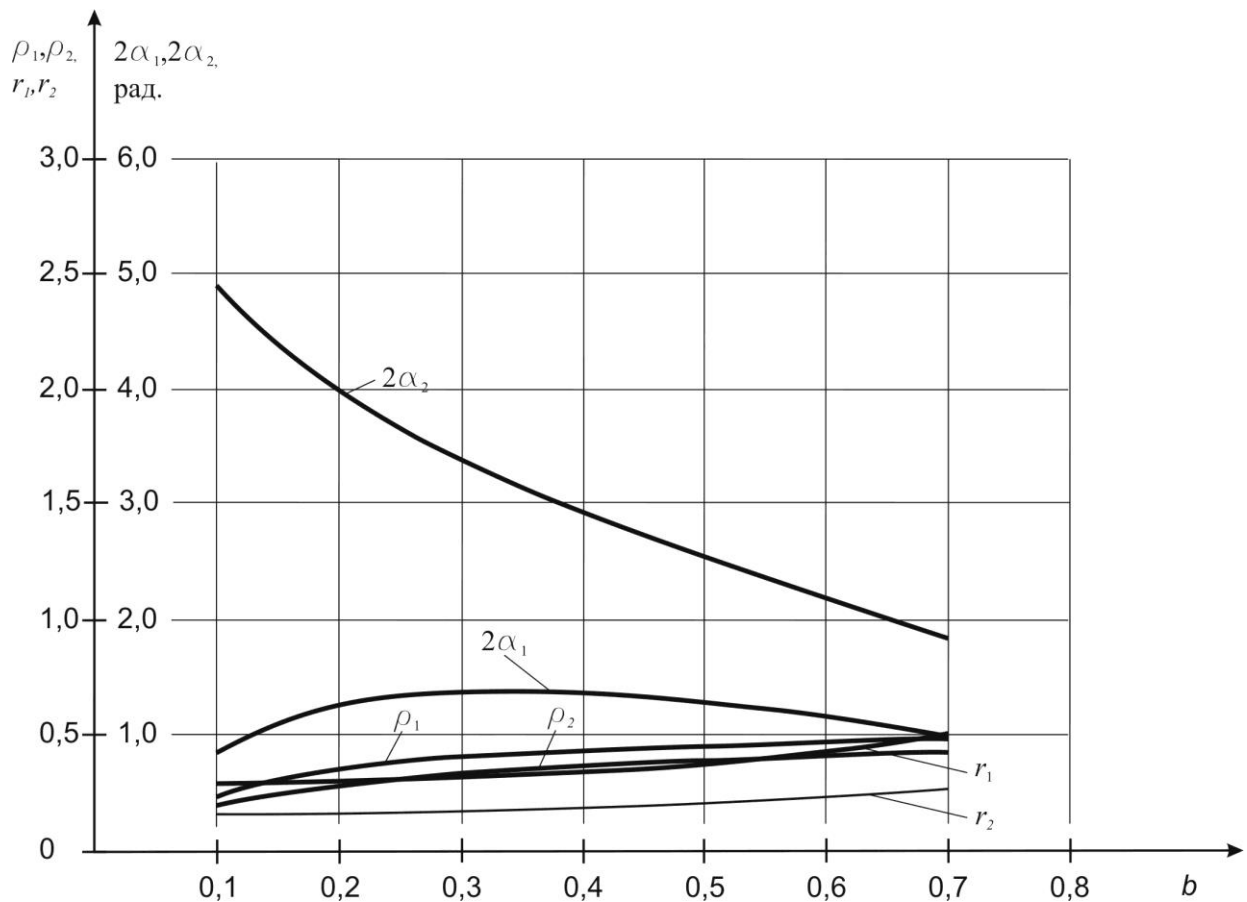


Рисунок 2 – Зависимость центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, радиусов r_1 и r_2 , радиус-векторов ρ_1 и ρ_2 от расстояния между образующими b

Как было показано в [5] радиус-вектор точки N в безразмерном виде является измерителем жесткости. Поэтому по графику можно определить характер изменения жесткости.

Как следует из графиков, представленных на рис. 2. радиусы r_1 и r_2 , а также радиус-векторы ρ_1 и ρ_2 сохраняют стабильность при возрастании b . Это говорит о том что жесткостные показатели воздухоопорной оболочки, приведенной на рис. 1 мало зависят от величины b . Центральный угол $2\alpha_2$ резко уменьшается по мере возрастания расстояния между образующими крепления b . Центральный угол $2\alpha_1$ изменяется в сравнительно небольшом диапазоне и достигает максимума при $b \approx 0,28$

Результаты расчета зависимости центральных углов, радиусов дуг оболочек и радиус-векторов точки N от соотношения между давлениями $k = \frac{P_2}{P_1}$ на участки 1 и 2 представлены в виде графиков на рис. 3.

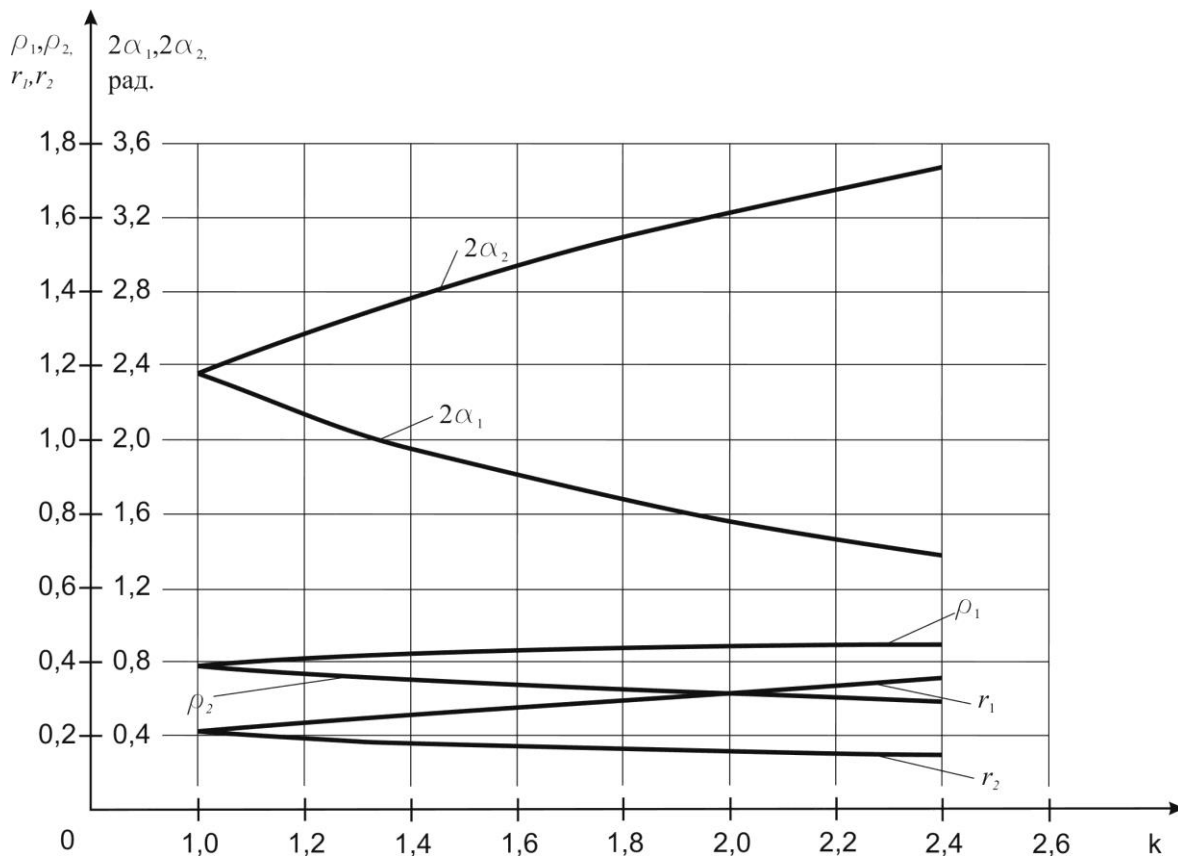


Рисунок 3 – Зависимость центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, радиусов r_1 и r_2 , радиус-векторов ρ_1 и ρ_2 от соотношения между давлениями $k = \frac{P_2}{P_1}$

Исходя из графиков, представленных на рис. 3, радиусы r_1 и r_2 , а также радиус-векторы ρ_1 и ρ_2 мало изменяются при возрастании k , при этом r_1 и ρ_1 увеличиваются, а r_2 и ρ_2 уменьшаются. Это говорит о том что жесткостные показатели воздухоопорной оболочки, приведенной на рис. 1

мало зависят от величины k . Центральный угол $2\alpha_2$ резко увеличивается по мере возрастания соотношения между давлениями k . Центральный угол $2\alpha_1$ резко уменьшается при увеличении соотношения между давлениями k . Это указывает на значительное влияние на центральные углы $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$ соотношения между давлениями k .

Результаты расчета зависимости центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, радиусов дуг оболочек r_1 и r_2 , и радиус-векторов точки N ρ_1 и ρ_2 от угла наклона основания δ к оси X (горизонту) представлены в виде графиков на рис. 4.

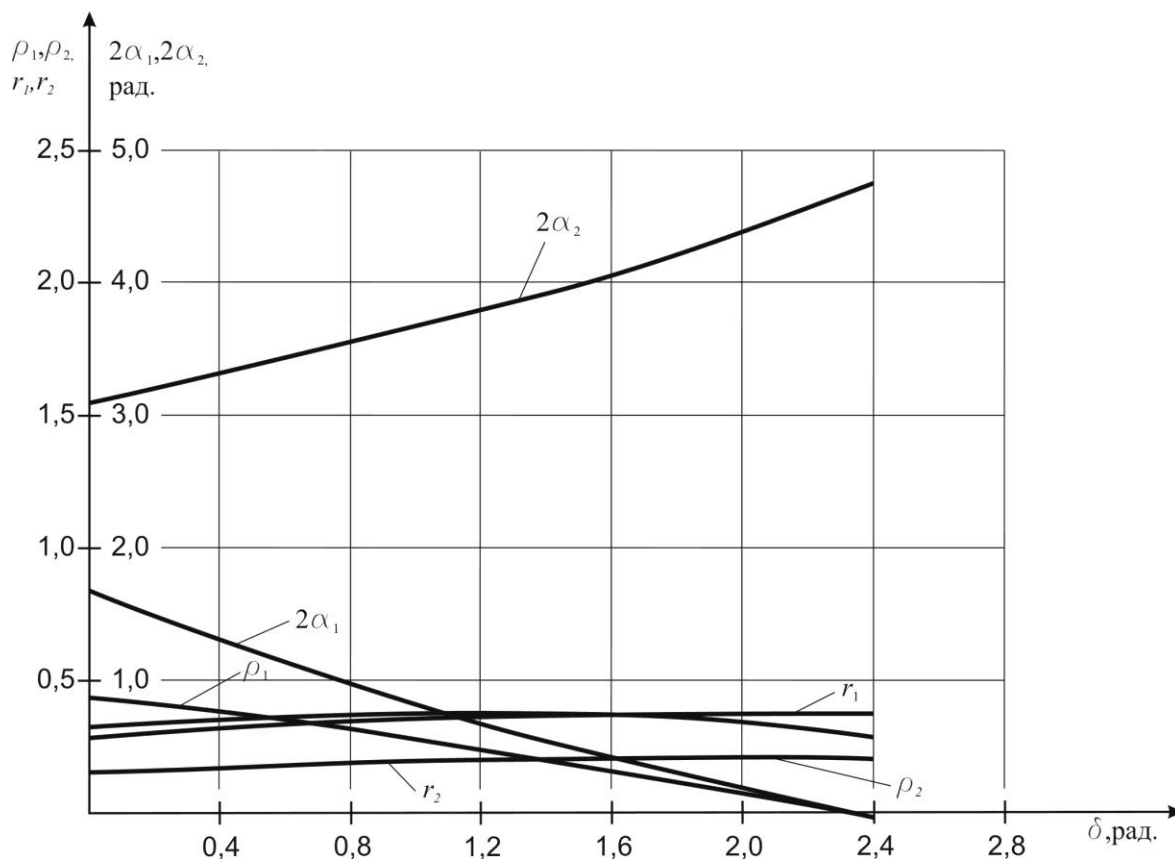


Рисунок 4 – Зависимость центральных углов $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, радиусов r_1 и r_2 , радиус-векторов ρ_1 и ρ_2 от угла наклона основания δ к оси X (горизонту)

Исходя из графиков, представленных на рис. 4, радиусы центральных углов r_1 и r_2 , радиус-вектор ρ_2 практически не изменяются с увеличением угла наклона δ . Центральный угол $2\alpha_2$ увеличивается с ростом δ . Центральный угол $2\alpha_1$ и радиус-вектор ρ_1 уменьшаются и при $\delta \approx 2,4$ становятся равными нулю. Это свидетельствует о том что оболочка теряет свою форму.

Выводы. Жесткость формы мало зависит от расстояния между образующими крепления b и соотношением между избыточными давлениями k , а большое значение на жесткость формы оказывает угол наклона δ к горизонту.

На радиусы центральных углов r_1 и r_2 оказывают небольшое влияние условия закрепления, воздействие нагрузки избыточного давления.

На центральный угол $2\alpha_1$ только изменение расстояния между образующими крепления не оказывает большого влияния, остальные параметры сильно влияют на угол $2\alpha_1$.

Центральный угол $2\alpha_2$ сильно зависит от условий закрепления и избыточного давления: с увеличением расстояния между образующими b центральный угол $2\alpha_2$ уменьшается, а с увеличением отношения k между избыточными давлениями P_1 и P_2 и угла наклона основания к горизонту δ – увеличивается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров И. Т., Соколов В. Т. Проектирование быстроходных судов. – Л. : Судостроение, 1971. – 424 с.
1. Магула В. Э. Судовые эластичные конструкции. – Л. : Судостроение, 1978. – 263 с.
2. Мартынец Б. Н. Упругие характеристики мягкой цилиндрической воздухоопорной оболочки // Судостроение : Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1978. – Вып. 36. – С. 33-37.
3. Мартынец Б. Н., Зайцев В. В. Жесткость и упругость формы мягкой оболочки геометрически изгибаемого класса // Судостроение : Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1989. – Вып. 38. – С. 50-58.
4. Ткаченко Ю. М., Мартынец Б. М. Обчислення жорсткості форми м'якої циліндричної оболонки // Комп'ютерні науки та інженерія – Львів : Видавництво «Львівської політехніки», 2011 – С. 208-209.

Ткаченко Ю.М. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКОЇ ДО ПОВІТРЯ ОБОЛОНКИ З ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ, ЩО ВИМІРЮЄТЬСЯ

В роботі досліджується жорсткість форми м'якої циліндричної оболонки, закріпленої на жорсткій площині вздовж паралельних твірних. Матеріал оболонки вважаємо абсолютно гнучким, нерозтяжним та невагомим. Поперечний переріз такої оболонки та прийняті позначення наведені на рис. 1. Запропоновані залежності можна використовувати для визначення параметрів оболонки.

Ключові слова: пневматична оболонка, центральний кут, радіус-вектор.

Ткаченко Ю.Н. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКОЇ ДО ПОВІТРЯ ОБОЛОНКИ З ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ, ЩО ВИМІРЮЄТЬСЯ

This paper investigates the hard form of the soft cylindrical casing attached on the hard plane along the parallel generants. The shell material is assumed as a absolutely flexible, inextensible and weightless. The diametrical crosscut of such plane and accepted designations are offered in Figure 1. The offered dependences can be used for determination of parameters of shell.

Ключевые слова: пневматическая оболочка, центральный угол, радиус-вектор.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОТВОДА В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Федоровский К.Ю., Ениватов В.В.,

Севастопольский национальный технический университет

Представлены результаты теплотехнических исследований влияния ориентации теплоотдающей поверхности на процесс теплоотвода от судовой обшивки забортной воде в случае использования газожидкостной интенсификации. Получены обобщающие уравнения подобия, описывающие теплоотдачу наклонных поверхностей газожидкостным струям. Выполнен анализ эффективности метода газожидкостной интенсификации теплоотдачи забортной воде в замкнутых системах охлаждения судовых энергоустановок с обшивочными теплообменным аппаратом.

Ключевые слова: судовые энергоустановки, замкнутые системы охлаждения, газожидкостная интенсификация, уравнения подобия.

Постановка проблемы. Повышение надежности, эффективности и экологической безопасности эксплуатации энергоустановок судов и морских технических средств – актуальная проблема судостроения. Особое внимание следует уделить одной из важнейших систем, обеспечивающей работу судовых энергетических установок (СЭУ), – системе охлаждения (СО). При эксплуатации судов технического флота (плавкраны, землечерпалки и др.) в загрязненной акватории и на мелководье, существует проблема предотвращения засорения СО (донно-забортная арматура, кингстонные ящики, фильтры, теплообменники, насосы и др.). Возникают коррозионно-эрозионные повреждения и засорение элементов системы, что приводит к дополнительным затратам на обслуживание и ремонт. Известны случаи вынужденного простоя судов вследствие засорения и отказа СО.

С точки зрения обеспечения экологической безопасности является нецелесообразным эксплуатация судов и морских технических средств с разомкнутой СО СЭУ. Такие СО наносят значительный экологический ущерб окружающей среде в прибрежной зоне, в которой сосредоточены основные биоресурсы морей. Решение данной проблемы связано с переходом на замкнутые системы охлаждения (ЗСО) СЭУ [1]. Применение ЗСО, исключаящих прием забортной воды, улучшает эксплуатационные характеристики СЭУ и предотвращает негативное экологическое воздействие.

В качестве устройств теплоотвода забортной воде в ЗСО могут быть использованы судовые обшивочные теплообменные аппараты (СОТОА). Достоинством СОТОА является сравнительная простота изготовления, к тому же такие теплообменные аппараты практически не требуют обслуживания при эксплуатации. Эти устройства представляют собой лабиринтный канал, выполненный с внутренней стороны судовой обшивки и образованный элементами набора корпуса, обшивкой корпуса судна и

дополнительно наваренными пластинами [1, 2]. По лабиринтному каналу движется охлаждаемая пресная вода с антикоррозийной присадкой.

СОТОА в принципе может быть размещен на различных участках обшивки корпуса судна. Угол наклона теплоотводящей поверхности аппарата при этом изменяется от вертикального положения ($\varphi = 0^\circ$) – вертикальный борт, до горизонтального ($\varphi = -90^\circ$) – днищевой СОТОА с теплоотводом вниз. При работе СОТОА в неподвижной воде теплоотвод осуществляется при свободной конвекции. При таких условиях обеспечивается невысокий коэффициент теплоотдачи заборной воде, что ведет к увеличению площади теплообменного аппарата. При этом возникает необходимость интенсификации теплоотдачи, которая может быть реализована за счет использования газожидкостных струй. Такие струи создаются посредством подачи воздуха с наружной стороны судовой обшивки [1-3]. Достоинством этого метода интенсификации теплоотвода является его простота и использование воздуха с небольшим давлением, необходимым для преодоления гидростатического давления жидкости, соответствующего осадке судна, и сопротивления воздухопровода.

Анализ результатов предыдущих исследований. Данный метод был предложен и исследован в работе [1] для вертикальной поверхности СОТОА. Получено существенное (в 10-15 раз) увеличение теплоотдачи по сравнению со случаем свободной конвекции при тех же температурных напорах. Однако СОТОА может быть расположен на различных участках корпуса судна, и, как следствие, иметь различную ориентацию. Для расчета теплоотвода при таких условиях необходимых зависимостей нет.

Цель работы: определить зависимости, описывающие процесс теплоотдачи при различных углах наклона СОТОА, что обеспечит возможность расчета таких аппаратов в указанных условиях и их более широкое внедрение в практику судостроения.

Изложение основного материала. Проведенные визуальные исследования [2] показали принципиальную возможность газожидкостной интенсификации теплоотдачи при различных углах наклона СОТОА. С целью определения зависимости для расчета теплоотвода были проведены экспериментальные исследования на специальном стенде для теплотехнических испытаний [3, 4].

При проведении исследований определено влияние на теплоотдачу угла наклона φ теплоотдающей поверхности и количества подаваемого на поверхность воздуха $W_{ГЛ}$. Полученные результаты экспериментальных теплотехнических исследований интенсификации показаны на рис. 1. Семейство кривых 1–7 характеризуют зависимость коэффициента теплоотдачи α от угла наклона теплоотдающей поверхности при различных удельных расходах газа $W_{ГЛ}$.

Детальный анализ результатов позволил выявить некоторые особенности процесса теплоотдачи от наклонной поверхности. При увеличении угла наклона в сторону газожидкостных струй до значений,

близких к $\varphi = -30^\circ$, наблюдается увеличение значения коэффициента теплоотдачи. Это объясняется различным характером движения пузырьков воздуха вдоль вертикальной и наклонной поверхности. В первом случае пузырьки, двигаясь вверх, совершают поперечные пульсации (то отдаляясь, то приближаясь к стенке), вследствие чего разрушается пристенный пограничный слой. Во-втором случае пузырьки двигаются вдоль поверхности и как бы скребут поверхность, тем самым еще эффективней разрушая пограничный слой. Этот эффект наблюдается при всех удельных расходах подаваемого воздуха (см. рис. 1).

При удельном расходе воздуха, равном $W_{\text{ГЛ}} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, и угле наклона теплоотдающей пластины, равном $\varphi = -30^\circ$, коэффициент теплоотдачи принимает значения $\bar{\alpha} \approx 2500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а при $W_{\text{ГЛ}} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ и том же угле составляет уже $\bar{\alpha} \approx 6000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

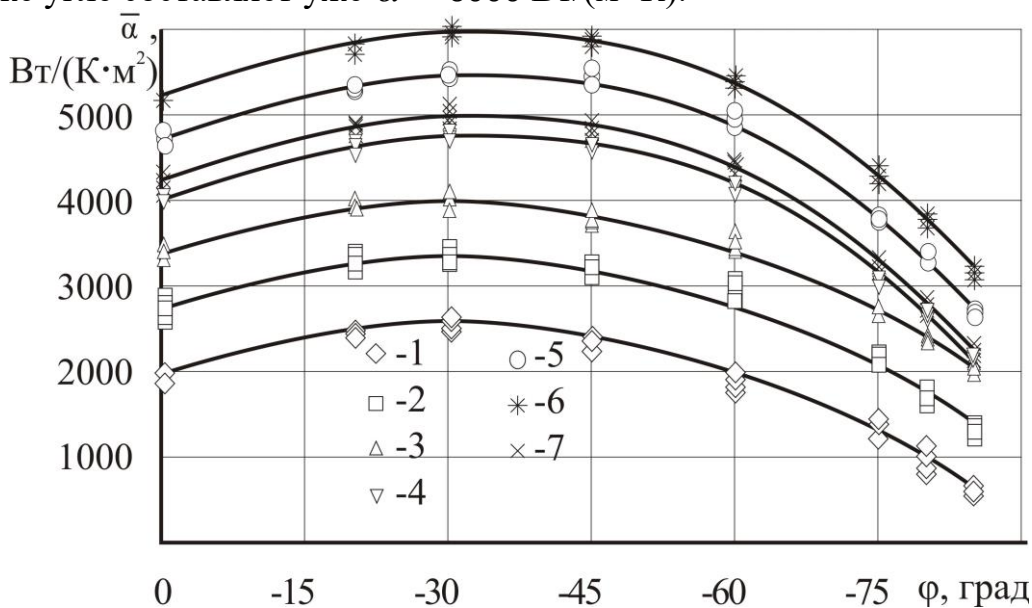


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от угла наклона теплоотдающей поверхности при различных $W_{\text{ГЛ}}$:

1 – $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; 2 – $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 3 – $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 4 – $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$;
5 – $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 6 – $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 7 – $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

При углах наклона, близких к горизонтальной ориентации СОТОА, коэффициент теплоотдачи сохраняет высокие значения даже при небольших удельных расходах газа. Для удельного расхода $W_{\text{ГЛ}} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ и угле наклона $\varphi = -85^\circ$ коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha} \approx 700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а при $W_{\text{ГЛ}} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ и том же угле $\bar{\alpha} \approx 3200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Это указывает на высокую эффективность выбранного метода интенсификации теплоотдачи для применения в системах охлаждения, использующих СОТОА, расположенные на наклоненных участках корпуса морских технических средств.

На рис. 1 видно, что при удельных расходах воздуха больших $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ изменяется форма кривых, отображающих зависимость коэффициента теплоотдачи от угла наклона поверхности. Это

свидетельствует о качественном изменении процесса теплоотдачи, а именно – уменьшении прироста коэффициента теплоотдачи. Данное явление объясняется увеличением среднего размера всплывающих пузырьков, изменением их формы, а также воздушных скоплений, всплывающих как единое целое. При увеличении угла наклона поверхности СОТОА свыше – 60° коэффициент теплоотдачи уменьшается. Это связано с вытеснением жидкости воздушными пузырьками. Известно, что воздух имеет меньший коэффициент теплоотдачи по сравнению с водой.

Для описания процесса теплоотдачи газожидкостным струям целесообразно применение принципа суперпозиций [1]. В соответствии с этим принципом, результирующий коэффициент теплоотдачи от поверхности определяется как сумма теплоотдачи при свободной конвекции $\bar{\alpha}_K$ и теплоотдачи движущихся вдоль поверхности газожидкостных струй $\bar{\alpha}_Г$:

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_K + \bar{\alpha}_Г. \quad (1)$$

Коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции $\bar{\alpha}_K$ от наклонной поверхности рассчитан по зависимостям, представленным в [1]. Согласно зависимости (1) и результатам теплотехнических исследований [1], газожидкостная составляющая коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}_Г$ не зависит от разности температур между поверхностью теплоотдачи и водой, а определяется только значением удельного расхода газа $W_{ГЛ}$.

В результате обработки данных экспериментальных исследований были получены два обобщающих уравнения подобия – для значений Re^* меньше $Re^*_{кр}$ (2) и свыше значения критического значения модифицированного числа Рейнольдса (3), описывающие теплоотдачу газожидкостной струе в рассматриваемом судовом обшивочном теплообменном аппарате, при различных углах наклона теплоотдающей поверхности:

$$\overline{Nu}_Г = 10^{1.03 \cos(30+\varphi)+1.75} Re^{*0.277} \cdot Pr^{0.33} \cdot (\mu_{ж}/\mu_c)^{0.14}, \quad (2)$$

$$\overline{Nu}_Г = 10^{1.02 \cos(30+\varphi)+2.34} Re^{*0.075} \cdot Pr^{0.33} \cdot (\mu_{ж}/\mu_c)^{0.14}, \quad (3)$$

где $\overline{Nu}_Г$ – число Нуссельта, Re^* – модифицированное число Рейнольдса, Pr – число Прандтля, μ – динамический коэффициент вязкости жидкости.

В качестве определяющей взята средняя температура охлаждающей воды. Зависимость (2) справедлива при $Re^* = 35,8...890$; $Pr = 4...10$; $\mu_{ж}/\mu_c = 0,62...2,52$; $\varphi = 0...-85^\circ$. Зависимость (3) справедлива при $Re^* = 890...6235,6$; $Pr = 4...10$; $\mu_{ж}/\mu_c = 0,62...2,52$; $\varphi = 0...-85^\circ$.

Используя зависимости, представленные в [1], рассмотрим степень интенсификации теплоотдачи газожидкостным струям по сравнению со случаем свободной конвекции. Соответствующие зависимости показаны на рис. 2 и 3.

На рис. 2 и 3 видно, что эффективность метода интенсификации по сравнению с теплоотдачей при свободной конвекции резко возрастает по

мере уменьшения температурного напора между теплоотдающей поверхностью и заборной водой при всех рассматриваемых удельных расходах воздуха и углах наклона теплоотдающей поверхности.

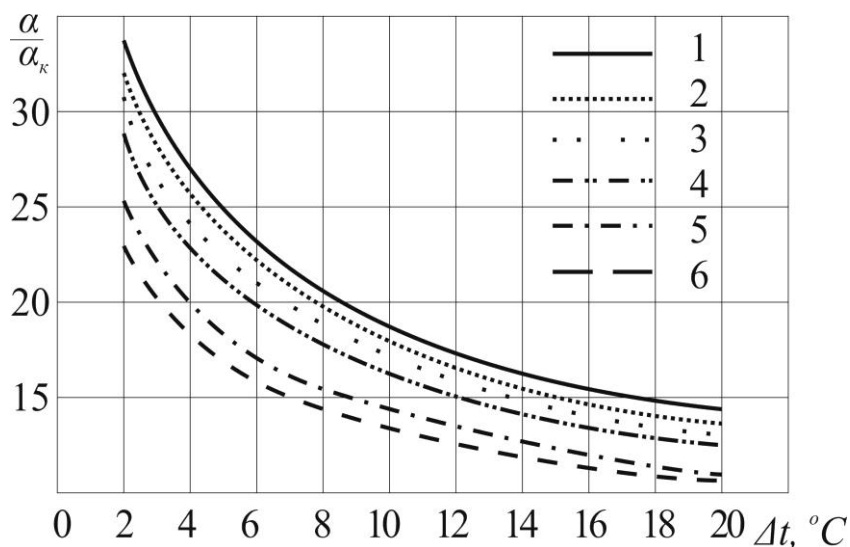


Рисунок 2 – Зависимость α/α_k от температурного напора при $\varphi = -30^\circ$:

1 – $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; 2 – $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 3 – $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 4 – $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 5 – $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 6 – $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

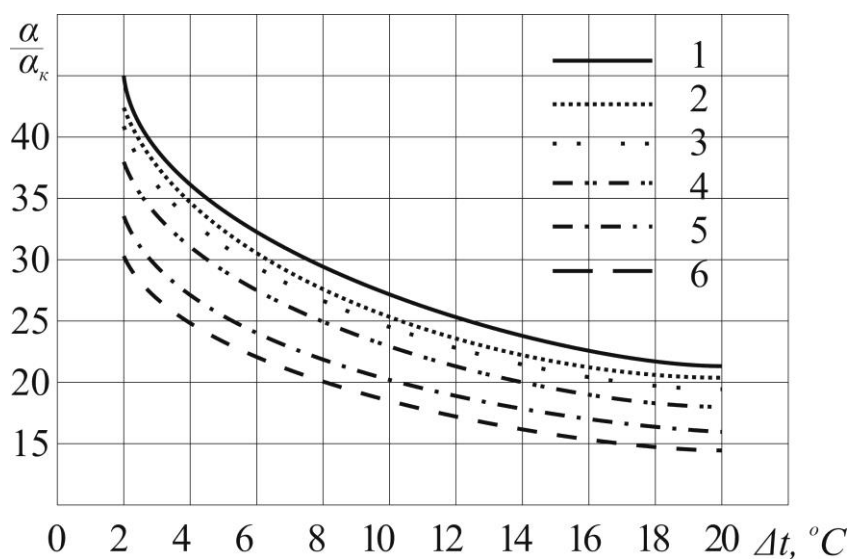


Рисунок 3 – Зависимость α/α_k от температурного напора при $\varphi = -75^\circ$:

1 – $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; 2 – $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 3 – $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; 4 – $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 5 – $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 6 – $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

При малых температурных напорах ($\Delta t \approx 2^\circ\text{C}$) и удельных расходах подаваемого воздуха (порядка $W_{\text{ГЛ}} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$) эффективность теплоотдачи газожидкостным струям в сравнении со свободной конвекцией повышается в 23 раза и 30 раз, в соответствии с изменением угла наклона φ от -30° до -75° .

При больших удельных расходах (порядка $W_{\text{ГЛ}} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$) и тех же температурных напорах ($\Delta t \approx 2^\circ\text{C}$) увеличение теплоотдачи при углах $\varphi = -30^\circ$ и $\varphi = -75^\circ$ достигает соответственно 33 раза и 45 раз. Так же следует

отметить, что повышение температурного напора приводит к уменьшению степени интенсификации α/α_k и примерной ее стабилизации при $\Delta t > 20$ °С. Для $W_{\text{ГЛ}} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ м²/с при углах наклона $\varphi = -30^\circ$ и $\varphi = -75^\circ$ эффективность устанавливается на значениях α/α_k соответственно 11 и 14, а для $W_{\text{ГЛ}} = 5,2 \cdot 10^{-3}$ м²/с – 14 и 22 раза.

Выводы. Результаты экспериментальных исследований показали высокую эффективность газожидкостной интенсификации теплоотдачи в ЗСО с СОТОА при различных его наклонных. Выявлена следующая особенность процесса теплоотвода газожидкостным струям: коэффициент теплоотдачи α достигает максимума при углах наклона φ , близких к -30° , при всех значениях удельного расхода подаваемого воздуха (значения $W_{\text{ГЛ}}$ от $2,9 \cdot 10^{-4}$ м²/с до $5,2 \cdot 10^{-3}$ м²/с). Последующее увеличение удельного расхода газа приводит к качественному изменению теплоотдачи, в частности уменьшается прирост α , что связано с образованием воздушных пузырей, вытесняющих жидкость у поверхности, особенно при углах наклона, близких к горизонтальной ориентации. Отсюда следует рекомендация: использовать для СОТОА участки корпуса судна, имеющие угол наклона φ порядка -30° , при этом количество подаваемого на поверхность газа должно быть выбрано оптимальным, в зависимости от режима эксплуатации СЭУ.

В ходе обработки результатов теплотехнических исследований процесса теплоотвода от наклонной поверхности обшивочного теплообменного аппарата в замкнутых системах охлаждения СЭУ получены обобщающие уравнения подобия. Представленные уравнения подобия дают возможность рассчитать теплоотвод в СОТОА ЗСО энергоустановки.

Эти зависимости позволили выполнить оценку эффективности метода газожидкостной интенсификации. Эффективность рассматриваемого метода интенсификации резко возрастает по мере уменьшения температурного напора между поверхностью теплоотвода и охлаждающей жидкостью при всех рассматриваемых удельных расходах воздуха и углах наклона поверхности.

Представленные результаты исследований показали перспективность метода газожидкостной интенсификации теплоотвода от наклонных поверхностей. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение процесса теплоотвода через поверхности с большим углом наклона – днищевые СОТОА.

Переход на замкнутые системы охлаждения повышает надежность, эффективность и экологическую безопасность при эксплуатации энергоустановок судов и морских технических средств. Применение СОТОА может существенно снизить стоимость СО, а также сократить эксплуатационные затраты. Использование метода газожидкостной интенсификации теплоотдачи в СОТОА позволит улучшить энергетические характеристики ЗСО, эффективно использовать площадь обшивки корпуса судна, а также уменьшить массогабаритные параметры теплоотводящих элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоровский К. Ю. Устройства и системы охлаждения энергетических установок морских технических средств : Дис... д-ра техн. наук: 05.08.05. / Константин Юрьевич Федоровский. – Севастополь, 1991. – 347 с.
2. Федоровский К. Ю. Газожидкостная интенсификация теплоотдачи от судовой обшивки при различных углах ее наклона / К. Ю. Федоровский, В. В. Ениватов // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология : сб. науч. тр. – Севастополь, 2009. – Вып. № 97 – С. 59-61.
3. Федоровский К. Ю. Повышение эффективности экологически безопасных систем охлаждения морских энергоустановок/ К. Ю. Федоровский, В. В. Ениватов // Науковий вісник ХДМІ. – Херсон, 2009. – Вип. 1(1). – С. 161-165.
4. Федоровский К. Ю. Повышение эффективности систем охлаждения СЭУ с теплоотводом забортной воде / К. Ю. Федоровский, В. В. Ениватов // Судовая энергетика: состояние и проблемы : Матер. 5-ой междунар. науч.-техн. конф, [Николаев, 10-11 ноября 2011 г.] – Николаев, 2011. – С. 176-179.

Федоровський К.Ю., Єніватов В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОРІДИННОЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛОВІДВОДУ В ЗАМКНУТИХ СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГОСПОРУД

Представлені результати теплотехнічних досліджень впливу положення тепловіводячої поверхні на процес тепловідводу від суднової обшивки забортній воді в разі газорідинної інтенсифікації. Отримані узагальнюючі рівняння подоби, описуючи тепловіддачу нахилених поверхонь газорідинним струменям. Зроблено аналіз ефективності метода газорідинної інтенсифікації тепловіддачі забортній воді в замкнутих системах охолодження суднових енергоспоруд з обшивочним теплообмінним апаратом.

Ключові слова: суднові енергоспоруди, замкнуті системи охолодження, газорідинна інтенсифікація, рівняння подоби.

Fedorovsky K.Yu., Yenivatov V.V. THE RESEARCH OF GAS-LIQUID INTENSIFICATION OF HEAT EMISSION IN THE POWER PLANT CLOSED COOLING SYSTEM

The experimental research results of the influence of angle of slope on the heat transfer process in shell heat exchangers in case using of gas-liquid intensification are shown. The general thermal similarities are present. The efficiency of method of the heat- emission gas-liquid intensification in vessel power plants with shell heat-exchanger is analyzed.

Keywords: vessel power plants , closed cooling system, gas-liquid intensification, general thermal similarities.

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДОВ

Абракитов В.Э., Абракитова Н.В.,

Харьковская национальная академия городского хозяйства,

Селиванов С.Е.,

Херсонская государственная морская академия

Проблема борьбы с шумом в настоящее время приобретает особую актуальность. Одно из направлений её решения – изучение шумового режима городских территорий. Это осуществляется за счёт построения карт шума. Нашим личным вкладом явилось создание карты шума ряда украинских городов. Ключевые слова: шум, шумовой режим, городские территории, карты шума.

Вступление. При исследовании шумового режима различных объектов городского хозяйства, где человек подвергается воздействию шума, при исследовании путей оптимизации акустических условий на городских территориях, при разработке шумозащитных мероприятий, определении их эффективности и др. крайне важно иметь информацию о количественных и качественных характеристиках акустических процессов, которые происходят при этом.

Актуальность исследований. В общем случае, с учётом поправок на время проведения измерений, местоположение объекта и др., уровень звука на территории города не должен превышать значения 45-65 дБА (варьируется для разных условий), а уровни звукового давления в октавных полосах частот – не должен выходить за пределы соответствующих нормативных спектров.

Таблица 1 – Нормативные значения уровней звука и звукового давления

Помещения и территории	Уровни звукового давления L (эквивалентные уровни звукового давления $L_{экв}$) в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами в Гц								Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв}$ в дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Нормативные значения	82	72	64	59	55	52	50	48	60

Для рассмотренных далее примеров построения карт шума (рис. 9-13) использованы значения п. 5 таблицы 1 СНиП II-12-77 [1] с поправками на местоположение объекта (табл. 2 [1]) и с поправкой «на время суток» (табл. 2 [1]). Получаем значения, указанные в табл. 1.

Величина шумового загрязнения, распределённого по территории города, значительно колеблется от точки к точке. Одна из главных задач, которые возникают перед градостроителями в проектной практике, заключается в том, чтобы предусмотреть зоны влияния будущих источников

шума, предвидеть шумовой режим жилой застройки и реализовать конкретные решения в этой области.

Постановка задачи. Карта шума – графическое изображение картины распределения шума на территории. Точки с одинаковыми значениями уровня звука (или уровней звукового давления в определённых полосах частот) соединяют между собой изолиниями. Области пространства с одинаковыми уровнями шумового загрязнения, как правило, заливают одинаковым цветом. Карта шума даёт наглядное представление о шумовом режиме исследуемой территории.

Полученные данные, которые характеризуют основные источники города, позволяют составить карту источников городского шума. На карту наносят в условных обозначениях основные источники и указывают их эквивалентные уровни шума в дБА.



Рисунок 1 – Территория центральной части г. Харькова, подлежащая картографированию шума, в ArcMap. Рамкой выделена зона (квадрат) непосредственного исследования

Существует, по крайней мере, два принципиально разных подхода к программному обеспечению, используемому для создания карт шума. Согласно первому из них, используют универсальные многофункциональные геоинформационные программные комплексы, потенциально способные великое множество разнообразных задач. Частным случаем одной из таких задач является построение именно карт шума. В программный комплекс исследователь вводит желаемую математическую модель процессов распространения шума, соответствующим образом настраивает, вводит данные и т.п., – после чего программа строит карту шума (по аналогии со всеми прочими другими задачами, которые она обучена решать).

Согласно второму подходу, для создания карт шума используют

узкоспеціалізоване програмне забезпечення, спеціально створене для даної цілі. Прикладом такого програмного забезпечення є зарубіжні програмні комплекси Map Noise, Sound Plan, Mitha, Cadna і др., а також російський ExNOISE [2].

Результати досліджень. Нашим особистим внеском у вирішення проблеми боротьби з шумом стали дослідження шуму в г. Харків та др. містах [3, 4]. Дослідження проводилися з використанням апаратних і програмних засобів, докладно описаних в монографіях [5, 6] і захищених патентом України [7]. Фрагмент досліджуваної території (картографічна підоснова) представлений на рис. 1.

Рис. 2 представляє собою те ж саме, що і рис. 1, тільки звільнене від зайвої картографічної інформації (векторизація).



Рисунок 2 – Те ж, після векторизації. Зайві елементи видалені

Дослідження по побудові карт шуму, згідно з загальноприйнятою практикою геоінформаційних досліджень ділилися на два послідовних етапи – польовий (натурні вимірювання акустичних параметрів) і камеральний (обробка отриманих результатів, побудова карт шуму)

На першому етапі використовувалися переносні пристрої – шумомір і кишеньковий персональний комп'ютер (КПК), а також програмне забезпечення ArcPad 10. Дослідник виходив у контрольну точку на місцевості, включав GPS-приймач КПК і за сигналами зі супутника виконував GPS-навігацію. Точні дані про місцезнаходження всередині КПК *автоматично* передавалися в програму ArcPad для PocketPC.

Дані вносилися в спеціально створений шейп-файл (рис. 3-а). Фіксація самих контрольних точок і їх прив'язка до місцевості потребують мінімального участя людини.

Шейп-файл несёт информацию о пространственном расположении контрольной точки на территории (т.е. схему расположения точек измерения на местности с привязкой к геодезической системе координат, получаемую от GPS-навигатора), а также (создаваемые по усмотрению экспериментатора) поля для записи сопутствующей информации. Всё это представляется в виде «таблицы атрибутов» (термин ArcGIS). (Рис. 3-б).

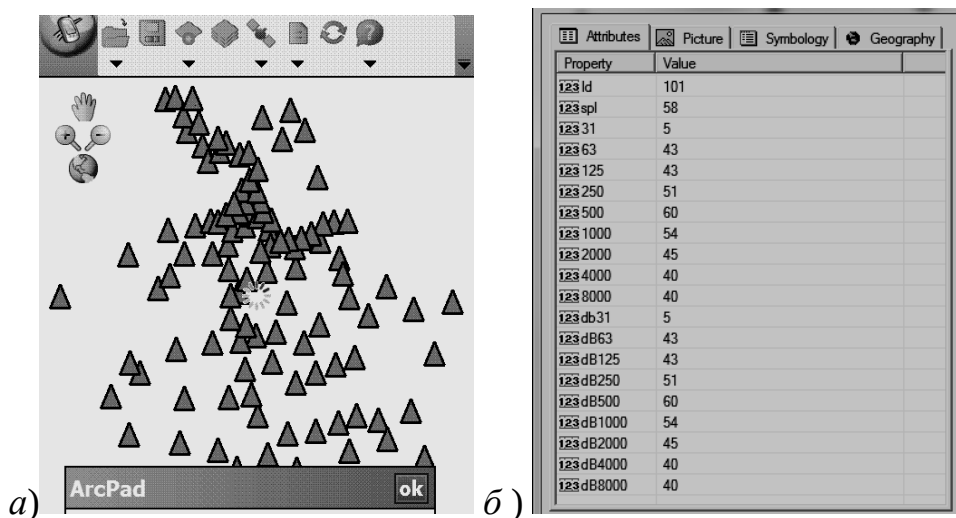


Рис. 3 – а – скриншот с экрана КПК. В ArcPad внесены контрольные точки (треугольники) с данными измерений:

б – таблица атрибутов (с данными о спектре шума в одной из точек: точка условно зарегистрирована за № 101)

После этого остаётся лишь занести данные акустических измерений (показания шумомера) в данной контрольной точке в одну строку таблицы шейп-файла, распределив их по соответствующим графам.

Проделав необходимые измерения, переходим к камеральному этапу исследований и переносим данные в настольный компьютер.

При этом от программы ArcPad 10 (предназначенной только для сбора первичных сведений – см. рис. 3 – переходим к программе ArcMap (использована версия 9.3.1), совместимой с ArcPad по формату поддерживаемых файлов и предназначенной для детальной обработки данных в камеральных условиях.

Обработка геофизической информации (создание карты исследуемого района в векторном виде – рис. 2) уже описана нами выше. Теперь на ней (рис. 2) в виде отдельного слоя наложены данные о расположении точек измерения и измеренных уровнях звукового давления в них (рис. 4).



Рисунок 4 – Полный набор исходных данных для построения карты шума

Уделим больше внимания таблице атрибутов, внешний вид которой представлен на рис. 5. На рис. 3.б представлены атрибуты (измеренные спектры шума) только для одной точки. На рис. 5 все атрибуты (все измеренные спектры шума для всех точек) объединены в одну общую единую таблицу.

FID	Shape *	Id	spl	db31	dB63	dB125	dB250	dB500	dB1000	dB2000	dB4000	dB8000
1	Точка	399	66	28	43	51	57	58	58	53	52	54
2	Точка	399	55	19	27	30	31	42	41	38	45	43
3	Точка	399	58	18	24	32	37	50	47	43	45	46
4	Точка	399	56	10	22	39	41	45	46	42	41	40
5	Точка	399	55	7	19	27	36	43	44	40	44	46
6	Точка	399	60	8	18	31	42	58	61	41	41	44
7	Точка	399	60	12	24	31	37	42	47	51	59	58
8	Точка	399	63	28	40	41	42	50	47	43	47	49
9	Точка	399	58	16	21	32	42	43	45	44	45	41
10	Точка	399	69	21	34	35	42	45	46	41	45	44
11	Точка	400	61	12	14	27	31	50	54	50	43	41
12	Точка	400	67	3	21	24	37	45	47	42	41	42
13	Точка	400	58	17	21	32	42	44	47	46	45	43
14	Точка	400	58	21	28	34	45	49	52	46	47	46
15	Точка	400	61	7	21	31	34	39	42	37	36	35
16	Точка	400	72	20	35	40	45	43	38	42	51	50
17	Точка	400	63	29	43	45	48	43	42	40	46	45
18	Точка	400	51	32	40	43	50	45	45	40	45	45
19	Точка	400	67	20	43	60	65	62	50	40	40	38
20	Точка	400	60	20	30	39	43	39	41	43	52	56
21	Точка	401	59	25	30	35	40	43	44	50	59	57
22	Точка	401	63	19	34	36	37	41	43	42	49	53
23	Точка	401	61	23	29	42	43	46	47	48	58	62
24	Точка	401	60	8	23	31	36	37	38	37	45	47
25	Точка	401	66	10	24	31	39	45	44	45	57	54
26	Точка	401	59	23	34	40	43	45	44	43	50	52
27	Точка	401	59	21	36	40	53	43	43	42	50	53
28	Точка	401	63	24	37	41	42	45	45	44	57	54
29	Точка	401	53	28	38	39	39	40	43	41	42	42
30	Точка	401	59	19	30	35	37	49	51	49	58	59
31	Точка	401	71	20	21	31	41	43	50	56	63	65
32	Точка	402	70	18	40	45	43	46	53	45	43	41
33	Точка	402	54	9	24	38	42	42	45	45	47	50
34	Точка	402	58	25	36	45	46	47	46	45	48	50
35	Точка	402	60	34	37	38	45	53	52	45	57	58
36	Точка	402	69	37	53	61	60	60	57	56	52	49
37	Точка	402	66	25	32	39	50	58	60	57	55	50
38	Точка	402	62	25	37	39	51	57	59	51	49	47
39	Точка	402	64	30	32	43	50	56	54	52	54	50
40	Точка	402	66	20	39	45	55	55	58	54	54	50
41	Точка	402	67	35	51	63	61	60	61	57	55	54
42	Точка	403	68	39	50	62	64	58	60	58	57	56
43	Точка	403	56	27	38	43	53	53	54	53	50	44
44	Точка	403	67	25	31	47	58	59	60	58	48	46
45	Точка	403	68	31	42	49	54	63	69	59	55	54
46	Точка	403	66	23	39	45	56	54	55	46	42	45
47	Точка	403	65	21	40	45	47	65	67	51	53	51
48	Точка	403	60	26	39	49	52	53	60	55	50	45
49	Точка	403	57	27	42	43	44	50	52	50	45	42
50	Точка	403	59	21	25	30	48	47	49	48	47	46
51	Точка	403	62	37	49	52	54	56	59	59	57	58
52	Точка	404	64	39	50	57	56	57	59	58	56	57
53	Точка	404	60	27	36	42	48	57	56	55	54	51
54	Точка	404	60	24	43	57	58	49	50	49	47	57
55	Точка	404	71	28	42	45	51	63	66	64	65	61
56	Точка	404	61	9	18	31	38	43	42	45	44	42
57	Точка	404	63	1	13	16	30	42	43	41	42	41
58	Точка	404	84	19	33	40	43	44	44	46	47	48
59	Точка	404	54	19	29	30	38	40	39	36	38	39
60	Точка	404	63	15	38	43	47	54	58	54	59	61
61	Точка	404	73	15	18	37	38	41	43	47	47	46
62	Точка	405	67	22	37	38	37	43	46	45	51	58
63	Точка	405	59	27	38	40	38	40	40	45	50	48
64	Точка	405	65	18	37	50	48	50	52	50	51	50
65	Точка	405	61	24	40	44	51	53	59	55	56	54
66	Точка	404	63	15	38	43	47	54	58	54	59	61
67	Точка	405	61	30	38	43	46	54	48	44	56	57

Рисунок 5 – Все измеренные спектры шума – общая таблица атрибутов

Каждой точке измерения соответствует одна строка в такой таблице атрибутов.

Поля FID, и ID отвечают за нумерацию точек. Поле Shape* определяет тип объекта (т.е. означает, что это именно точка измерений). Остальные созданы самостоятельно автором для своих акустических целей.

Количество возможных создаваемых полей (т.е. вертикальных колонок), вероятно, всё же конечно, однако оно, вероятно, огромно и явно превышает все мыслимые потребности. Экспериментатор сам создаёт нужные ему поля. Для наших, акустических целей, очевидно, потребовалось создать по меньшей мере 10 полей (рис. 5). Поле SPL (ещё раз оговариваем – названия полей устанавливает сам экспериментатор) в нашей таблице

атрибутов предназначено для занесения значений уровней звука, дБА; поля dB31.5, dB63, dB125, dB250, dB500, dB1000, dB2000, dB4000, dB8000 – уровней звукового давления, дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами соответственно 31,5; 63; 125; 250 и 500 Гц; 1; 2; 4 и 8 кГц.

Таким образом, процесс натурных измерений шума очень лёгок во всех отношениях – характеризуется крайне низкой трудоёмкостью и очень высокой степенью автоматизации, требует наличия приборов крайне малой массы и размеров (вес современных шумомеров и КПК измеряется в граммах), и выдвигает невысокие требования к производителю измерений: (лаборант может иметь неполное среднее образование и должен лишь быть обучен обращению с КПК и шумомером).

Всем понятно, что шум в ночное время в одной и той точке крайне сильно отличается от шума в дневное время. Если есть в том необходимость, можно создать любое количество полей. Одни относятся к дневным измерениям, а другие – к ночным. На рис. 5 с целью удободоступности объяснения авторы принудительно скрыли отображение ряда полей. Они есть в таблице атрибутов, но искусственно сделаны невидимыми. На рис. 5 визуализированы только те поля, по данным которых построены карты шума на последующих рисунках 9-13.



Рисунок 5 – Карта шума исследуемого района (построено по показателю: уровень звука, дБА)

На рис. 6 приведена карта шума исследуемого района, характеризующая распределение уровней звука (в дневное время), выраженных в дБА. На последующих иллюстрациях представлено ещё 9 карт шума, каждая из которых построена для распределения шума в каждой из

стандартизованих октавних полос частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 1000; 2000; 4000; и 8000 Гц. Для уменьшения количества рисунков на всех иллюстрациях представлен только шум в дневное время. Имеются данные акустических измерений на той же территории, но в ночное время, по которым было построено ещё 10 карт шума. Они, естественно отличаются значениями количества децибел (в меньшую сторону, т.к. ночью – тише), но принцип построения – тот же, и очертания ночных зашумлённых зон в общем виде на них повторяют дневные.

Сопоставление ночного и дневного шума для одной и той же территории (но только в соседнем районе городской застройки) приведено в работе [8].

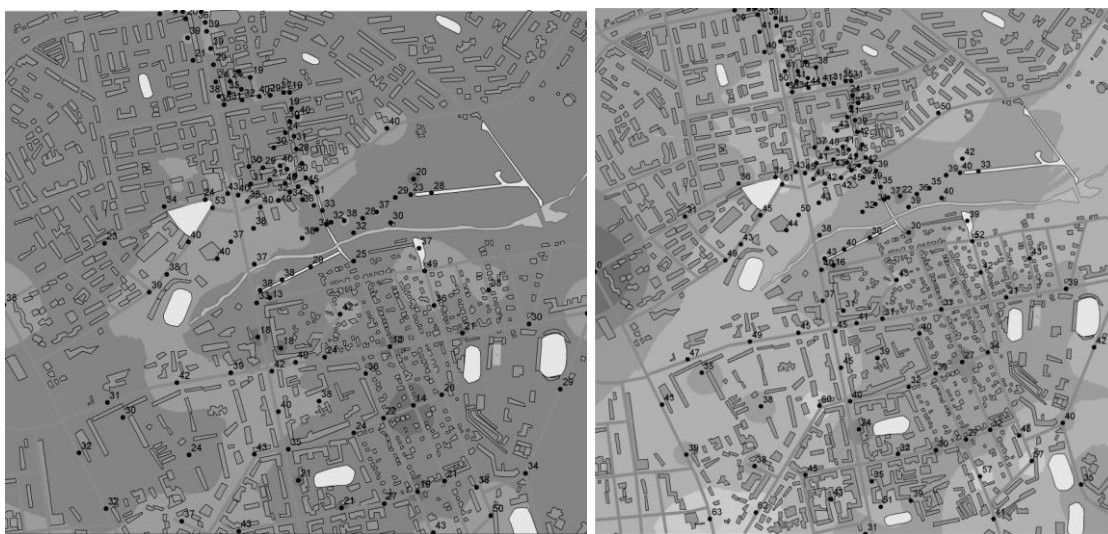


Рисунок 7 – Карты шума того же района (построено по показателю: уровень звукового давления, дБ в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 63 Гц и 125 Гц соответственно)



Рисунок 8 – Карты шума того же района (построено по показателю: уровень звукового давления, дБ в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 250 и 500 Гц соответственно)



Рисунок 9 – Карты шума того же района (построено по показателю: уровень звукового давления, дБ в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 1000 и 2000 Гц соответственно)

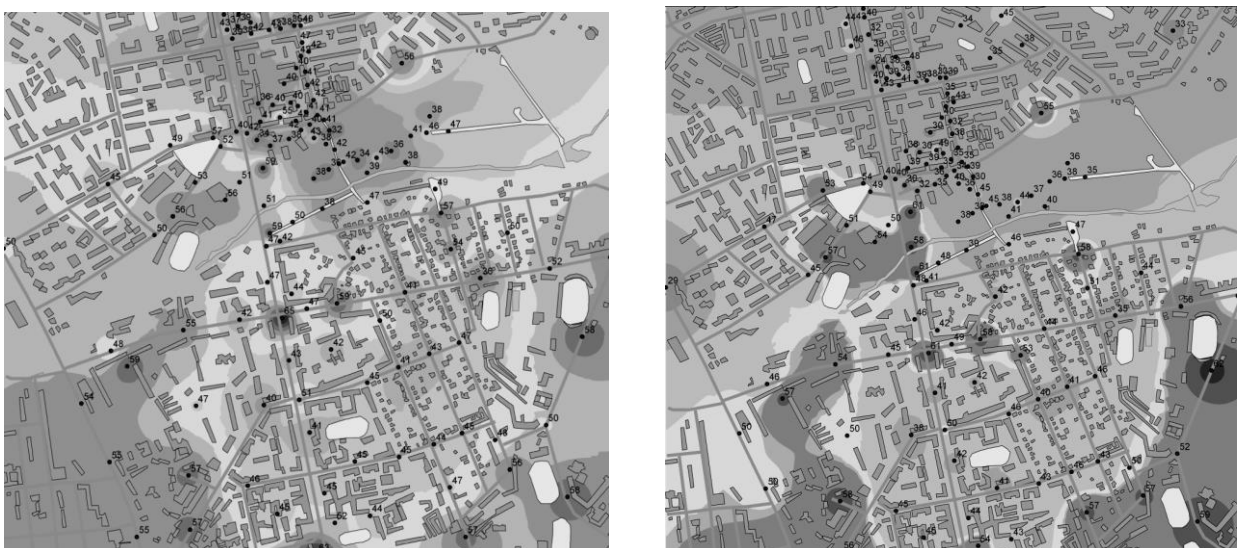


Рисунок 10 – Карты шума того же района (построено по показателю: уровень звукового давления, дБ в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 4000 и 8000 Гц соответственно)

Создание карт шума позволяет осуществлять мониторинг акустического загрязнения окружающей среды, изучить закономерности распространения шума в городской застройке, корректировать проектные решения (рис. 11) и т.п.

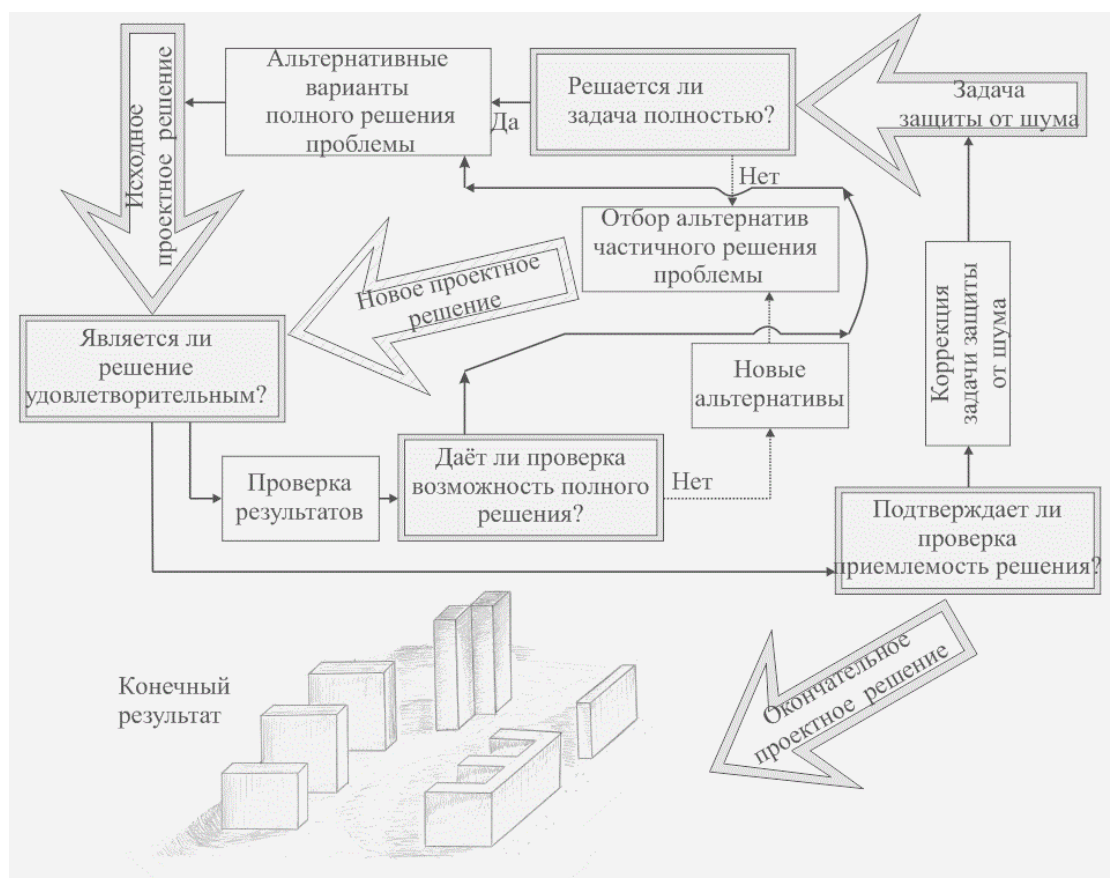


Рисунок 11 – Методическая блок-схема последовательности этапов решения и разработки шумозащиты от целевой задачи к проектному решению

Выводы: в работе рассмотрена методология создания карт шума населенных мест с использованием прикладного программного обеспечения ArcGis. В качестве территории, подлежащей исследованию, был избран густонаселенный район в центральной части г. Харькова. На базе непосредственных натурных измерений созданы карты шума: общая, построена по показателю: уровень звука, дБА; и карты спектрального анализа шума, построены по показателю уровень звукового давления, дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-12-77. Нормы проектирования. Защита от шума. – М. : Госстрой СССР, 1977.
2. Марков С. Б. Опыт построения карт шума в условиях сложной городской застройки с помощью программного комплекса EXNOISE // Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики [Труды IV Международной научно-практической конференции (20-21 марта 2008 г., Санкт-Петербург)] – СПб. : Изд-во МАНЭБ, 2008. – С. 42-48.
3. Абрамитов В. Э. Натурные исследования шумового режима на территории г. Киева / В. Э. Абрамитов, О. Ю. Никитченко // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 62. – С. 267-273.

4. Абракітов В. Е. Картографування шумового режиму центральної частини м. Донецьк / В. Е. Абракітов, О. Ю. Нікітченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : научн.-техн. сб. – Дн-ск : ПГАСА, 2011. – Вып. 62. — С. 10-14.

5. Абракітов В. Е. Картографування шумового режиму центральної частини міста Харкова : монографія / В. Е. Абракітов. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 66 с.

6. Абракітов В. Е. Моделювання в акустиці : монографія / В. Е. Абракітов. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 227 с.

7. Пат. 51229 Україна, МПК04В 1/82. Спосіб ослаблення інтенсивності звукових хвиль / Абракітов В. Е. – Опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13.

8. Абракизов В. Э. Экспериментальные исследования шумового режима в Салтовском жилом массиве г. Харькова / В. Э. Абракизов // Комунальне господарство міст : НТЗ. – Харків: ХНАМГ, 2011. – Вип. № 99. – С. 71-75.

Абракітов В.Е., Абракітова Н.В., Селіванов С.Є. КАРТОГРАФУВАННЯ ШУМОВОГО РЕЖИМУ У МІСТІ ХАРКОВІ І ІНШИХ СУЧАСНИХ МІСТАХ

Проблема боротьби з шумом нині придбаває особливу актуальність. Один з напрямів її рішення – вивчення шумового режиму міських територій. Це здійснюється за рахунок побудови карт шуму. Нашим особистим вкладом стало створення карти шуму декількох українських міст.

Ключові слова: шум, шумовий режим, міські території, карти шуму.

Abrakitev V.E, Abrakitova N.V., Selivanov S.E. MAPPING OF THE NOISE MODE IN THE CITY OF KHARKOV AND OTHER MODERN CITIES

The problem of the improvement existing facilities of the fight with noise actual. One of the directions of its decision - a study of the noise mode in town. This is realized for count of the building of the cards of the noise. Personal contribution was a making the card of the noise of the Ukrainian city.

Keywords: noise, a noise mode, city territories, noise cards.

ОЦЕНКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДНЕПРОВСКО-БУГСКОМ ЛИМАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Александрова Н.Г., Степкова В.В.,

Херсонская государственная морская академия

Рассмотрены возможности использования корреляционного анализа для оценки закономерностей распределения органического вещества при учете фактора глубины и особенностей разных районов Днепроовско-Бугского лимана.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент корреляции, органическое вещество, хлориды, перманганатная окисляемость.

Постановка проблемы. Обеспечение экологической безопасности, защита низовья Днестра и Южного Буга от техногенного влияния обуславливает необходимость исследования особенностей формирования гидрохимического режима в Днепроовско-Бугском лимане, с целью выявления взаимосвязи органического вещества и солености в этом лимане от различных гидрологических факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Статья написана на основании данных исследований 1981-2007гг., в том числе данных мониторинга 1985-88гг. В ее основу положены материалы, характеризующие органическое вещество по показателям перманганатной окисляемости, как в различных районах лимана, так и по-слоино. Поскольку в Днепроовско-Бугском лимане постоянно присутствуют сгонно-нагонные явления, кроме того синхронно анализировались материалы по изменению солености по хлоридам, что помогло выявить уровень взаимосвязи органического вещества в лимане и солености. Для исследований взяты средние по водности годы. В 1985 исследования проводились в августе, а в 1986 и 1987 гг. они затронули все летние месяцы и октябрь, в 1988 г. исследования проводились в апреле. Отбор проб воды производился по-слоино.

Постановка задачи. Использование корреляционного анализа определяется необходимостью выявления закономерностей распределения органического вещества в лимане. При этом использование компьютерных технологий обеспечивает возможность быстрого выявления линейных зависимостей между факторами.

Изложение основного материала. Одной из главных задач при статистической обработке гидрохимических данных является определение и оценка зависимости между концентрациями разных компонентов и факторами их формирования.

Для того, чтобы определить, существует ли линейная зависимость между рассматриваемыми компонентами необходимо провести корреляционный анализ.

Для количественной оценки корреляционной связи используют коэффициент корреляции (R). Коэффициент корреляции, или индекс

корреляции, показывает насколько значимым является влияние переменной x_i на y_i (где y_i – фактические индивидуальные значения результирующего показателя, x_i – фактические индивидуальные значения входящего показателя). Чем ближе коэффициент корреляции к единице, тем теснее связь между независимой и зависимой переменными.

Если связь между результирующим и входящим показателями линейная, то используется линейный коэффициент корреляции (r). Значение r лежит в диапазоне от -1 до $+1$. При $r = 0$ переменные не могут иметь линейной корреляционной связи. Степень тесноты их линейной зависимости возрастает при приближении r к ± 1 . Если $r > 0$, то связь между показателями прямая, если $r < 0$ – обратная [1].

Днепровско-Бугская устьевая область включает в себя низовье Днестра с поймой, развитой дельтой, множеством пойменных водоемов (протяженность 102 км, площадь 492 км²) и устьем р. Ингулец, низовья Ю. Буга (протяженность 132 км) и Днепровско-Бугский эстуарий-лиман (протяженность 63 км, площадь 928 км²) с Днепровским (55 км) и Бугским (47 км) отрогами. Уникальный ландшафт, богатство флоры и фауны Днепровско-Бугской устьевой области обусловлены ее геологическим прошлым: трансгрессиями (наступлениями) и регрессиями (отступлениями) морских вод, перемещением русла и устья древнего Днестра с востока к западу.

Специфической особенностью формирования гидрохимического режима, и в частности, режима органического вещества в Днепровско-Бугском лимане является его высокая биологическая продуктивность, что связано с биологическими циклами развития водных организмов в течение года, поступление речного стока из Каховского водохранилища, замыкающего днепровский каскад водохранилищ и наличие постоянного контакта с Черным морем, сопровождающегося процессами смешения речных и морских водных масс. Наблюдаемые в водоеме сгонно-нагонные явления способствуют активизации процессов формирования органического вещества за счет разложения высокой биомассы планктонных организмов [2, 3, 4], а также седиментации и коагуляции. Все эти факторы создают благоприятные условия для развития и жизнедеятельности растительных и животных водных организмов.

Экологическая безопасность, защита низовья Днестра и Южного Буга от полного уничтожения, безопасность судоходства – все эти проблемы требуют комплексного решения. Для Днепровско-Бугского лимана, до сегодняшнего дня, не решена проблема складирования, экологически безопасного хранения и утилизации донного ила – сапропеля. Он образуется в огромных количествах в процессах разложения органического вещества.

На основе анализа попусков воды из нижнего бьефа Каховской ГЭС за период с 1955 по 2010 гг. выявлено, что годовой сток Днестра в нижнем бьефе Каховской ГЭС в среднем составляет 43 км³. Однако на протяжении всего этого большого периода встречаются как многоводные годы, так и

маловодные годы. Так, многоводными были 1958г. (66 км^3), 1971г. – 82, 1982 – 59, 1998 – 57, 1994 – 52 км^3 . Маловодными годами являются 1960 – 23 км^3 , 1964 – 26, 1972 – 26 км^3 , 1984 – 24, 1992– 25, 1997 г. – 29 км^3 .

Несмотря на подобные колебания годового стока не менее важно для происходящих в лимане процессов – внутригодовое распределение стока. Исследованиями ученых Института гидробиологии НАН Украины выявлено, что для поддержания самоочищающей способности Днепроовско-Бугской устьевой области, расходы воды в нижнем бьефе Каховской ГЭС не должны быть менее $500 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако в некоторые годы особенно в летнее время таковые встречаются, что показано в таблице 1. На примере приведенных материалов видно, что в летний период, а иногда начиная с весны, расходы в нижнем бьефе Каховской ГЭС понижаются до минимума, т.е. находятся в пределах: 450 - $600 \text{ м}^3/\text{с}$. Как правило, такие низкие попуски относятся не только к маловодным годам, но и к средним по водности и даже к многоводным.

Таблица 1 – Внутригодовое распределение стока воды в нижнем бьефе Каховской ГЭС

Среднемесячные расходы воды в низовье Днепра, $\text{м}^3/\text{с}$													
года		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Годовой сток, км^3
1957	979	1360	1880	2560	2740	1470	1150	826	510	710	695	1650	43,7
1959	2410	1870	2490	2050	1720	1400	523	424	424	697	1050	1520	43,7
1960	560	800	1380	1450	408	358	498	303	250	583	684	1440	23,0
1965	1360	1260	1180	898	470	580	503	715	737	977	1250	938	28,7
1967	1800	2190	2830	2190	2950	1520	746	557	524	672	1120	1090	48,2
1968	1600	1890	2060	1130	1530	862	585	481	686	895	1320	1300	37,7
1972	2340	1350	449	528	732	468	501	434	548	877	883	997	26,7
1979	1991	2288	2657	4676	3695	851	384	585	580	602	993	1139	49,5
1984	672	1772	724	448	414	359	477	555	662	500	946	1545	23,9
1985	1920	1869	1911	1004	1101	1555	1307	987	635	865	1714	1579	43,4
1986	1650	1891	2272	1845	2243	1376	614	391	394	843	944	1166	41,3
1987	1619	1372	1309	480	1130	1760	1200	639	781	1107	1313	1143	36,6
1990	1098	1403	1325	1514	1160	685	571	579	564	1172	1154	2095	35,2
1999	2099	2337	2700	3210	3313	1559	1049	529	547	1122	1549	1798	57,6
2002	1193	1742	1342	1587	809	797	503	525	588	878	1355	1027	32,7
2007	1569	1512	1770	1108	1164	769	537	514	549	926	1363	1170	35,4

Кроме попусков Каховской ГЭС, влияющих на формирование гидрохимического режима Днепроовско-Бугского лимана немаловажное значение в распределении органического вещества играет неравномерность дна в самом лимане. Особенность лимана в том, что по его дну проходит судоходный канал как до г. Херсона, так и до г. Николаева. Глубины канала колеблются от 11 до 14 м. (рис. 1)

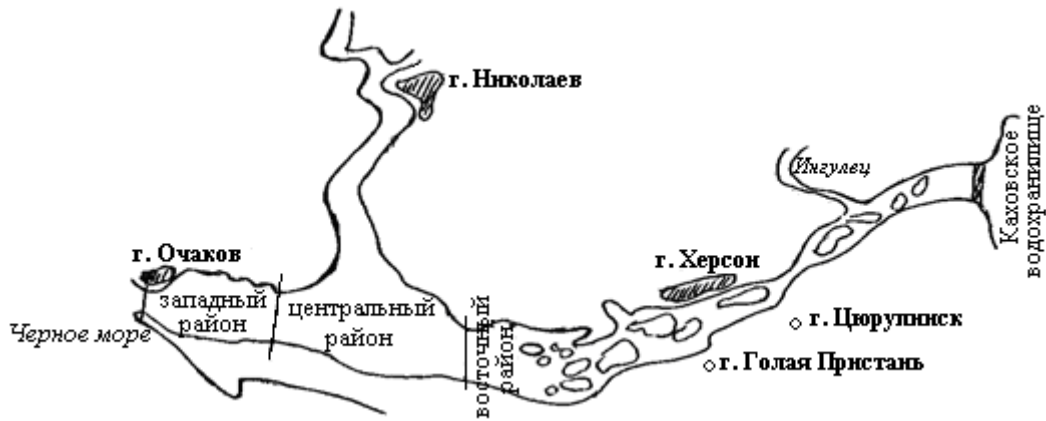


Рисунок 1 – Карта-схема устьєвої області Дніпра

Наблюдения показали, что при проникновении морской воды в лиман происходит расчленение его водной массы на два плотностных слоя, различных по своим физическим и химическим свойствам: сверху – пресная, внизу – соленая. При этом увеличиваются вертикальные и горизонтальные градиенты содержания в воде хлорид-ионов до $6-9 \text{ г/дм}^3$. Устойчивость плотностной стратификации слоев определяется не только величиной объема попусков воды из Каховского водохранилища в нижний Днепр, но и амплитудой суточных колебаний этого объема. Если они достигают $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ и более, то стратификация теряет свою устойчивость, линия раздела становится волнообразной, а слой смешенной воды начинает захватывать все более значительные участки акватории (рис. 1). В этом случае максимальная концентрация органического вещества наблюдалась в западном районе, заполненном морской водой, в котором оно содержится по всей толще воды в концентрациях $19,0-20,0 \text{ мгО/дм}^3$. Такое распределение создается в результате действия двух противоположно направленных процессов: волнообразного поступления со стороны Днепра массы речной воды и препятствующего ее продвижению плотной массы, морской. Это приводит к скоплению в западном района сестона, относительно равномерному распределению его по глубине и снижению интенсивности процессов минерализации органического вещества. Концентрация органического вещества уменьшается к устью Днепра: в центральном районе – до $10,0-13,0 \text{ мгО/дм}^3$, а в восточном – $5,5-8,0 \text{ мгО/дм}^3$. На основании мониторинга были выявлены зависимости органического вещества и хлоридов в канале, которые показали что наиболее тесная корреляционная зависимость органического вещества, как растворенного, так и взвешенного, от хлоридов прослеживается по всему лиману в 4-х метровом слое воды, при этом наиболее сильная связь растворенного органического вещества от солености определена в восточном районе, а слабая – в центральном районе Днепроовского лимана [3, 5].

Основными факторами формирования режима органического вещества является сток Днепра и Южного Буга, водообмен с Черным морем, гидрометеорологические условия в исследуемом районе, жизнедеятельность гидробионтов. Высокая концентрация органического вещества за период

исследований обусловлена не только изменением внутригодового перераспределения стока, так и увеличившимся количеством автохтонного органического вещества.

Гидрометеорологические условия (температура, водообмен, направление ветра, сгонно-нагонные явления) оказывают влияние на содержание и распределение органического вещества по акватории лимана. Концентрация органического вещества в значительной степени зависит от суммы температур к моменту исследований, от чего зависит уровень развития гидробионтов, в частности фитопланктона и макрофитов.

Необходимо отметить, что связь концентрации органического вещества с температурой зависит от других одновременно действующих факторов, в частности, наличия температурной и плотностной стратификации в водоеме.

Проанализировав данные за 1981-1985 гг. были построены линейные модели парной регрессии [7]:

I. Зависимость значений взвешенного органического вещества (BOB) от хлоридов (Cl) по створам учитывая фактор глубины, т.е модель вида $BOB = f(Cl)$.

Доказано, что связи между факторами уменьшаются от поверхности ко дну лимана. Коэффициент корреляции в поверхностном слое и на глубине 4 м соответствует значению близкому к 0,5. Уравнение регрессии при этом имеют следующий вид: 1) на поверхности: $BOB = 5,578 - 0,0036 Cl$; 2) на глубине 4 м: $BOB = 2,585 - 0,0044 Cl$.

Графики, на которых отложены исходные данные и теоретические прямые, соответствующие полученным уравнениям, приведены на рис. 2, 3.

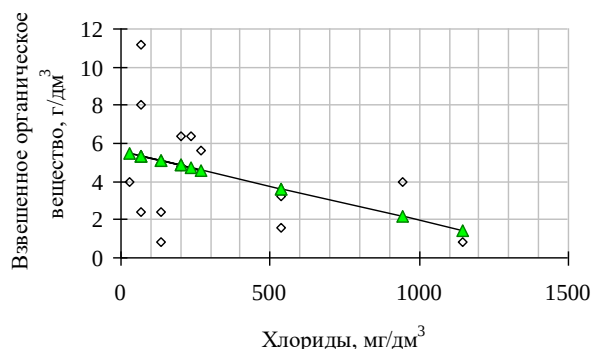


Рисунок 2 — Зависимость взвешенного органического вещества от хлоридов в поверхностном слое лимана

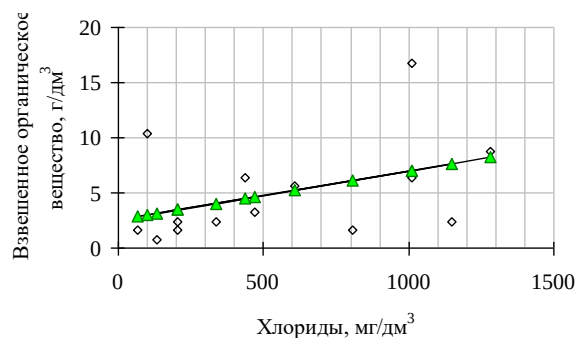


Рисунок 3 — Зависимость взвешенного органического вещества от хлоридов в четырехметровом слое лимана

II. Зависимость значений растворенного органического вещества (POB) от хлоридов (Cl) по створам учитывая фактор глубины, т.е модель вида $POB = f(Cl)$.

Проведенные исследования показали, что наиболее тесная связь между факторами прослеживается на глубине 4 м (рис. 4). Коэффициент корреляции при этом $r = 0,4$. Уравнение регрессии имеет вид: $POB = 11,446 - 0,0041 Cl$.

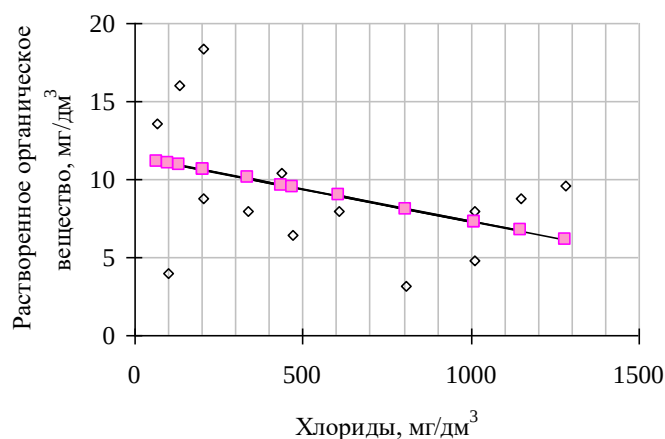


Рисунок 4 – Зависимость растворенного органического вещества в четырехметровом слое лимана

III. Зависимость ВОВ от хлоридов, при учете разных районов лимана.

Были рассмотрены западный, центральный и восточный районы. Определено, что самая слабая связь наблюдается в центральном районе, что обусловлено неустойчивой гидрологической ситуацией и влиянием Бугского лимана. Более тесная связь присутствует в восточном районе ($r = 0,45$; рис. 5)

IV. Зависимость РОВ от хлоридов, при учете разных районов лимана. В этом случае слабая связь – в центральном районе, а самая сильная связь – в восточном районе лимана ($r = 0,65$; рис. 6)

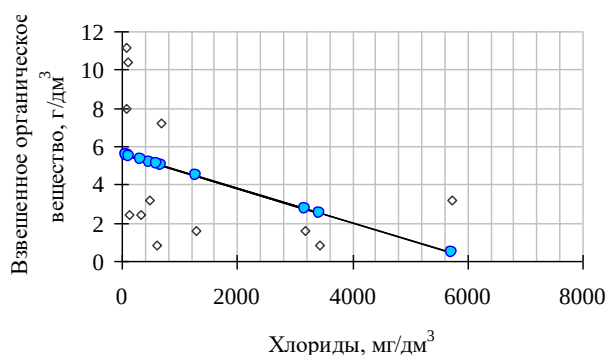


Рисунок 5 – Зависимость значений взвешенного органического вещества от хлоридов в восточном районе лимана

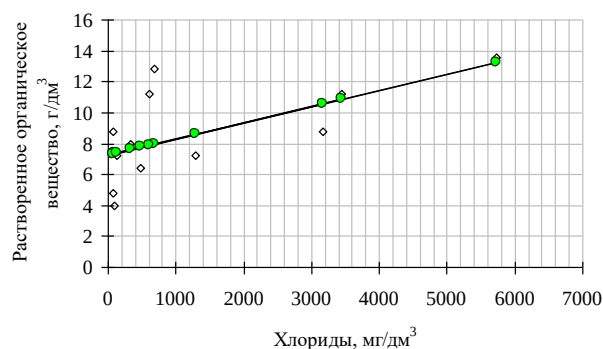


Рисунок 6 – Зависимость значений растворенного органического вещества от хлоридов в восточном районе лимана

Как видно из графиков, а также значений коэффициентов корреляции достаточно тесная связь наблюдается в модели $POB = f(CL)$ в восточном районе лимана (рис. 6).

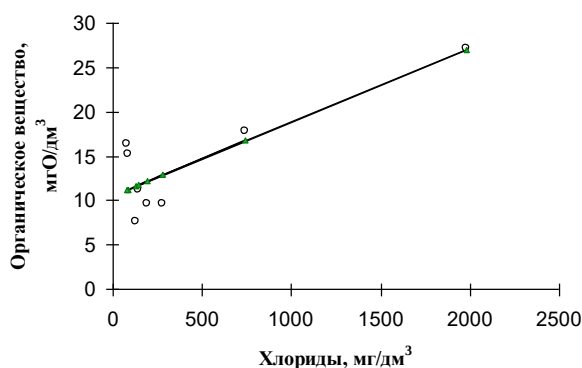


Рисунок 7 – Зависимость значений органического вещества от хлоридов по акватории восточного района Днепровского лимана в поверхностном слое на фарватере

$$OB = 10,5810 + 0,0082Cl$$

$$r = 0,8522$$

- правый берег: $OB =$

$$6,9649 + 0,0083Cl$$

$$r = 0,8628$$

- левый берег: $OB =$

$$9,8229 + 0,0067Cl$$

$$r = 0,2463$$

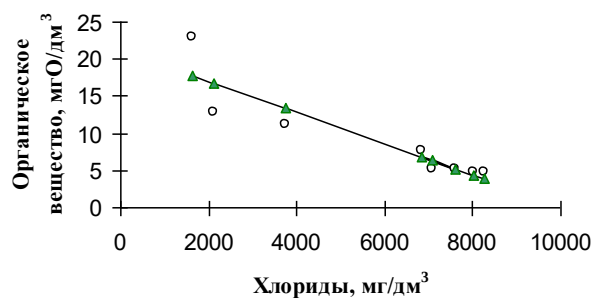


Рисунок 8 – Зависимость значений органического вещества от хлоридов по акватории центрального района Днепровского лимана в придонном слое на фарватере

$$OB = 21,2334 + 0,0021Cl$$

$$r = 0,9053$$

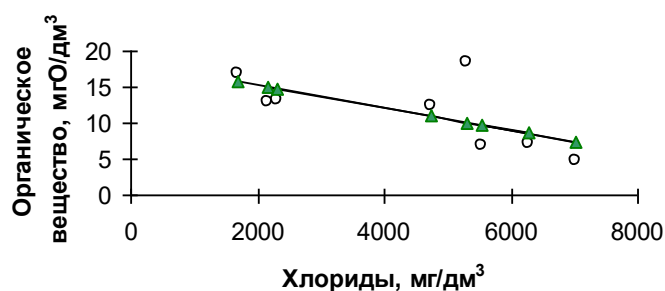


Рисунок 9 – Зависимость значений органического вещества от хлоридов по акватории Бугского лимана в придонном слое на фарватере

$$OB = 18,2783 - 0,0015Cl$$

$$r = 0,6459$$

Выводы. Таким образом, наиболее тесная корреляционная зависимость органического вещества, как растворенного, так и взвешенного, от хлоридов прослеживается по всему лиману в 4-х метровом слое воды, при этом наиболее сильная связь растворенного органического вещества от солёности определена в восточном районе, а слабая – в центральном районе Днепровского лимана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лугинін О. Є. Економетрія : навч. пос. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 278 с.
2. Жукинский В. Н., Журавлева Л. А., Иванов А. И. и др. Днепровско-Бугская эстуарная система. – К. : Наукова думка, 1989. – 374 с.
3. Журавлева Л. А. Гидрохимия устьевой области Днепра и Южного Буга в условиях зарегулированного стока. – К. : Наук. думка, 1988. – 176 с.
4. Тимченко В. М. Эколого-гидроэкологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.
5. Александрова Н. Г. Роль стока органического вещества из р.Днепр в Черное море как результат влияния производственной деятельности : Матеріали другої Міжнародної науково-практичної конференції [Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010)], Том 2. – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2010. – 348 с.
6. Александрова Н. Г., Степкова В. В. К вопросу о закономерностях распределения органического вещества в Днепровском лимане : Збірник наукових статей до Міжнародної науково-практичної конференції [Екологічні проблеми Чорного моря» (28-29 жовтня 2010, Одеса)]. – Одеса : Інноваційно-інформаційний центр «ІНВАЦ», 2010. – С. 310.
7. Шалабанов А. К., Роганов Д. А. Практикум по эконометрике с применением Ms Excel. – Казань : ТИСБИ, 2008. – 53 с.

Александрова Н.Г., Степкова В.В. ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ В ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКОМУ ЛІМАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

Розглянуті можливості використання кореляційного аналізу для оцінювання залежностей розподілу органічної речовини із урахуванням фактору глибини та особливостей різних районів Дніпровсько-Бузького ліману.

Ключові слова: кореляційний аналіз, коефіцієнт кореляції, органічна речовина, хлориди, перманганат на окисність.

Александрова Н.Г., Степкова В.В. ОЦЕНКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДНЕПРОВСКО-БУГСКОМ ЛИМАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Рассмотрены возможности использования корреляционного анализа для оценки закономерностей распределения органического вещества при учете фактора глубины и особенностей разных районов Днепровско-Бугского лимана.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент корреляции, органическое вещество, хлориды, перманганатная окисляемость.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ АЭРОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ

Кулиш Ю.А.,

Харьковский национальный университет гражданской защиты Украины,

Селиванов С.Е.,

Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрен аэромобильный комплекс аварийно-спасательных и других неотложных работ, который представляет собой перспективную структуру – совокупность элементов системы и связей между ними. Для данной структуры вводится понятие графа мобильных связей, позволяющего дать наглядную информацию о составе и структуре системы, показать вероятностные структурно-топологические характеристики графов мобильных связей между элементами структуры аварийно-спасательного комплекса в различных условиях его функционирования, что дает возможность решать широкий круг задач гражданской защиты с заданными показателями эффективности и качества.

Ключевые слова: аэромобильный комплекс, система, структура, мобильные связи, граф, характеристики графа.

Введение. Для скорейшего реагирования на создавшуюся в определенном регионе чрезвычайную ситуацию (ЧС) используют авиационные средства для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР). Высокая мобильность, оперативность и дальность действия авиационных средств позволяет в кратчайшие сроки прибыть в зону возникновения ЧС и своевременно начать проведение АСДНР.

На сегодня в рамках действующей единой государственной системы предупреждения и реагирования (ЕГСПР) на ЧС техногенного и природного характера функционирует перспективная аэромобильная система.

С целью устранения неоднозначности определения систем различного уровня в дальнейшем перспективную аэромобильную систему организационно будем рассматривать как аэромобильный комплекс (АМК), в состав которого входят силы и средства проведения АСДНР.

Аэромобильный комплекс объединяет весь район ответственности Украины за поиск и спасение, который в свою очередь распределен на зоны ответственности региональных координационных центров (РКЦ) по поиску и спасению МЧС Украины. Зоны ответственности региональных координационных центров (РКЦ) совпадают с границами ответственности регионального центра управления воздушного движения (РЦ УВД) или регионального центра обслуживания воздушного движения (РЦ ОВД).

Организованы следующие пять региональных центров управления воздушным движением: Харьковский, Львовский, Бориспольский, Симферопольский и Одесский.

Дислокація, т.е. разнесенные авиационные группировки в Украине показаны на рис. 1.

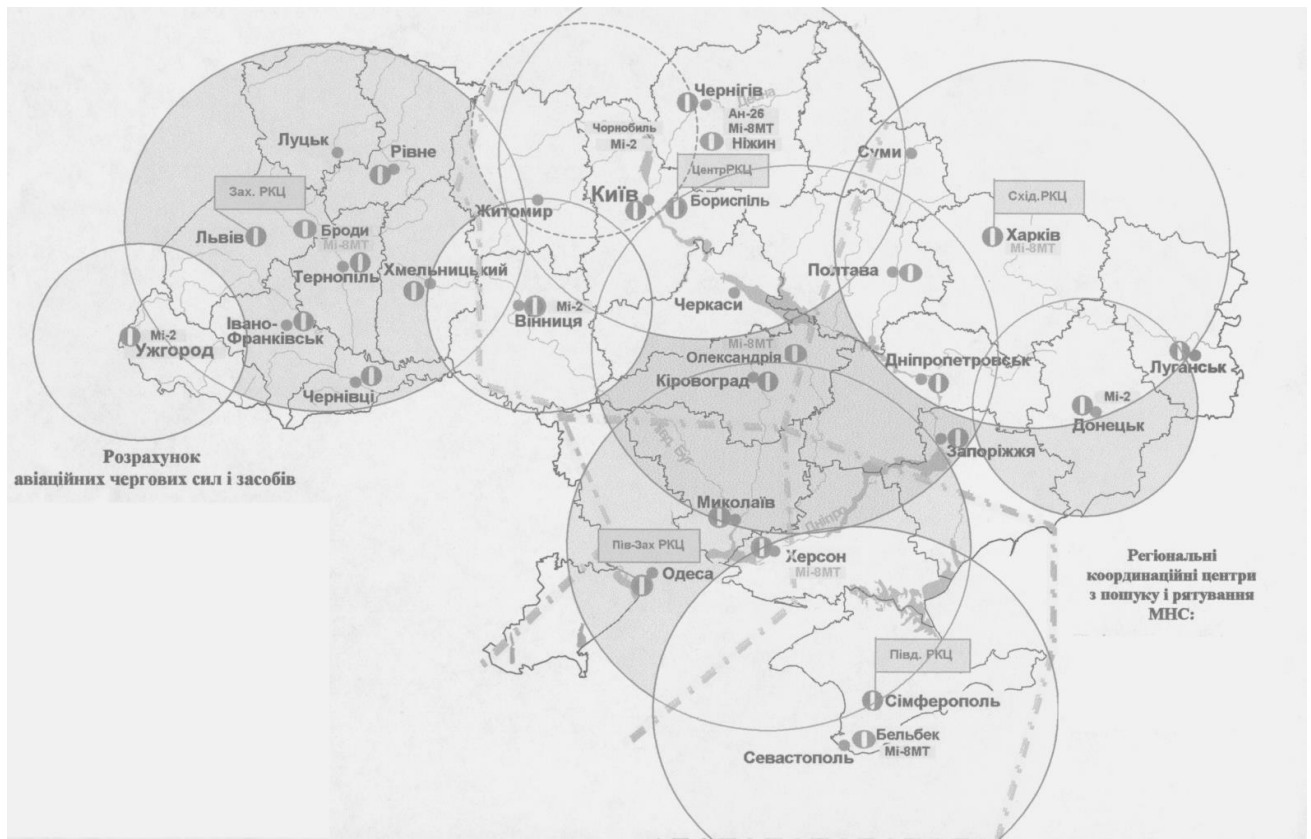


Рисунок 1 – Дислокація РКЦ: західний – г. Львів; юго-західний – г. Одеса; южный – г. Сімферополь; центральний – г. Бориспіль; східний – г. Харків.

АМК АСДНР представляє собою перспективну структуру.

Отметим, что структура это совокупность элементов системы и связей между ними. Модель структуры должна отображать отношения элементов, как между собой, так и с внешней средой. Общая задача структурного анализа – исходя из заданного описания элементов, получить некое представление о свойствах системы в целом и о свойствах подсистем.

Целью данной статьи является введение графа мобильных связей, позволяющего дать наглядную информацию о структуре перспективной аэромобильной системы в состав которой входят силы и средства проведения АСДНР.

Для исследования структурных свойств перспективного АМК АСДНР выбраны варианты его возможного построения для условий мирного времени, поскольку при отсутствии ЧС режим функционирования АМК АСДНР можно рассматривать как дежурный режим мирного времени.

Анализ возможных вариантов структуры перспективного АМК АСДНР показывает, что в его облике должны просматриваться структурные построения мирного и военного времени, позволяющие решать широкий круг задач гражданской защиты с заданными показателями эффективности и качества.

Для достижения цели в статье была поставлена **задача** – использовать методы теории графов для исследования устойчивости мобильных связей между элементами структуры перспективного аэромобильного комплекса в различных условиях его функционирования.

Функциональные свойства различных вариантов его построения описываются с помощью введения числовых функций на графе. На сегодняшний день теория графов получила статус весьма актуальной отрасли науки.

Изложение основного материала. Известно, что любую структуру в данном случае АМК АСДНР можно представить графами (граф, от греческого *ураφω* – пишу) и тем самым исследовать их структурные свойства.

Граф – это наглядная информация о составе и структуре системы, представленная в графической форме [1-3].

Граф состоит из обозначений элементов системы, называемых вершинами – n , и обозначений связей между ними, называемых ребрами – m , которые изображены линиями. Если узлы графа не нумерованы, то ребра являются неориентированными. У графа с нумерованными узлами ребра ориентированы. Множество ориентированных ребер составляет ориентированный граф.

Наибольшей популярностью теоретико-графовые модели используются при исследовании систем сетевой структуры.

Для использования методов теории графов для данной структуры вводится понятие графа мобильных связей, характеризующего вероятностные характеристики устойчивости мобильных связей между элементами структуры перспективного АМК в различных условиях его функционирования.

Существующий авиационные группировки рассматривается как вершины, а связи между ними при выполнении спасательных работ при ЧС – как ребра. Применение различных вычислений, производимых на таком графе, позволяет спланировать оптимальный маршрут.

Существует ряд способов задания графов. Для решения конкретной задачи можно выбрать тот или иной способ, в зависимости от удобства его применения.

Одной из важнейших характеристик графа мобильных связей является его связность.

Если для любых двух вершин графа существует хотя бы один соединяющий их путь – граф называется связным. Связность может быть не только качественной характеристикой графа (связный/несвязный), но и количественной.

Количественная связность характеризует количество связей между вершинами графа (связный граф – это граф, в котором между любыми двумя вершинами есть путь). Если полный граф (простой граф, в котором каждая пара различных вершин смежна) имеет всего вершин n штук, каждая

соединена с $n - 1$ вершиной – получаем произведение $n(n - 1)$, но мы считаем каждое ребро два раза, значит, надо произведение разделить на два, и тогда получим искомую формулу для нахождения количества ребер: $\frac{n(n - 1)}{2}$.

Следовательно, полный граф с n вершинами имеет $\frac{n(n - 1)}{2}$ ребер и обозначается K_n (граф называется K – связным, если каждая его вершина связана с K других вершин. Это утверждение известно из курса школьной физики как правило Кирхгофа применяемого для решения систем линейных уравнений, описывающих работу электрических цепей).

Для неориентированного графа с n вершинами минимальное число связей в структуре не может превышать числа $\frac{n(n - 1)}{2}$. Для ориентированного графа число связей не может быть меньше $n - 1$, иначе какие-то вершины окажутся изолированными от остальных вершин графа.

Для определения числа связей в графе используется матрица связности [4]. Эта характеристика графа важна для оценки устойчивости функционирования АМК АСДНР.

Для неориентированных графов связность всех элементов в структуре соответствует выполнению условия:

$$\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \geq n - 1, \text{ при } i \neq j. \quad (1)$$

В соотношении (1) a_{ij} – элементы матрицы смежности вершин графа. Правая часть (1) определяет необходимое минимальное число связей в структуре неориентированного графа, содержащего n вершин. Коэффициент $\frac{1}{2}$ берется в силу того, что одна и та же связь a_i и a_j учитывается дважды.

Соотношение (1) можно переписать в виде

$$\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] = m,$$

т.е. это не что иное, как число ребер в неориентированном графе.

Другой важной характеристикой графа мобильных связей является его структурная избыточность [5]. Данная характеристика используется для косвенной оценки экономичности и надежности структуры АМК. Введение избыточности увеличивает надежность системы за счет повышения безотказности.

Структурная избыточность определяется наличием работы при ЧС дополнительной авиационной группировки (при отказе одной из них ее

функции выполняет другая группировка), которая не востребована при нормальной работе.

Структурная избыточность R это структурный параметр, отражающий превышение общего числа связей в графе над необходимым минимальным числом связей, при котором все вершины графа связаны между собой.

Разделим в соотношении (1) все члены на $n-1$ и разность обозначим через R .

Тогда получим

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1, \quad (2)$$

$$R = \frac{m}{n-1} - 1, \quad (3)$$

где R – структурная избыточность, m – число ребер в неориентированном графе, n – число вершин.

Данная структурная характеристика используется для косвенной оценки экономичности и надежности структуры АМК.

Для систем с максимальной избыточностью, имеющих структуру типа «полный граф» $R \geq 0$; для систем с минимальной избыточностью $R = 0$; для несвязных систем $R \leq 0$.

Принято, что система с большим R (структурной избыточностью) потенциально более надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной $R = 0$ (в целях повышения оперативности и экономичности).

Недоиспользованные возможности заданной структуры графа, имеющей m ребер и n вершин, в достижении максимальной связности характеризует показатель ε^2 , учитывающий неравномерность связей.

Равномерное распределение связей в структуре неориентированного графа имеющего, m ребер и n вершин, характеризуется средней степенью всех вершин графа $\rho_{\text{ср}} = 2 \frac{m}{n}$ (в этой формуле множитель 2 появляется потому, что каждое ребро соединяет 2 вершины, и поэтому считается дважды). Обозначим действительную степень i -й вершины графа (число ребер, связанных с этой вершиной) через ρ_i . Тогда введя понятие отклонения $(\rho_i - \rho_{\text{ср}})$ можно определить квадратичное отклонение заданного распределения степеней вершины от равномерного. В результате чего, неравномерность связей ε^2 в графе мобильных связей может быть охарактеризована выражением

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{i=n} (\rho_i - \rho_{\tilde{n}\tilde{o}})^2. \quad (4)$$

Важной характеристикой графа мобильных связей является его структурная компактность Q , которая отражает близость вершин α_i и α_j графа между собой. Близость 2-х элементов i и j определяется через минимальную длину пути для ориентированного графа (цепи – для неориентированного) – d_{ij} . Тогда сумма всех минимальных путей (цепей) между всеми элементами отражает общую структурную близость элементов в анализируемой структуре. Обозначим эту величину через Q и, в соответствии с определением, будем иметь:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}, \text{ при } i \neq j. \quad (5)$$

Более наглядной характеристикой структурной компактности графа мобильных связей может служить его относительная компактность $Q_{i\tilde{o}i}$, определяемая как

$$Q_{i\tilde{o}i} = \frac{Q}{Q_{i\tilde{a}}} - 1, \quad (6)$$

где $Q_{i\tilde{a}} = n(n-1)$ представляет собой число связей в структуре полного графа (пг).

Еще проще структурную компактность можно характеризовать и другим параметром – диаметром структуры:

$$d = \max_{i,j} d_{ij}. \quad (7)$$

Величины Q и d позволяют интегрально оценить инерционность связей в структуре перспективного АМК АСДНР.

Еще одной важной характеристикой графа мобильных связей может служить степень централизации δ в структуре графа, которая оценивается индексом центральности

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)}, \quad (8)$$

где

$$z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}, \quad (9)$$

где d_i – сумма элементов строки с номером i .

Степень централизации характеризует концентрацию всех вершин графа относительно одной из них (центра).

Задача системного аналізу – знаходження простого в складному.

Для практичного застосування системного аналізу в перспективному АМК АСДНР слід застосовувати всі властивості систем, т.к. будь-яка система, якою б складною вона не казалася на перший погляд, складається з елементарних структур, що формують підсистему. Використовуючи властивості систем, можна систему будь-якої структури звести до цих елементарних структур.

Найбільш характерними системами з структурами графів мобільних зв'язей можна вважати:

- систему з послідовно розташованими елементами (так звані лінійні (послідовні) структури);
- систему з кільцевою структурою;
- систему з радіальною (зіркоподібною) структурою;
- систему з деревовидною структурою;
- систему з структурою «повний граф»;

Разом з тим представляється, що знання структури є важливим, але недостатнім аспектом проблеми побудови систем. Як уже відзначалося, необхідно отримати відповідь на питання, яка структура краще або гірше, причому це потрібно зробити за допомогою кількісних параметрів і критеріїв.

Розглянемо деякі властивості даних структур на прикладі графа зв'язей для п'яти територіально розподілених об'єктів авіаційної групування – регіональних координаційних центрів (РКЦ) по пошуку і порятунку МЧС України (організовані наступні п'ять РКЦ: Харківський, Львівський, Бориспільський, Сімферопольський і Одеський), які збігаються з межами відповідальності регіонального центру управління повітряного руху (РЦ УВД) або регіонального центру обслуговування повітряного руху (РЦ ОВД) з використанням рекомендацій, наведених в [6].

З п'яти характерних систем з структурами графів мобільних зв'язей розглянемо лінійну (послідовну) структуру, яку представимо на рис. 2.

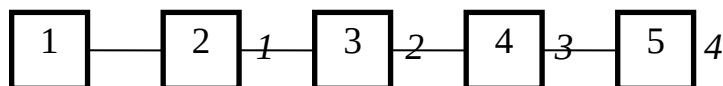


Рисунок 2 – Лінійна структура

На рис. 2 представлена елементарна структура, т.е. графічне представлення графа. Даний спосіб представлення відношень між елементами найбільш наочний, однак він не може бути використаний при розв'язанні задач структурного аналізу. Тому графічне представлення частіше за все доповнюється матричним способом, і матриці, отримані на основі аналізу ребер, називають матрицями сусідності вершин, т.е.

вершины, соединенные ребром, называются смежными, ребра, имеющие общую вершину, также называются смежными.

Всякий граф можно задать матрицей смежности.

Матрица смежности графа – это матрица, значения элементов которой характеризуются смежностью вершин графа. При этом значению элемента матрицы присваивается количество ребер, которые соединяют соответствующие вершины (т.е. которые инцидентны обоим вершинам). Две вершины смежные, если они соединены ребром и не смежные, если не соединены ребром.

Матрица смежности однозначно определяет структуру графа. Пусть имеем граф G . Его матрицей смежности есть квадратная матрица $A[i, j]$.

$$A = A[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{ и } j \text{ смежны} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Для неориентированного графа матрица смежности является симметрической. Для ориентированного графа матрица смежности симметрической, вообще говоря, не является.

Исходя из вышесказанного линейной структуре графа соответствует следующая матрица смежности.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Структурную избыточность определим согласно (3), получим

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 = \frac{4}{5-1} - 1 = 0.$$

В данной линейной структуре m – число ребер в неориентированном графе – 4, а n – число вершин – 5.

Средняя степень всех вершин графа

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{n} = \frac{4}{5} = 0,8.$$

По (4) определим показатель ε^2 с учетом рис. 2, т.е. из рис. 2 видно, что $\rho_1 = 1$, $\rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 2$, $\rho_5 = 1$:

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2 = (\rho_1 - 0,8)^2 + (\rho_2 - 0,8)^2 + (\rho_3 - 0,8)^2 + (\rho_4 - 0,8)^2 + (\rho_5 - 0,8)^2 = \\ &= (1 - 0,8)^2 + (2 - 0,8)^2 + (2 - 0,8)^2 + (2 - 0,8)^2 + (1 - 0,8)^2 = \\ &= 2(1 - 0,8)^2 + 3(2 - 0,8)^2 = 2(0,2)^2 + 3(1,2)^2 = 2 \cdot 0,04 + 3 \cdot 1,44 = 0,08 + 4,32 = 4,4 \end{aligned}$$

Матрица расстояний $\|d_{ij}\|$. d_{ij} – это число ребер (минимальное), через которые нужно пройти, чтобы попасть из вершины с номером i в вершину с номером j . Например: $d_{12} = 1$, $d_{13} = 2$, $d_{14} = 3$. Расстояние $d_{ii} = 0$.

Запишем матрицу расстояний для последовательной структуры (линейного графа):

$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 10 \\ 7 \\ 6 \\ 7 \\ 10 \end{matrix}, \text{ где } d_i = \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}.$$

Тогда структурная компактность (5) неориентированного графа линейной структуры: $Q = 2 \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} d_{ij} = 40$ – сумма всех элементов матрицы расстояний равна 40.

Число связей в структуре полного графа $Q_{i\bar{a}} = n(n-1) = 5(5-1) = 20$.

Относительная компактность (6) графа линейной структуры:

$$Q_{i\bar{a}} = \frac{Q}{Q_{i\bar{a}}} - 1 = \frac{40}{20} - 1 = 2 - 1 = 1,0.$$

Диаметр графа (7) линейной структуры, максимальное расстояние между вершинами

$$d = \max d_{ij} = 4.$$

По (9) $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}$, $\max \frac{Q}{2d_i}$ получается, когда d_i минимальное.

Минимальным является сумма элементов 3-ей строки матрицы расстояний, поэтому $d_3 = 6$.

$$\text{Тогда } z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{40}{2 \cdot 6} = \frac{10}{3} = 3,333.$$

Степень централизации (8) графа линейной структуры

$$\delta = (m-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 4(2 \cdot 3,33 - 5) \frac{1}{3,33 \cdot 3} = 0,67.$$

Структурная избыточность (3): $R = m \cdot \frac{1}{n-1} - 1 = 4 \cdot \frac{1}{4} - 1 = 0$.

Рассмотрим кольцевую структуру, которая представлена на рис. 3.

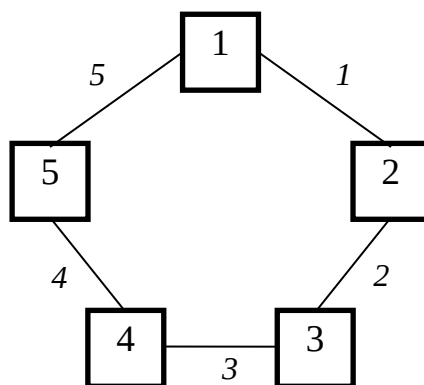


Рисунок 3 – Кольцевая структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = \frac{10}{2 \cdot (5-1)} - 1 = 0,25.$$

Средняя степень всех вершин графа

$$\rho_{\text{нб}} = 2 \frac{m}{n} = 2 \frac{4}{5} = 1,6.$$

По (4) определим показатель ε^2 . $\rho_i = 2$ – для любой вершины. $\rho_{\text{нб}} = 2$.

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{нб}})^2 = \sum_{i=1}^n (2 - 2)^2 = \sum_{i=1}^n 0 = 0.$$

Матрица расстояний для графа кольцевой структуры имеет следующий вид:

$$\|d_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 6 \\ 6 \\ 6 \\ 7 \end{matrix}.$$

Относительная компактность (6) графа кольцевой структуры:

$$Q_{i \rightarrow i} = \frac{Q}{Q_{i \rightarrow i}} - 1 = \frac{31}{20} - 1 = 1,55 - 1 = 0,55.$$

Диаметр графа (7) кольцевой структуры, максимальное расстояние между вершинами $d = \max d_{ij} = 2$.

По (9) $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}$, $\max \frac{Q}{2d_i}$ получается, когда d_i минимальное.

Минимальным является $d_i = 6$.

$$\text{Тогда } z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{31}{2 \cdot 6} = \frac{31}{12} = 2,58.$$

Степень централизации (8) графа кольцевой структуры

$$\delta = (m-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 4(2 \cdot 2,58 - 5) \frac{1}{2,58 \cdot 3} = 4 \cdot 0,16 \cdot \frac{1}{7,74} = 0,08 \approx 0.$$

Рассмотрим радиальную структуру, которая представлена на рис. 4.

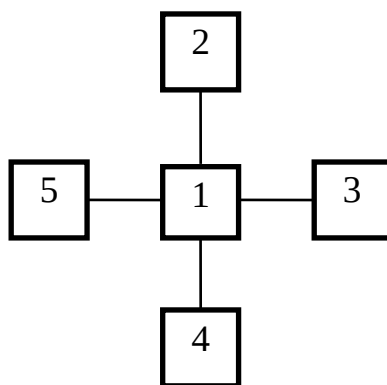


Рисунок 4 – Радиальная структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 4 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 4 \cdot \frac{1}{4} - 1 = 0.$$

По (4) определим показатель ε^2 . $\rho_1 = 4$. $\rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = 1$.

$$\rho_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{4+1+1+1+1}{5} = 1,6$$

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\tilde{n}\tilde{o}})^2 = (4-1,6)^2 + (1-1,6)^2 - 4 = (2,4)^2 + (-0,6)^2 \cdot 4 = 5,76 + 0,36 \cdot 4 = 5,76 + 1,44 = 7,2.$$

Матрица расстояний для графа радиальной структуры имеет следующий вид:

$$\|d_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры, максимальное расстояние между вершинами $d = \max d_{ij} = 2$. d_i минимальное = 4.

$$\text{По (9) } z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} = \frac{32}{8} = 4.$$

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{\hat{i}\hat{o}\hat{i}} = \frac{Q}{Q_{\hat{i}\hat{a}}} - 1 = \frac{32}{20} - 1 = 1,6 - 1 = 0,6.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (m-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 4(2 \cdot 4 - 5) \frac{1}{4 \cdot 3} = 4 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4 \cdot 3} = 1.$$

Рассмотрим древовидную структуру, которая представлена на рис. 5.

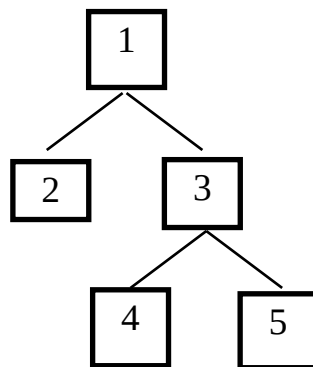


Рисунок 5 – Древовидная структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 1 \\ 1 \end{matrix}.$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 4 \cdot \frac{1}{4} - 1 = 0.$$

По (4) определим показатель ε^2 . $\rho_1 = 2$. $\rho_2 = \rho_4 = \rho_5 = 1$. $\rho_3 = 3$

$$\rho_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{2+1+3+1+1}{5} = \frac{8}{5} = 1,6.$$

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\tilde{n}\tilde{o}})^2 = (2-1,6)^2 + (1-1,6)^2 + (3-1,6)^2 + (1-1,6)^2 + (1-1,6)^2 = \\ &= (0,4)^2 + (-0,6)^2 + (1,4)^2 + (-0,6)^2 + (-0,6)^2 = \\ &= 0,16 + 0,36 + 1,96 + 0,36 + 0,36 = 3,2. \end{aligned}$$

Матрица расстояний для графа древовидной структуры имеет следующий вид:

$$\|d_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 9 \\ 5 \\ 8 \\ 8 \end{matrix}.$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры $d = 3$.

$$\text{По (9) } z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} = \frac{36}{10} = 3,6.$$

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{i\partial i} = \frac{Q}{Q_{i\tilde{a}}} - 1 = \frac{36}{20} - 1 = 1,8 - 1 = 0,8.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (m-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(7,2 - 5) \frac{1}{3,6 \cdot 3} = \frac{2,2}{3,6} = 0,6.$$

Рассмотрим структуру «полный граф», которая представлена на рис. 6. Для данной структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \left\| \begin{array}{ccccc|c} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 4 \end{array} \right\|$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} q_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = 10 \cdot \frac{1}{4} - 1 = 2,5 - 1 = 1,5.$$

По (4) определим показатель ε^2 . $\rho_i = 4$. $\rho_{c\delta} = 4$.

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\bar{n}\delta})^2 = \sum_{i=1}^n (4 - 4)^2 = \sum_{i=1}^n 0 = 0.$$

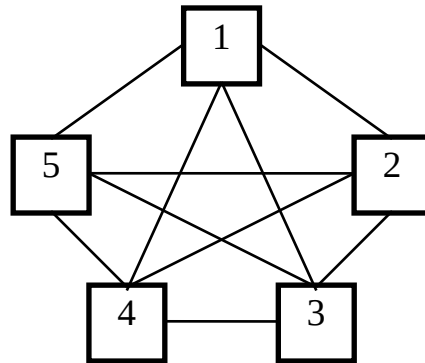


Рисунок 6 – Структура «полный граф»

Матрица расстояний для графа структуры «полный граф» имеет следующий вид:

$$\|d_{ij}\| = \left\| \begin{array}{ccccc|c} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 4 \end{array} \right\|$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры $d = 1$.

$$\text{По (9) } z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i} = \frac{20}{8} = 2,5.$$

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{i\delta i} = \frac{Q}{Q_{i\bar{a}}} - 1 = \frac{20}{20} - 1 = 1 - 1 = 0.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (m-1)(2z_{\max} - n) \frac{1}{z_{\max}(n-2)} = (10-1)(2 \cdot 2,5 - 5) \frac{1}{2,5 \cdot 3} = 9 \cdot 0 \cdot \frac{1}{7,5} = 0.$$

Представим в табл. структурно-топологические характеристики графа мобильных связей. Параметры этой таблицы для разных структур вычислялись по приведенным выше формулам.

Таблица 1 – Структурно-топологические характеристики графов мобильных связей

Структура	Характеристики				
	R	ε^2	$Q_{i \rightarrow i}$	d	δ
Линейная	0	1,2	1,0	4	0,67
Кольцевая	0,25	0	0,55	2	0
Радиальная	0	7,2	0,6	2	1,0
Древовидная	0	3,2	0,8	3	0,6
«Полный граф»	1,5	0	0	1	0

Анализ таблицы 1 показывает [7], что:

– структурная избыточность R наименьшая (равна 0) для линейной, радиальной и древовидной структур и $R > 0$ для кольцевой структуры, структуры типа «полный граф», а это, как принято, означает, что система с малой R менее надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной $R = 0$ (в целях повышения оперативности и экономичности);

– наименьшую неравномерность $\varepsilon^2 = 0$ имеют структуры кольцевая, структуры типа «полный граф», для остальных структур наблюдается значительная неравномерность связей, $\varepsilon^2 > 0$;

– наибольшую «близость» (наибольшую компактность) $Q_{i \rightarrow i}$ имеет структура типа «полный граф», напротив линейная структура наименее компактна поскольку величина относительной компактности $Q_{i \rightarrow i}$ значительна;

– кольцевая и радиальная структуры, имеющие одинаковое значение $d = 2$ незначительно различаются компактностью $Q_{i \rightarrow i}$;

– радиальная и древовидные структуры, имеющие одинаковое значение или близкие значения R , $Q_{i \rightarrow i}$, d значительно отличаются по показателям ε^2 и d , это вполне соответствует физическому смыслу, так как отход от полной централизации в структуре ведет к большей равномерности распределения связей по элементам структуры.

Дополнительно можно увидеть, что магистральная структура по своим характеристикам эквивалентна структуре типа «полный граф». В качестве числовых функций на графах используются показатели интенсивности связей, характеризующие интенсивность выполнения полетов между основными элементами структуры комплекса в различных режимах его функционирования.

Вывод. Используя различные структуры графов получили структурно-топологические характеристики графа мобильных связей, что дало возможность провести полный анализ устойчивости мобильных связей

между элементами структуры перспективного аэромобильного комплекса в различных условиях его функционирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сигорский В. П. Специальный математический аппарат инженера. – К. : Техника, 1977. – 768 с.
2. Берж К. Теория графов и ее применение. – М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 320 с.
3. Березина Л. Ю. Графы и их применение : пособие для учителей. – М. : Просвещение, 1979. – 143 с.
4. Теория сетей связи / [В. Н. Ропинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс, Г. Б. Давыдов, А. Я. Толчан] ; под ред. В. Н. Ропинского. – М. : Радио и Связь, 1981. – 192 с.
5. Малышев Н. Г. Структурно-автоматные модели технических систем. – М. : Радио и связь, 1986. – 166 с.
6. Ларин А. А. Теоретические основы управления. Ч.1. Процессы, системы и средства управления : учебное пособие. – М. : РВСН, 2003. – 230 с.
7. Вирт Н. Алгоритмы + структуры данных = программы. – М. : Мир, 1985. – М. : Мир, 1989. – 360 с.

Кулиш Ю.А., Селіванов С.Є. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ І ІНШИХ НЕВІДКЛАДНИХ РОБІТ

У статті розглянутий аеромобільний комплекс аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт, який являє собою перспективну структуру – сукупність елементів системи й зв'язків між ними. Для даної структури вводиться поняття графа мобільних зв'язків, що дозволяє дати наочну інформацію про склад і структурі системи, показати імовірнісні структурно-топологічні характеристики графів мобільних зв'язків між елементами структури аварійно-рятувального комплексу в різних умовах його функціонування, що дає можливість вирішувати широке коло завдань цивільного захисту із заданими показниками ефективності і якості.

Ключові слова: аеромобільний комплекс, система, структура, мобільні зв'язки, граф, характеристики графа.

Kulish Y., Selivanov S. STUDIES OF STRUCTURAL PROPERTIES OF COMPLEX AIRMOBILE RESCUE AND OTHER EMERGENCY OPERATIONS

This article describes the complex airmobile rescue and other emergency operations, which is a promising structure - a set of system elements and relationships between them. To introduce the concept of the structure of the graph of mobile communications, which allows to give a visual information about the composition and structure of the system, show the probability of structural and topological features of graphs of mobile connections between structural elements of survival in a variety of complex conditions of the functioning, which makes it possible to solve a wide terms of reference for the civil-signs with the specified performance indicators and quality.

Keywords: airmobile complex system, structure, mobile communications, graph, graph characteristics.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ЗАДАЧА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПАРАМЕТРА КАЧЕСТВА ГЛАВНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СУДНА

*Богданов А.В., Блах И.В., Пивоваров Ю.В.,
Херсонская государственная морская академия*

В работе впервые поставлена и решена задача математического программирования для комплексного показателя качества судовой энергетической установки. В качестве коэффициентов при переменных выбраны коэффициенты вероятности (веса) каждой из переменных в целевой функции, сумма которых равна единице. В работе показано, что оптимальный план решения данной задачи всегда определяется минимумом, а не максимумом целевой функции.

Ключевые слова: задача математического программирования, судовая энергетическая установка, целевая функция.

Постановка проблемы и её связь с практическими задачами. Основателем теории математического программирования считается академик Канторович Л.В. В 1939 году он опубликовал работы по разработке методов численного решения экстремальных задач в области экономики, за которые и получил Нобелевскую премию [1].

Математическое программирование, как один из главных инструментов теории исследования операций, разрабатывает методы решения оптимизационных задач и исследует полученные решения. Теория исследования операций изучает управление экономическими системами, оптимизацию их структуры, траекторию развития и функционирования с целью достижения максимальной экономической эффективности.

В силу отсутствия рыночных отношений по известным причинам в бывших социалистических странах, развитие экономических теорий, в том числе и математического программирования, значительно отстало от мировых уровней. За последние десятилетия на управление экономическими системами на базе компьютерных технологий, интенсивного внедрения систем принятия решений в развитых странах тратятся многие миллиарды долларов.

В отечественных учебниках и литературе по судовым энергетическим установкам (СЭУ) практически не используются методы математического программирования [2-6], несмотря на их **актуальность** при решении технико-экономических задач.

Нахождение максимального значения комплексного параметра качества СЭУ полностью находится в рамках задач математического программирования. На сегодня не поставлена и не решена задача математического программирования комплексно параметра качества СЭУ.

Анализ последних публикаций и постановка задачи исследования. Из известных методов оценки качества судовых двигателей наиболее полно описывает их технико-экономические характеристики комплексный

параметр качества, зависящий как от основных технических, так и экономических характеристик. Эмпирическая, полученная статистическими методами зависимость комплексного параметра качества (K_0) от технико-экономических показателей энергетической установки имеет вид:

$$K_0 = \alpha_1 \frac{p}{p_{\max}} + \alpha_2 \frac{m_{\min}}{m} + \alpha_3 \frac{b_{e\min}}{b_e} + \alpha_4 \frac{b_{m\min}}{b_m} + \alpha_5 \frac{r}{r_{\max}} + \alpha_6 J + \alpha_7 \frac{C_{\min}}{C}, \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$ – коэффициенты весомости; $p = \frac{D_e}{l \cdot s \cdot h}$ [кВт/м³] –

удельная мощность дизеля; P_e – номинальная эффективная мощность дизеля; $l \cdot s \cdot h$ – габаритные размеры СЭУ (длина, ширина и высота) [м];

$m = \frac{M}{P_e}$ [кг/кВт] – удельная масса; M – масса дизеля; b_e [кг/кВт·ч] – удельный

эффективный расход топлива дизеля; b_m [кг/кВт·ч] – удельный эффективный расход масла дизеля; r [тыс. ч.] – ресурс работы до капитального ремонта; J – условный показатель рода топлива, используемого дизелем (для тяжёлого топлива – $J = 1$, для дизельного – $J = 0$).

Сумма коэффициентов весомости составляет полную группу событий:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 = 1 \quad (2)$$

Максимальные и минимальные значения указанных семи переменных ($p_{\max}$, $m_{\min}$, $b_{e\min}$, $b_{m\min}$, $r_{\max}$, $C_{\min}$, $J = 1$ або $J = 0$) определяются из выбранного списка СЭУ с известными соответствующими показателями. Расчётное значение стоимости дизеля – C определяется выражением:

$$C = \frac{0,77 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{b_e^{1,58} \cdot b_m^{0,23}} [\text{условных единиц}]. \quad (3)$$

Целью настоящей работы является использование методов математического программирования для решения оптимизационной задачи нахождения комплексного параметра качества СЭУ и анализ этого решения.

Изложение материалов исследований. Для построения задачи математического программирования в качестве целевой функции выберем выражение для комплексного показателя качества:

$$K_0 = \alpha_1 \frac{p}{p_{\max}} + \alpha_2 \frac{m_{\min}}{m} + \alpha_3 \frac{b_{e\min}}{b_e} + \alpha_4 \frac{b_{m\min}}{b_m} + \alpha_5 \frac{r}{r_{\max}} + \alpha_6 J + \alpha_7 \frac{C_{\min}}{C} \rightarrow \max \quad (4)$$

Максимальные и минимальные значения переменных ($p_{\max}$, $m_{\min}$, $b_{e\min}$, $b_{m\min}$, $r_{\max}$, $C_{\min}$, $J = 1$ або $J = 0$) могут служить системой ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} p \leq \frac{p_{\max}}{\alpha_1}; \\ m \geq \alpha_2 m_{\min}; \\ b_e \geq \alpha_3 b_{e\min}; \\ b_m \geq \alpha_4 b_{m\min}; \\ r \leq \frac{r_{\max}}{\alpha_5}; \\ \alpha_6 J \leq 1; \\ C \geq \alpha_7 C_{\min}; \\ C = \frac{0,77 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{b_e^{1,58} \cdot b_m^{0,23}}. \end{array} \right. \quad (5)$$

При определении целевой функции и системы ограничений можем говорить о постановке задачи математического программирования для определения комплексного параметра качества СЭУ. Произвольный набор рассматриваемых семи переменных, значения которых удовлетворяют указанным ограничениям соответствует допустимому плану или программе действий по нахождению экстремальных значений K_0 .

Совокупность всех значений K_0 соответствует области существования планов. План, при котором комплексный параметр качества имеет максимальное значение, называется оптимальным планом и является решением данной оптимизационной задачи.

Зависимость между переменными, в том числе и стоимостью двигателей, определяется с помощью вероятностных законов. Вероятностные законы работают только при активном рынке, то есть при рынке, в котором количество продавцов и покупателей бесконечно много. Эти законы справедливы в рыночной экономике.

Точность вероятностных расчётов возрастает с увеличением количества экспериментов. В нашем случае количеству экспериментов соответствует количество типов двигателей. То есть, количество двигателей должно быть достаточно большим.

Как и в работе [4] выберем 20 типов двигателей с известными показателями (табл. 1).

Таблица 1 – Основные экономические и эксплуатационные показатели главных двигателей

Тип двигателя	Номинальная эффективная мощность, P_e , кВт	Удельная мощность, p , кВт/м ³	Удельная масса, m , кг/кВт	Удельный расход топлива, b_e , кг/(кВт·час.)	Удельный расход масла, b_m , кг/(кВт·час.)	Ресурс работы до капитального ремонта, r , тыс. час.	Расчётная стоимость, $C \cdot 10^3$, условных единиц
1) 6ДКРН74/160-3	8530	28,32	53,93	0,192	0,00052	10	13003
2) 6RTA48T	8160	49,30	23,90	0,19	0,00048	15	15,813
3) 6L60MC	7940	31,31	44,46	0,185	0,00045	12	14,623
4) 6UEC52LS	7940	41,51	32,24	0,186	0,00047	12	14,355
5) 6MGDL-M	1029	62,91	12,24	0,222	0,00176	36	2294
6) 6M220-UM	1000	132,02	7,30	0,211	0,00124	36	2628
7) 6M20	930	83,18	11,29	0,186	0,00173	32	2633
8) 9L16/24	900	105,68	10,44	0,205	0,0021	30	2037
9) 8NVD48-2U	853	32,70	23,75	0,217	0,00171	36	2041
10) 4L20	665	91,69	10,23	0,194	0,00185	36	1920
11) 6NVD48-U	662	40,66	24,47	0,217	0,0021	36	1556
12) 65185A-ET	650	109,27	8,46	0,198	0,00205	36	17,79
13) 6NSDL-M	610	119,88	7,21	0,198	0,00205	36	1684
14) 6LAH-STE	570	177,51	4,56	0,202	0,00183	32	1492
15) 6NVD48-U	540	33,17	30,00	0,238	0,0021	36	1127
16) 6NVD48A-U	485	29,8	30,0	0,219	0,0021	36	1120,8
17) 6S165-UT	450	120,22	6,33	0,218	0,0008	30	1262
18) 6DL-16	441	53,83	6,80	0,203	0,0007	30	1432
19) 8NVD	412	35,29	24,28	0,217	0,00158	36	1098
20) 6V396TC4	330	91,8	7,27	0,203	0,0007	36	15,53

Выражение для комплексного параметра качества K_0 довольно сложное, нелинейное, содержащее 7 переменных. Так как система ограничений нелинейная, то симплексный метод в данном случае неприменим.

При решении данной функциональной зависимости, в работе [4], было получено, что экстремум данной функции существует и соответствует её минимуму. Координаты локального минимума (значения удельного расхода

топлива – b_{elok} , ресурса работы до капитального ремонта – r_{lok} , удельного расхода масла – b_{mlok} в минимуме значений целевой функции K_0 при заданной номинальной эффективной мощности – P_e) определяются следующими выражениями:

$$\begin{cases} b_{elok} = (A)^{0,483} \cdot (B)^{0,156} \cdot P_e^{0,284} \\ r_{lok} = (B)^{0,844} \cdot (A)^{0,517} \cdot P_e^{-0,284} \\ b_{mlok} = \frac{4,05 \cdot (\alpha_4 \cdot b_{mmin})^{0,93}}{(\alpha_7 \cdot C_{min})^{0,303} \cdot (\alpha_3 \cdot b_{emin})^{0,48}} \left(\frac{r_{max}}{\alpha_5} \right)^{0,148} \cdot P_e^{0,266} \end{cases} \quad (6)$$

где $A = \frac{0,483 \cdot b_{amin}}{\alpha_3 \cdot P_{min}^{0,284}}$, $B = \frac{0,623 \cdot \alpha_7 \cdot C_{min} \cdot b_{mlok}^{0,23} \cdot r_{max}}{\alpha_5}$

По смыслу данной задачи, необходимо получение максимального значения комплексного параметра качества. Использовать двойственный метод решения данной задачи нельзя, так как задача нелинейная. Поэтому в работе [4], для получения максимальных значений K_0 использован метод глобального максимума.

При выборе целевой функции комплексного параметра качества (4) учитывалось, что, как это следует из выбранной системы ограничений, значение целевой функции и, соответственно, каждого из её слагаемых должны быть меньше единицы. Это следует из вероятностного смысла K_0 .

Выбирая новую систему ограничений семи выбранных переменных согласно табл. 1 и сохраняя условие, что целевая функция, а также её слагаемые меньше, либо равны единице, получим следующее выражение для целевой функции:

$$K_0 = \alpha_1 \frac{p_{min}}{p} + \alpha_2 \frac{m}{m_{max}} + \alpha_3 \frac{b_e}{b_{emax}} + \alpha_4 \frac{b_m}{b_{mmax}} + \alpha_5 \frac{r_{min}}{r} + \alpha_6 J + \alpha_7 \frac{C}{C_{max}} \rightarrow \max \quad (7)$$

Система ограничений, согласно выбранным новым экстремальным значением переменных, примет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} p \geq \alpha_1 p_{\min}; \\ m \leq \frac{m_{\max}}{\alpha_2}; \\ b_e \leq \frac{b_{e\max}}{\alpha_3}; \\ b_m \leq \frac{b_{m\max}}{\alpha_4}; \\ r \geq \alpha_5 r_{\min}; \\ \alpha_6 J \leq 1; \\ C \leq \frac{C_{\max}}{\alpha_7}; \\ C = \frac{0,77 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{b_e^{1,58} \cdot b_m^{0,23}}. \end{array} \right.$$

Целевая функция, при зависимости её только от удельного расхода топлива – b_e , имеет вид:

$$K_0 = A_1 + \frac{\alpha_3}{b_{e\max}} b_e + A_2 b_e^{-1,58}$$

$$A_1 = \alpha_1 \frac{p_{\min}}{p} + \alpha_2 \frac{m}{m_{\max}} + \alpha_4 \frac{b_m}{b_{m\max}} + \alpha_5 \frac{r_{\min}}{r} + \alpha_6 J$$

где

$$A_2 = \frac{0,77 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{b_m^{0,23}} \cdot \frac{\alpha_7}{C_{\max}} = \frac{0,0539 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{C_{\max} \cdot b_m^{0,23}}$$

Продифференцируем целевую функцию по удельному расходу топлива и приравняем полученный результат к нулю:

$$\frac{dK_0}{db_e} = \frac{\alpha_3}{b_{e\max}} - 1,58 A_2 b_e^{-2,58} = 0;$$

Откуда получим:

$$b_e = \left(\frac{1,58 A_2 \cdot b_{e\max}}{\alpha_3} \right)^{0,388}$$

Целевая функция, при зависимости её только от удельного расхода масла – b_m , имеет вид:

$$K_0 = B_1 + \frac{\alpha_4}{b_{m \max}} b_m + B_2 b_m^{-0,23}$$

$$B_1 = \alpha_1 \frac{p_{\min}}{p} + \alpha_2 \frac{m}{m_{\max}} + \alpha_3 \frac{b_e}{b_{e \max}} + \alpha_5 \frac{r_{\min}}{r} + \alpha_6 J$$

где

$$B_2 = \frac{0,77 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{b_e^{1,58}} \cdot \frac{\alpha_7}{C_{\max}} = \frac{0,0539 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{C_{\max} \cdot b_e^{1,58}}$$

Продифференцируем целевую функцию по удельному расходу масла и приравняем полученный результат к нулю:

$$\frac{dK_0}{db_m} = \frac{\alpha_4}{b_{m \max}} - 0,23 B_2 \cdot b_m^{-1,23} = 0$$

Откуда получим:

$$b_m = \left(\frac{0,23 B_2 b_{m \max}}{\alpha_4} \right)^{0,813}$$

Целевая функция, при зависимости её только от ресурса работы до капитального ремонта - r , имеет вид:

$$K_0 = D_1 + \frac{\alpha_5 \cdot r_{\min}}{r} + D_2 \cdot r^{0,48}$$

где
$$D_1 = \alpha_1 \frac{p_{\min}}{p} + \alpha_2 \frac{m}{m_{\max}} + \alpha_3 \frac{b_e}{b_{e \max}} + \alpha_4 \frac{b_m}{b_{m \max}} + \alpha_6 J$$

$$D_2 = \frac{0,0539 \cdot P_e^{0,87}}{b_e^{1,58} \cdot b_m^{0,23} \cdot C_{\max}}$$

Продифференцируем целевую функцию по ресурса работы до капитального ремонта и приравняем полученный результат к нулю:

$$\frac{dK_0}{dr} = - \frac{\alpha_5 \cdot r_{\min}}{r^2} + 0,48 D_2 \cdot r^{-0,52} = 0$$

Откуда получим:

$$r = \left(\frac{\alpha_5 \cdot r_{\min}}{0,48 D_2} \right)^{0,676}$$

Для рассмотрения вида получаемого экстремума (максимум или минимум) необходимо взять вторые производные.

Решение данной задачи, например, для функции $K_0 = f(b_e, r)$ показало, что при разумных значениях показателей данная функция также имеет минимум.

$$\frac{d^2 K_0}{db_e^2} = 1,58 A_2 \cdot 2,58 b_e^{-3,58} > 0$$

$$\frac{d^2 K_0}{dr^2} = \frac{2\alpha_5 \cdot r_{\min}}{r^3} - 0,52 \cdot 0,48 D_2 \frac{1}{r^{1,52}}$$

$$A_2 = \frac{0,0539 \cdot P_e^{0,87} \cdot r^{0,48}}{C_{\max} \cdot b_m^{0,23}}; \quad D_2 = \frac{0,0539 P_e^{0,87}}{b_e^{1,58} \cdot b_m^{0,23} \cdot C_{\max}}$$

где

Аналогично можно показать, что и для функций $K_0 = f(b_e, b_m)$ и $K_0 = f(b_m, r)$ максимального значения не существует. Отсюда функция $K_0 = f(b_e, b_m, r)$ имеет экстремум, и этот экстремум является минимумом. Дальнейшие изменения целевой функции и системы ограничений не повлияли на изменения вида экстремума.

Выводы. Особенностью поставленной в работе задачи математического программирования для комплексного показателя качества СЭУ является то, что в качестве коэффициентов при переменных выбраны коэффициенты вероятности (веса) каждой из переменных в целевой функции, сумма которых равна единице. В работе показано, что оптимальный план решения данной задачи всегда определяется минимумом, а не максимумом целевой функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вітлінський В.В., Наконечний С.І., Терещенко Т.О. Математичне програмування: Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
2. Пахомов Ю.А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания: Учебник – М.: ТрансЛит, 2007 – 528 с.
3. Волков В.В., Ломоносов А.В. Определение экономической эффективности проектированных СЭУ: Методические указания.- Херсон: ОТД ХСЗ. 1998.- 42 с.
4. Богданов А.В., Свиридов В.И., Кобяков Н.Н. Оптимизационная модель выбора судовой энергетической установки. – Науковий вісник ХДМІ, 2011. - № 1(4). – с.3-15.
5. Волков В.В., Ломоносов А.В. Определение экономической эффективности проектированных СЭУ: Методические указания.- Херсон: ОТД ХСЗ. 1998.- 42 с.

6. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Голофастов Э.И. Технические характеристики современных дизелей (Справочник). – Одесса: Негоциант, 2008.- 512 с.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.5.01

Богданов О.В., Блах І.В., Пивоваров Ю.В. ЗАДАЧА МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПАРАМЕТРУ ЯКОСТІ ГОЛВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА

В роботі вперше поставлена і вирішена задача математичного програмування для комплексного показника якості суднової енергетичної установки. В якості коефіцієнтів при змінних обрані коефіцієнти ймовірності (ваги) кожної з змінних в цільовій функції, сума яких дорівнює одиниці. У роботі показано, що оптимальний план вирішення даної задачі завжди визначається мінімумом, а не максимумом цільової функції.

Ключові слова: задача математичного програмування, суднова енергетична характеристика, цільова функція.

АННОТАЦИЯ

УДК 629.5.01

Богданов А.В., Блах А.П., Пивоваров Ю.В. ЗАДАЧА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПАРАМЕТРА КАЧЕСТВА ГЛАВНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СУДНА

В работе впервые поставлена и решена задача математического программирования для комплексного показателя качества судовой энергетической установки. В качестве коэффициентов при переменных выбраны коэффициенты вероятности (веса) каждой из переменных в целевой функции, сумма которых равна единице. В работе показано, что оптимальный план решения данной задачи всегда определяется минимумом, а не максимумом целевой функции.

Ключевые слова: задача математического программирования, судовая энергетическая установка, целевая функция.

ABSTRACT

УДК 629.5.01

Bogdanov A.V, Blah I.V., Pivovarov J.V. PROBLEM OF MATHEMATICAL PROGRAMMING INTEGRATED QUALITY PARAMETER MAIN PROPULSION SHIP.

For the first time and solved the problem of mathematical programming for the complex index of quality of ship power plant. As the coefficients of the variables selected probability coefficients (weights) of each of the variables in the objective function, whose sum is equal to one. It is shown that the optimal plan for solving this problem is always determined by the minimum and not maximum objective function.

Key words: mathematical programming problem, Naval power characteristics, the objective function.

ВРЕДНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА С ВИЗУАЛЬНЫМИ ДИСПЛЕЙНЫМИ ТЕРМИНАЛАМИ – КАК ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Будянская Э.Н.

НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний

Шишко Е.И.

Херсонская государственная морская академия

В работе рассмотрена физика электромагнитных полей, проведены исследования влияния электромагнитных полей на здоровье человека и необходимости пересмотра государственных санитарных правил и норм при работе с визуальными дисплейными терминалами – электронно-вычислительных машин.

Ключевые слова: вредные условия труда, электромагнитные излучения, визуальный дисплейный терминал, электронно-вычислительные машины, компьютер, монитор, правила и нормы.

Введение. В процессе жизнедеятельности человек постоянно находится в зоне действия электромагнитных излучений (ЭМИ) Земли. Такое излучение, называемое фоном, считается нормальным и не наносит здоровью людей никакого вреда. Природный электромагнитный спектр охватывает волны длиной от $1 \cdot 10^{-14}$ метров до $1 \cdot 10^{-5}$ километров.

Электромагнитное излучение увидеть невозможно, а представить не каждому под силу, и потому нормальный человек его почти не опасается. Между тем если суммировать влияние электромагнитного излучения всех приборов на планете, то уровень естественного геомагнитного поля Земли окажется превышен в миллионы раз.

На сегодня интенсивное использование электромагнитной и электрической энергии в современном информационном обществе привело к тому, что в последней трети XX века возник и сформировался уже значимый электромагнитный фактор загрязнения окружающей среды.

Масштабы электромагнитного загрязнения среды обитания людей стали столь существенны, что Всемирная организация здравоохранения включила эту проблему в число наиболее актуальных для человечества, а многие ученые относят ее к сильнодействующим экологическим факторам с катастрофическими последствиями для всего живого на Земле.

Термин «глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды» официально введен в 1995 году Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ). В числе немногих всемирных проектов ВОЗ реализует Международный электромагнитный проект (WHO International EMF Project), что подчеркивает актуальность и значение, придаваемое международной общественностью этой теме. В свою очередь практически все технически и культурно развитые страны реализуют свои национальные программы исследования биологического действия ЭМ излучения и

обеспечения безопасности человека и экосистем в условиях нового глобального фактора загрязнения окружающей среды.

Крупнейшие компании по производству компьютеров – «Apple Computer», «Compaq Computer», «IBM Corporation» выделили миллионы долларов на создание при Университете Джонса Хопкинса Центра по изучению видеотерминалов и их влияния на самочувствие.

Научно доказано, что электромагнитное излучение (ЭМИ) имеет более пагубное влияние на организм живых существ, чем радиационное излучение.

Широкомасштабное внедрение визуальных дисплейных терминалов (ВДТ) в разные сферы народного хозяйства диктует необходимость обеспечения профессиональной безопасности и здоровье пользователей ВДТ. ВДТ это часть электронно-вычислительных машин (ЭВМ), содержащее устройство для предоставления визуальной информации – монитор, т.е. это устройство в составе электронно-вычислительных машин (ЭВМ) или персонального компьютера (ПК), предназначенное для вывода на экран текстовой, графической и видеоинформации. По устройству мониторы делятся на: мониторы на основе электронно-лучевых трубок; мониторы на основе жидкокристаллических панелей.

В состав ПК входят системный блок, монитор и мышь с клавиатурой.

Системный блок и монитор, т.е. в целом компьютер является источником ЭМ излучений, поскольку, как известно любое устройство, которое производит, или потребляет электроэнергию, создает электромагнитное (ЭМ) излучение.

Наиболее сильным источником ЭМ излучения является монитор на основе электронно-лучевых трубок, особенно его боковые и задние стенки, т.к. они не имеют специального защитного покрытия, которое есть у лицевой части экрана. ЭМ излучение концентрируется вокруг устройства в виде электромагнитного поля (ЭМП). Отметим, что к неблагоприятным факторам производственной среды для работающих с мониторами кроме ЭМП являются статическое электричество, мягкое рентгеновское излучение, ультрафиолетовое излучение и др.

В настоящей работе будут рассмотрены критерии безопасности влияющие на здоровье человека в условиях длительного воздействия ЭМП от ВДТ.

Хотя вопросу биологического действия ЭМП посвящено множество научных работ, тем не менее, в физике этого процесса и до сих пор остается много неизученных вопросов, который становится темой для многочисленных симпозиумов, конференций и научных дискуссий.

Цель исследований данной работы заключается в комплексном рассмотрении физики ЭМП и оценки опасности ЭМП идущих от ВДТ на здоровье человека, что непременно приведет к необходимости пересмотра

действующих, в частности – государственных санитарных правил и норм при работе с ВДТ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи исследования:

- раскрыть сущность происхождения ЭМП и рассмотреть физику ЭМП;
- провести исследования влияния ЭМП на человеческий организм;
- провести научно – обоснованные методические подходы к пересмотру государственных санитарных правил и норм при работе с визуальными дисплейными терминалами.

Изложение основного материала. На практике при характеристике электромагнитной обстановки используют термины «электрическое поле», «магнитное поле», «электромагнитное поле». Коротко поясним, что это означает и какая связь существует между ними.

Электромагнитное поле – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

Электрическое поле – создается электрическими зарядами и заряженными частицами в пространстве.

Магнитное поле – создается при движении электрических зарядов по проводнику.

Физической причиной существования электромагнитного поля является то, что изменяющееся во времени электрическое поле возбуждает магнитное поле, а изменяющееся магнитное поле – вихревое электрическое поле. Непрерывно изменяясь, обе компоненты поддерживают существование электромагнитного поля. Поле неподвижной или равномерно движущейся частицы неразрывно связано с носителем (заряженной частицей).

Таким образом, порождение ЭМП переменным магнитным полем и магнитного поля – переменным электрическим приводит к тому, что электрические и магнитные поля не существуют обособленно, независимо друг от друга. Компоненты векторов, характеризующих ЭМП, образуют, согласно [относительности теории](#), единую физическую величину – [тензор ЭМП](#), компоненты которого преобразуются при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой в соответствии с [Лоренца преобразованиями](#).

Для характеристики величины электрического поля используется понятие напряженность электрического поля, обозначение E , единица измерения В/м, вектор. Величина магнитного поля характеризуется напряженностью магнитного поля H , единица А/м, вектор. Измерению обычно подвергается модуль (длина) вектора.

При измерении сверхнизких и крайне низких частот часто также используется понятие магнитная индукция B , единица Тл, одна миллионная часть Тл соответствует 1,25 А/м [1–3]

Тут самое время вспомнить о законе электромагнитной индукции: изменяющееся электрическое поле порождает магнитное, а изменяющееся магнитное – электрическое. Эти два поля как бы сцеплены друг с другом. Как только мы создаем волнообразное изменение электрического поля, так сразу же к нему добавляется и магнитная волна. Разделить эту пару волн невозможно – это единое электромагнитное явление.

Как показал Максвелл в такой связке колеблющиеся электрическое и магнитное поля могут отрываться от порождающих их проводников и двигаться через вакуум в форме электромагнитных волн, с определенной, но очень большой скоростью. Он вычислил эту скорость, и она оказалась около трехсот тысяч километров в секунду, что соответствует скорости света. Электромагнитные волны, не исчезают с устранением источника (например, радиоволны не исчезают и при отсутствии тока в излучившей их антенне).

Распространение возмущений электромагнитного поля на далекие расстояния называется электромагнитной волной (электромагнитными волнами).

Электромагнитные волны характеризуются длиной волны, обозначение λ , размерность – м. Источник, генерирующий излучение, а по сути создающий электромагнитные колебания, характеризуются частотой, обозначение – f , размерность – Гц). При частотах 3 – 300 Гц в качестве характеристики магнитного поля может также использоваться понятие магнитной индукции, обозначение B , размерность – Тл). Источники антропогенных электромагнитных полей разделяют на низко– (0 – 3 кГц) и высокочастотные (от 3 кГц до 300 ГГц).

Открытие электромагнитных волн – замечательный пример взаимодействия эксперимента и теории. На нем видно, как физика объединила, казалось бы, абсолютно разнородные свойства – электричество и магнетизм, – обнаружив в них различные стороны одного и того же физического явления – электромагнитного взаимодействия.

Важная особенность ЭМП – это деление его на так называемую «ближнюю» и «дальнюю» зоны. В «ближней» зоне, или зоне индукции, на расстоянии от источника $r < \lambda$ ЭМП можно считать квазистатическим. Здесь оно быстро убывает с расстоянием, обратно пропорционально квадрату r^{-2} или кубу r^{-3} расстояния. В «ближней» зоне излучения электромагнитная волна еще не сформирована. Для характеристики ЭМП измерения переменного электрического поля E и переменного магнитного поля H производятся раздельно. Поле в зоне индукции служит для формирования бегущих составляющей полей (электромагнитной волны), ответственных за излучение. «Дальняя» зона – это зона сформировавшейся электромагнитной волны, начинается с расстояния $r > 3\lambda$. В «дальней» зоне интенсивность поля убывает обратно пропорционально расстоянию до источника r^{-1} .

В «дальней» зоне излучения есть связь между E и H : $E = 377 H$, где 377 – волновое сопротивление вакуума, Ом. Поэтому измеряется, как правило, только E . На частотах выше 300 МГц обычно измеряется плотность потока

электромагнитной энергии (ППЭ), или вектор Пойтинга. Обозначается как S , единица измерения Вт/м^2 . ППЭ характеризует количество энергии, переносимой электромагнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны.

Переходя к оценке опасности ЭМП, как описано выше, основным источником неблагоприятного воздействия на здоровье пользователя компьютера является средство визуального отображения (СВО) монитора, т.е. ВДТ.

В большинстве теперешних мониторов СВО представляет собой электронно-лучевую трубку.

В дальнейшем в качестве главных факторов воздействия СВО на здоровье будем рассматривать факторы воздействия электромагнитного поля электронно-лучевой трубки.

Исследования показали, что ВДТ излучают электромагнитные волны в очень широком диапазоне. В радиодиапазоне они продуцируются катодной трубкой; основной же источник – горизонтальные и вертикальные отклоняющие катушки, которые обеспечивают сканирование электронного луча по экрану в диапазоне 15 – 35 кГц. На расстоянии 50 см от экрана напряжённость электрического поля имеет значение от меньших единицы до 10 В/м, а магнитная индукция – от 10 – 8 до 10 – 7 Тл. В настоящее время многие специалисты считают предельно допустимой величину магнитной индукции равной 0,2–0,3 мкТл.

ВДТ излучают также переменные электрические и магнитные поля с частотой 50 или 60 Гц и их гармоники.

Достоверно известно – все частотные диапазоны ЭМВ влияют (осуществляют влияние) на здоровье и трудоспособность человека, причем следствия этого влияния могут быть довольно отдаленными [4].

В результате многочисленных исследований установлено, что реакция организма человека зависит от величины мощности излучения и от таких параметров, как частота, вид модуляции, ширина спектра излучаемого сигнала, поляризация, время облучения и т.д. Выявить однозначную связь между каким-либо одним параметром излучения и явно выраженным эффектом его действия пока не удалось.

Биологическое действие одного и того же по частоте электромагнитного поля зависит от напряженности его составляющих или плотности потока электромагнитной энергии. Это является критерием для определения биологической активности электромагнитных излучений. В таблице приведены предельно допустимые плотности потока электромагнитной энергии в диапазоне частот 300 МГц – 300000 ГГц и время пребывания на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием электромагнитных полей.

Таблица – Нормы облучения

Плотность потока электромагнитной энергии, Вт/м ²	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП
До 0,1	Рабочий день
0,1–1	Не более 2 ч
1 – 10	Не более 10 мин

Примечание: в остальное рабочее время плотность потока электромагнитной энергии не должна превышать 0,1 Вт/м² при условии пользования защитными очками.

У систематически работающих за такими мониторами от 2 до 6 часов в сутки людей функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем у людей, не являющихся пользователями компьютера. Болезни дыхательной системы регистрируются в среднем в 1,9 раза чаще, болезни опорно-двигательного аппарата – в 3,1 раза чаще. С увеличением средней продолжительности работы на компьютере соотношение здоровых и больных среди пользователей резко возрастает.

По результатам исследований влияния комплекса факторов физической природы малой интенсивности на здоровье пользователей ВДТ, выполненных в ГП «Харьковский НИИ гигиены труда и профзаболеваний» выявлены расстройства нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной систем, что в итоге приводит к преждевременному старению организма.

Так, углубленное медицинское обследование 961 пользователей ВДТ показало высокие уровни заболеваемости как среди мужчин, так и среди женщин. Установлено, что с увеличением возраста растет число соматических заболеваний (соматическое заболевание (от др.-греч. σῶμα – тело) – телесное заболевание, в противоположность психическому заболеванию, в данную группу заболеваний объединяют болезни, вызываемые внешними воздействиями или же внутренними нарушением работы органов и систем, не связанные с психической деятельностью человека; в целом значительная часть болезней является именно соматическими, так, например, все травмы и генетические наследственные болезни являются соматическими).

Уровни заболеваемости пользователей ВДТ, которые регистрируются основными специалистами (терапевтом, невропатологом и другими), достоверно повышаются с увеличением трудовой нагрузки – суммарного времени работы за ВДТ.

Последними исследованиями установлено, что

– у 31,18 % – пользователей ВДТ имели место соматические заболевания;

– у 19,35% – заболевания нервной системы.

При анализе данных, с учетом возраста работающих, получены такие уровни заболеваемости среди работающих молодого возраста (возраст до 25 лет):

- у 17,28 % – заболевания нервной системы;
- у 2,62 % – соматические заболевания.

Среди пользователей ВДТ наиболее трудоспособного возраста (с 25 до 40 лет) зарегистрированы такие уровни заболеваемости:

- у 35,54 % – соматические заболевания;
- у 19,28 % – заболевания нервной системы.

В возрастной группе старше 40 лет увеличивается число больных с заболеваниями нервной системы, а также с соматическими заболеваниями:

- у 36,96 % – соматические заболевания.
- 19,46 % – заболевания нервной системы.

Также, согласно данным Центра электромагнитной безопасности, в организме пользователя под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин.

Исследования показали, что продолжительное влияние ЭМИ, даже относительно слабого уровня, может вызвать раковые заболевания, потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера и даже повысить склонность к самоубийству. Особенно опасны поля для детей и беременных женщин.

Наибольшее влияние ЭМИ оказывают на иммунную, эндокринную, половую систему и нервную.

Иммунная система уменьшает выброс в кровь специальных ферментов, выполняющих защитную функцию, происходит ослабление системы клеточного иммунитета.

Эндокринная система начинает выбрасывать в кровь большее количество адреналина, как следствие, возрастает нагрузка на сердечно-сосудистую систему организма. Происходит сгущение крови, в результате чего клетки недополучают кислород.

У человека, в течение длительного времени подвергавшегося ЭМИ, уменьшается сексуальное влечение к противоположному полу (отчасти это является следствием банальной усталости, отчасти вызвано изменениями в деятельности эндокринной системы), падает потенция.

Изменения в нервной системе видны невооруженным глазом. Как уже отмечалось выше, признаками расстройства являются раздражительность, быстрая утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна, общая напряженность, люди становятся суетливыми.

Таковы последствия воздействия ЭМ излучения.

Отметим, что современные технологии позволяют отказаться от использования мониторов на электроннолучевой трубке и использовать жидкокристаллические мониторы, которые как техническим параметрам, так

и параметрам воздействия на здоровье человека значительно отличаются в лучшую сторону.

В настоящее время в Украине является весьма актуальным направление регламентации новых гигиенических нормативов, а также пересмотр действующих, в частности – санитарных правил и норм при работе с визуальными дисплейными терминалами (ВДТ).

Результаты комплексных клинико-лабораторных исследований проведенные авторами в НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний позволили разработать научно – обоснованные методические подходы к пересмотру санитарных правил и норм (СанПиН) для пользователей при работе с ВДТ.

В настоящее время в странах Западной Европы и России действуют стандарты по охране труда, которые регламентируют работу пользователей ВДТ персональных компьютеров: в Великобритании это стандарт «Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation // Documents of the NRPB. Chilton. Didcot. Oxfordshire 1993. VOL. 4. No 5, 69 p., Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 - 300 GHz) // Documents of the NRPB. Chilton. Didcot. Oxfordshire. 2004. VOL. 15. No 3, 215 p.; в Швейцарии – Visual display units: Radiation protection guidance (International Labour Office, Geneva, 1994, 52 p.); в Швеции – TCO`06 MEDIA DISPLAYS, VERSION 1.0 (TCO`06), который регламентирует эксплуатацию ВДТ на катодных трубках, а также жидкокристаллических дисплейных терминалов (ЖДТ). Документ TCO`06 пришел на смену действовавшему ранее стандарту TCO`03 FLAT PANEL DISPLAYS, VERSION 3.0. В России с 30 июня 2003 года введен в действие документ СанПиН «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03».

В Украине действуют «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Затверджено: Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 26.03.2010 N 65, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України. за N 293/17588, а так же «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ДСанПіН 3.3.2.007-98, которые давно устарели. В этих документах отсутствуют гигиенические нормативы напряженности электромагнитных полей на рабочих местах пользователей жидкокристаллических дисплейных терминалов (ЖДТ). В «ДСанПиН 3.3.2 007-98» нормативы напряженности электромагнитных полей находятся в разногласии с теми нормативами, которые приведены в документе «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» N 293/17588 – 2010.

В «ДСанПиН 3.3.2 007-98» полностью отсутствуют нормативы уровней излучений от ВДТ и ЖДТ электромагнитных полей в низкочастотном диапазоне (5Гц -2кГц; 2 кГц - 60 кГц).

С целью научно-обоснованного пересмотра действующих нормативных документов, определяющих положения СанПиН, нами сформирован комплексный интегральный показатель прогноза неблагоприятного действия факторов физической природы малой интенсивности на здоровье пользователей ВДТ. Этот показатель отражает состояние иммунной системы пользователей ВДТ и ее основных показателей – антитела к тиреоглобулину, Т-супрессоры, проницаемость эритроцитарных мембран, активность лизоцима, Т-хелперы, лейкоциты, активность комплемента, иммуноглобулины.

Разработанная компьютерная система прогноза неблагоприятного действия ВДТ на организм пользователей с целью обоснования профилактических мероприятий содержит:

- банк данных (БД) для хранения и пополнения информации об условиях труда и состоянии здоровья, в том числе – клинико-диагностических исследованиях по каждому обследуемому;
- базу знаний, содержащую сведения, полученные в результате математического анализа и моделирования рассматриваемых процессов и экспертной оценки результатов исследований;
- программный комплекс, позволяющий модифицировать и обрабатывать информацию банка данных;
- комплекс программ, реализующих методы математической статистики для обработки информации банка данных и пополнения базы знаний.

По результатам проведенных медицинских осмотров пользователей ВДТ конкретизирована степень влияния на них комплекса вредных факторов. Все категории пользователей ВДТ были распределены по профессиональной принадлежности и условиям труда на такие подгруппы: оператор; инженер-математик-программист; инженер-электронщик; лаборант (техник).

Сведения о результатах обследования каждого пользователя ВДТ занесены в три базы данных (БД): анкетные данные; данные по условиям труда (профессиональный маршрут); данные о состоянии здоровья (клинико-лабораторные, диагностические данные). Анкетные данные исследуемого пользователя ВДТ содержат информацию: пол, возраст и его табельный номер. Профессиональный маршрут пользователя ВДТ содержит информацию о стаже работы (общий стаж работы с ВДТ), классификации и суммарном времени работы с ВДТ в течение одного месяца, уровнях электромагнитных излучений по электрической и магнитной составляющим.

Клинико-лабораторные данные о состоянии здоровья представляют собой основную часть данных, подлежащую статистическому анализу. Они подразделяются на подгруппы, содержащие информацию о формуле крови,

состоянии иммунной (клеточное звено; гуморальное звено) и эндокринной систем, о перекисном окислении липидов и реологии крови.

Кроме того, к этой группе относятся диагностические данные – диагнозы, поставленные врачами-специалистами, которые содержатся в БД в кодированном виде в соответствии с Международной классификацией болезней и травм.

Установлено, что важнейшими показателями условий работы с ВДТ являются такие временные показатели: общий стаж работы с ВДТ; среднее оценочное время наработки с использованием ВДТ за один календарный месяц.

Разработанная система компьютерного прогноза неблагоприятного воздействия ВДТ на организм пользователей, содержит:

- подсистему создания и сопровождения основных специализированных баз данных, позволяющую проектировать архитектуры и системы управления базами иммунологических, биохимических, реологических показателей, а также показателей микроэлементного состава плазмы и эритроцитов периферической крови;
- подсистему статистической обработки иммунологических, биохимических, реологических показателей, а также показателей микроэлементного состава плазмы и эритроцитов периферической крови;
- подсистему прогноза клинико-лабораторных показателей в зависимости от гигиенических факторов и факторов профессионального маршрута.

На сегодня основные специализированные БД содержат данные профмаршрута, гигиенических показателей, клинико-лабораторных показателей (иммунологические, биохимические, реологические), показателей микроэлементного состава плазмы и эритроцитов периферической крови, полученных по результатам обследования 600 пользователей. Общее число введенных показателей в БД составляет более 50 тысяч.

Первым этапом разработанной системы компьютерного прогноза неблагоприятного воздействия ВДТ на организм пользователей является проведение обычного одномерного дисперсионного анализа, в котором группы пользователей группируются с учетом пола, возраста и среднего времени работы в месяц (СРВ). Целью этапа является нахождение условий оптимальной группировки данных и предварительное определение наиболее чувствительных ко времени нагрузки пользователей ВДТ показателей иммунного статуса. Наибольшие отклонения в иммунной системе выявлены в возрастной группе до 30 лет, что подтверждает тезис о том, что лица молодого возраста наиболее подвержены влиянию неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса. Для более детального анализа указанных тенденций использовали многомерные методы дисперсионного анализа, получено обобщающее представление о характере наблюдаемых изменений и установлена их статистическая значимость для

диагностики неблагоприятного воздействия ВДТ на здоровье. По результатам анализа определен суммарный эффект влияния фактора времени работы пользователей ВДТ по всему комплексу изучаемых параметров в исследуемых группах. В качестве раннего диагностического критерия предложен интегральный показатель (ИП).

Исследования иммунного статуса у пользователей ВДТ позволяют сделать заключение о значительных изменениях изучаемых показателей. В частности, наблюдаются значительные изменения в виде снижения процентного содержания лимфоцитов в периферической крови, тимус-зависимых форм, происходящие за счет недостаточности в процентном или абсолютном количестве основных субпопуляций с хелперной и супрессорной активностью. На этом фоне активируется В-система иммунитета, что выражается в повышении количества В-лимфоцитов в периферической крови, а также в повышении их функциональной активности – увеличении в сыворотке крови Ig классов А, М, G.

Такой комплекс сдвигов (выраженная активизация гуморального звена на фоне недостаточности со стороны стимулирующих клеточных факторов и полноценного контроля со стороны клеточного звена) приводит, очевидно, к нарушению процессов иммунологической толерантности, что, в конечном итоге, влечет за собой повышение интенсивности синтеза аутоантител: к ДНК (нативной и денатурированной), к антигенам щитовидной железы, кардиолипиновому антигену.

Используя разработанную компьютерную систему прогнозирования неблагоприятного действия ВДТ на организм пользователей получены новые данные о взаимосвязи показателей их состояния здоровья (иммунной системы, перекисного окисления липидов, системы антиоксидантной защиты) от возраста, стажа работы с ВДТ и от суммарного времени работы за ВДТ в месяц.

Спектр выявленных изменений в иммунном статусе пользователей свидетельствует о существенных отклонениях показателей клеточного и гуморального звена. Суть последних состоит в том, что с увеличением трудовой нагрузки у пользователей ВДТ возникает дисбаланс клеточных популяций, снижается количество иммунокомпетентных клеток, представляющих клеточное звено (Т-лимфоцитов) и повышается на этом фоне число и функциональная активность индукторов гуморального звена В-лимфоцитов, после чего возникает интенсификация аутопроцессов в организме. Активизация В-системы иммунитета подтверждается регистрируемым повышением уровня иммуноглобулина G, а также накоплением в крови противоорганных антител (накопление в организме пользователей ВДТ антител в ткани щитовидной железы).

Система прогнозов прослеживает направленность и степень выраженности указанных выше изменений и их зависимость как от производственных факторов, так и возраста пользователей ВДТ.

Сопоставление величины ИП с отдельными показателями СанПиН, входящими в их структуру, позволяет определить критическое время работы за ВДТ, предложить меры профилактики и коррекции здоровья пользователей ВДТ. Есть основания принять в качестве критического времени работы за ВДТ величину 70 ± 10 часов в месяц. Отмечается нелинейность корреляционной зависимости, что свидетельствует о качественном изменении функционального состояния здоровья пользователей ВДТ при величине трудовой нагрузки, превышающей указанное время.

В заключение следует отметить, что ИП является наиболее чувствительным к суммарной трудовой нагрузке пользователей ВДТ, что позволяет рекомендовать его в качестве раннего диагностического критерия для определения состояния здоровья пользователей ВДТ.

Выводы.

1. В результате рассмотрения физики ЭМП были определены критерии определения биологической активности электромагнитных излучений.

2. Проведенная оценка опасности ЭМИ идущих от ВДТ на здоровье человека показала, что наибольшее влияние ЭМИ оказывают на иммунную, эндокринную, половую и нервную систему.

3. По результатам исследований влияния комплекса факторов физической природы малой интенсивности на здоровье пользователей ВДТ, выполненных в ГП «Харьковский НИИ гигиены труда и профзаболеваний» выявлен процент соматических заболеваний и заболеваний нервной системы у 961 обследованных пользователей ВДТ.

4. В настоящее время в Украине является весьма актуальным направление регламентации новых гигиенических нормативов, а также пересмотр действующих, в частности – санитарных правил и норм при работе с ВДТ.

5. В работе впервые разработан методический подход к пересмотру предельно допустимых уровней ЭМП, разработаны методические подходы и обоснован выбор методов математического анализа; созданы основные базы клинических данных и клинико-лабораторных показателей; рассмотрены подходы к построению интегральных показателей, характеризующих отдельные группы частных показателей здоровья пользователей ВДТ как по отдельным системам, так и по всему организму пользователей в целом, что позволяет снизить требования к однотипности наборов показателей для групп испытуемых и обследуемых в разные периоды времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамм И. Е. Основы теории электричества. – 10-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 504 с.

2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 6 изд., – М., Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973 (Теоретическая физика, т. 2). – 504 с.

3. Савельев И.В., «Курс общей физики», том 2, «Электричество и магнетизм. Волны. Оптика». – М. Наука, 1978. – 480 с
4. Любимов В.В., Рагульская М.В. // Электромагнитные поля, их биотропность и нормы экологической безопасности // Успехи современной радиоэлектроники, 2004, №3, – С. 49–60.
5. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд-во Томского университета, – Томск: 1990. – 188 с.
6. Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982. – 123 с.
7. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. 208 с.

Будянська Е.М., Шишко К.І. ШКІДЛИВІ УМОВИ ПРАЦІ З ВІЗУАЛЬНИМИ ДИСПЛЕЙНИМИ ТЕРМІНАЛАМИ – ЯК ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

У роботі розглянута фізика електромагнітних полів, проведені дослідження впливу електромагнітних полів на здоров'я людини й необхідності перегляду державних санітарних правил і норм при роботі з візуальними дисплейними терміналами – електронно-обчислювальних машин.

Ключові слова: шкідливі умови праці, електромагнітні випромінювання, візуальний дисплейний термінал, електронно-обчислювальні машини, комп'ютер, монітор, правила й норми.

Budjanskaja E.N., Shishko E.I. HARMFUL OF A WORKING CONDITION WITH THE VISUAL DISPLAY TERMINALS – AS SOURCES OF ELECTROMAGNETIC RADIATIONS

In work the physics of electromagnetic fields is considered, researches of influence of electromagnetic fields on health of the person and necessity of revision of the state sanitary rules and norms are carried out at work with visual display terminals – electronic computers.

Keywords: harmful working conditions, electromagnetic radiations, the visual display terminal, electronic computers, the computer, the monitor, rules and norms.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ЛЕНТОЧНЫХ ЦЕЛИКОВ КАМЕРАМИ

*Бузило В.И. д.т.н., профессор, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Яворский В.Н к.т.н., технический инспектор Днепропетровской территориальной организации профсоюза работников угольной промышленности, Яворский А.В. к.т.н., доцент, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
(Украина)*

С целью анализа напряженно-деформированного состояния системы «кровля - целики - почва» разработан расчетный алгоритм, в основу которого положен метод граничных элементов и аналитическое решение задачи Кельвина. Поставленная задача геомеханики решена в дополнительных напряжениях. Выполненный нелинейный множественный корреляционный анализ полученных результатов позволил установить уравнения регрессии для максимальных значений сближений кровли и почвы в процентах от мощности пласта.

Ключевые слова: геомеханика, «кровля - целики - почва», камера, нагрузка, массив, уравнение регрессии.

Введение. Энергетической стратегией Украины до 2030 года предусмотрено значительное увеличение доли угля в топливно-энергетическом балансе Украины. В связи с этим выемка тонких пластов и ленточных целиков мощностью 0,6...1,2 м, в которых на эксплуатируемых месторождениях сосредоточено до 70% запасов кондиционных углей, стала одной из важнейших проблем. Сложность ее решения на шахтах Западного Донбасса объясняется специфическими горно-геологическими условиями. Угли в этом регионе достаточно прочные (коэффициент крепости по М.М.Протодяконову $f = 2,0...3,5$), а вмещающие породы - аргиллиты, алевролиты и песчаники слабоустойчивы ($f = 0,8...2,5$). Поэтому применявшиеся в свое время бурошнековые машины в этих условиях оказались малоэффективными: режущие органы зачастую не справлялись с крепкими углями, а из-за слабой устойчивости пород между камерами приходилось оставлять широкие целики. Ситуация несколько улучшилась после перехода на установки БЗМ-1М с усовершенствованными режущими органами, но потери угля оставались значительными.

Актуальность работы. Более рациональной в этих условиях может быть выемка угля ряда или блока камер с оставлением междукamerных целиков относительно малой ширины и достаточно широких опорных – между блоками. В целях снижения потерь целесообразно междукamerные целики уменьшить до минимума, допуская их раздавливание после выемки блока. При этом можно воспользоваться и более эффективной техникой, например, угольным нарезным комбайном «Днепр», но при условии поддержания кровли камеры индивидуальной крепью.

Во всех случаях для обоснования параметров принятых систем разработки необходимы тщательные исследования геомеханических процессов, происходящих в массиве пород вокруг блока камер и целиков угля.

Целью статьи является анализ напряженно-деформированного состояния системы «кровля - целики - почва» при помощи разработанного расчетного алгоритма.

Состояние вопроса.

Различные аспекты разрушения угольного пласта и слабых вмещающих пород в окрестности очистных выработок рассмотрены в работах О.В. Колоколова, А.Ф. Курносова, Н.А. Лубенца, А.Н. Зорина, В.Г. Колесникова, и др. Вместе с тем в большинстве известных методик целики рассчитываются без учета фактора времени

ізолювано від кровлі і ґрунту. Вважається, що вони навантажуються рівномірно вагою товщини порід до самої поверхності, що невірно в разі ціликів різної ширини. Застосовується також гіпотеза сводоутворення М.М. Протодіяконова (А.А. Борисов, Ф.П. Бублик, Г.Е. Гулевич, С.В. Ветров, П.П. Корж і др.), але для визначення розмірів свода обвалення потрібні дані натурних спостережень.

Поточина частіше за все розраховується за схемою балки, величина прольоту якої залежить від ширини блоку камер і кута обвалення порід кровлі (Ю.А. Модестов, С.Г. Борисенко, Е.І. Камський, Ю.Б. Губенін і др.). Це знову-таки вимагає проведення якщо не шахтних, то лабораторних досліджень.

Для розглянутих горно-геологічних умов не можна скористатися і аналітичними рішеннями плоских задач геомеханіки о масивах, ослаблених нескінченним або кінцевим числом порожнин різної форми, т.к. всі вони отримані для однорідних серед і в них не враховуються реологічні властивості порід (Г.Н. Савін, Л.Д. Шевяков, Д.І. Шерман, А.С. Космодамианський, В.В. Рахимов, Л.І. Ільштейн і др.).

Багаточисленні рішення задач, виконані відомими чисельними методами кінцевих і граничних елементів, хоча і відносяться до неоднорідних серед, враховують спільне деформування кровлі, ціликів і ґрунту, в тому числі і в часі, стосуються конкретних технологічних схем, конкретних горно-геологічних умов (Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаєв, Ю.М. Лібсман, А.В. Усатенко, Л.В. Новикова, Е.А. Сдвижкова і др.) і також не можуть бути використані для обґрунтування параметрів камерної системи в разі міцних вугілля і слабких порід.

І ще один дуже важливий аспект, який залишився поза увагою дослідників, – це ймовірнісна природа зміни фізико-механічних властивостей неоднорідного масиву слабких порід. Цей фактор є визначальним не тільки при оцінці напружено-деформованого стану самого масиву гірських порід, але і при вирішенні питань, пов'язаних з оцінкою надійності обладнання і технології ведення очистних робіт (К.Ф. Сапіцький, С.М. Липкович, Н.Н. Лебедев і др.).

Основна частина.

В цій роботі для підвищення надійності проектуваної камерної системи розробки враховувалася ймовірнісна природа фізико-механічних характеристик порід, обумовлена неоднорідністю масиву, і зміна їх в часі.

Збільшення розмірів міжкамерних ціликів різко підвищує експлуатаційні втрати корисного копалини. Це обумовлює необхідність або введення систем розробки з закладкою виработаного простору, або вдосконалення конструктивних схем і параметрів камерної системи.

І в тому і в іншому разі необхідний ретельний аналіз напружено-деформованого стану системи «кровля – цілики – ґрунт».

Для цієї мети автори розробили розрахунковий алгоритм, в основі якого метод граничних елементів і аналітичне рішення задачі Кельвіна [1, 2]. Вихідна система рівнянь для визначення напружень і переміщень в досліджуваній області масиву в околицях ряду виемочних камер і міжкамерних ціликів формується в відповідності з заданими умовами на контурах виемочних камер. Розрахунок виконується на дію впливу сил ваги порід. Використовується модель лінійної ползучості з ядром Абелья. Поставлена задача геомеханіки розв'язується в додаткових напруженнях. Повні напруження припускаються рівними сумі початкових, існуючих в масиві до початку розробки (в будь-якій точці і на нескінченності в вертикальному напрямку $(\sigma_{yy})_0 = \gamma H$, а в горизонтальному $(\sigma_{xx})_0 = \lambda \gamma H$; γ – об'ємна густина породи, т/м³; $\lambda = \nu/(1-\nu)$ – коефіцієнт бокового опору; ν – коефіцієнт Пуассона породи), і додаткових, обумовлених утворенням камер і міжкамерних ціликів. Оскільки на контурах камер повні напруження рівні нулю, на цих контурах стають відомими

дополнительные напряжения, что и учитывается при составлении исходной системы уравнений.

Основными этапами расчета являются:

- аппроксимация границ исследуемой области конечными элементами и задания в каждом из них граничных условий;
- введение в каждом граничном элементе неизвестных фиктивных нормальных P_y и тангенциальных P_x равномерно распределенных нагрузок;
- выражение с помощью аналитического решения задачи Кельвина напряжений и перемещений в каждом граничном элементе через неизвестные «фиктивные» нагрузки P_x и P_y , вычисление коэффициентов влияния, формирование системы уравнений для определения P_x и P_y ;
- решение полученной системы алгебраических уравнений (в разработанном алгоритме используется метод Гаусса), вычисление нагрузок P_x и P_y , обеспечивающих вместе с реальной действующей нагрузкой от веса пород выполнение заданных граничных условий;
- вычисление напряжений и перемещений на границах и в любой внутренней точке исследуемой области с помощью найденных фиктивных нагрузок по методу суперпозиции.

Таким образом, исходная система уравнений формируется с помощью соотношений следующего вида:

- для перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях

$$\begin{aligned} u_y^i &= \sum_{j=1}^N B_{yx}^{ij} P_x^j + \sum_{j=1}^N B_{yy}^{ij} P_y^j, \\ u_x^i &= \sum_{j=1}^N B_{xx}^{ij} P_x^j + \sum_{j=1}^N B_{xy}^{ij} P_y^j; \end{aligned} \quad (1)$$

- для соответствующих напряжений

$$\begin{aligned} s_y^i &= \sum_{j=1}^N A_{yx}^{ij} P_x^j + \sum_{j=1}^N A_{yy}^{ij} P_y^j, \\ s_x^i &= \sum_{j=1}^N A_{xx}^{ij} P_x^j + \sum_{j=1}^N A_{xy}^{ij} P_y^j. \end{aligned} \quad (2)$$

В соотношениях (1) и (2) N – количество граничных элементов; B_{yx}^{ij} , B_{yy}^{ij} , B_{xx}^{ij} , B_{xy}^{ij} – коэффициенты влияния перемещений; A_{yx}^{ij} , A_{yy}^{ij} , A_{xx}^{ij} , A_{xy}^{ij} – коэффициенты влияния напряжений.

Формулы для определения коэффициентов влияния, полученные с использованием упомянутого аналитического решения, приведены в монографии [3].

Исследуемая область породного массива включает три выемочные камеры, два опорных и два междукамерных целика. Рассматриваются горно-геологические условия шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Отложения каменноугольной свиты представлены в этом месторождении аргиллитами и алевролитами, кое-где песчаниками и многочисленными пластами и пропластками каменного угля. Залегание пород и пласта пологое. Отложение покрывающих свит представлены песками, глинами и суглинками общей мощностью до 120 м. Угольные пласты различной мощности от 0,55 м до 1,28 м залегают на разных глубинах – от 90 м до 480 м. На разных шахтах кровля и почва

пластов сложены перечисленными породами, предел прочности которых на сжатие $(\sigma_c)_n$ принимает значения, принадлежащие интервалу 8...40 МПа, а модуль упругости E_n – интервалу $0,1 \cdot 10^4 \dots 2,26 \cdot 10^4$ МПа. Средние значения объемной плотности и коэффициента Пуассона вмещающих пород составляют соответственно $\gamma_n = 2,65 \text{ т/м}^3$, $\nu_n = 0,3$.

Характеристики угля при коэффициенте вариации $V = 0,25$ имеют средние значения: $\gamma_y = 1,47 \text{ т/м}^3$, $E_y = 3,5 \cdot 10^3$ МПа, $(\sigma_c)_y = 35$ МПа, $\nu_y = 0,4$.

Ширина обрабатываемого столба определяется по формуле

$A = na + (n-1)b$, в которой b – ширина междукамерного целика, м; a – ширина камеры, м; n – количество камер в выделенном блоке.

Параметр A принимал в расчетах значения 4,8...8,7 м, а ширина опорного целика b_1 полагалась равной $2b$.

Таким образом, исходные данные к расчету – физико-механические E_y/E_n , $\gamma_n H/(\sigma_c)_y$ и геометрические a/b и b/m параметры имеют вероятностную природу. Поэтому расчет по разработанному алгоритму производился при различных значениях указанных величин:

$$E_y/E_n \in [0,15; 0,39; 1,25], \gamma_n H/(\sigma_c)_y \in [0,05; 0,11; 0,23; 0,36],$$

$$a/b \in [1,55; 1,75; 2,33; 3,50; 4,66],$$

$$b/m \in [0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6].$$

Высота камер и целиков равнялась мощности m вынимаемого пласта.

Модули упругости пород в соответствии с принятой моделью деформирования определялись через известную функцию ползучести с учетом того, что полный технологический цикл по отработке бурового оборудования одной камеры шириной 2,1 м и длиной 30 м составляет 6 часов. Согласно данным ВНИИ [4] параметр ползучести α угля и пород полагался равным 0,7, а параметры δ аргиллита, алевролита, песчаника и угля соответственно имели значения:

$$1,17 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-0,3}, 5,54 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-0,3}, 3,28 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-0,3}, 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-0,3}.$$

Результаты исследований.

Рассмотренные комбинации значений перечисленных параметров из возможных интервалов их изменений составили 180 расчетных вариантов.

Выполненный по известной методике [5] нелинейный множественный корреляционный анализ полученных результатов позволил установить уравнения регрессии для максимальных значений сближений кровли и почвы в процентах от мощности пласта:

$$\frac{\Delta u_y}{m} = -0,965 + 6,739 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} - \frac{E_y}{E_n} \left(1,044 - 0,640 \frac{a}{b} - 1,195 \frac{b}{m} \right),$$

(3)

а также для отношений максимальных растягивающих напряжений σ_{xx} в кровле к $\gamma_n H$:

$$\frac{(\sigma_{xx})_{кр}}{\gamma_n H} = 0,284 + 0,116 \frac{a}{b} + \frac{b}{m} \left(0,00874 \frac{E_y}{E_n} - 0,0934 \right).$$

(4)

Для междукамерных целиков получены соотношения

$$\frac{(\sigma_{yy})_{\max}}{\gamma_n H} = -3,555 + \frac{E_y}{E_n} \left(1,736 - 1,130 \frac{a}{b} \right) - 0,523 \frac{b}{m},$$

(5)

$$\frac{(\sigma_{\text{экв}})_{\text{max}}}{\gamma_n H} = 1,344 + \frac{a}{b} \left(0,296 \frac{E_y}{E_n} + 0,591 \right) - 0,665 \frac{b}{m},$$

где $(\sigma_{yy})_{\text{max}}$ и $(\sigma_{\text{экв}})_{\text{max}}$ - нормальное σ_{yy} и эквивалентное $\sigma_{\text{экв}}$ напряжения в опасном сечении целика. Эквивалентные напряжения определялись по критерию П.П. Баландина:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{(1-y)(s_1+s_3) + \sqrt{(1-y)^2(s_1+s_3)^2 + 4y(s_1^2+s_3^2-s_1s_3)}}{2y},$$

где σ_1 и σ_3 – наибольшее и наименьшее главные напряжения;

$\psi = \sigma_p / \sigma_c$;

σ_p и σ_c - пределы прочности породы на растяжение и сжатие.

Для рассматриваемых пород $\psi = 0,1$.

Для опорных целиков установлена корреляционная зависимость вида

$$\frac{(\sigma_{yy})_{\text{max}}}{\gamma_n H} = -1,757 - \frac{a}{b} \left(0,436 \frac{E_y}{E_n} + 0,854 \right) - 0,509 \frac{b}{m}.$$

(6)

Выводы.

Полученные корреляционные соотношения (3) – (6) предназначены для определения параметров проектируемых камерных систем разработки пологих угольных пластов в слабых породах. По ним, в частности, определялись рациональные параметры бурошнечковой выемки угля в условиях шахт Западного Донбасса ($m = 0,8$ м; $H = 160$ м; $a = 2,1$ м; $b_1 = 1,2$ м; $b = 0,6$ м).

Промышленная проверка на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» подтвердила их эффективность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / Крауч С., Старфилд А. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
2. Технология отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса [Текст]: моногр. / [В.И. Бузило, В.М. Яворский, А.Г. Кошка и др.] – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 95 с.
3. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики. / [Новикова Л.В., Пономаренко П.И., Приходько В.В., Морозов И.Т.]. – Днепропетровск: Наука и образование, 1997. – 178 с.
4. Рекомендации по расчету смещений контура и нагрузок на крепь горных выработок по экспериментальным показателям деформирования пород за пределом прочности. – Л.: ВНИМИ, 1982. – 36 с.
5. Львовский Е.Н. Статистический метод построения эмпирических формул / Львовский Е.Н. – М.: Высшая школа, 1982. – 223 с.

З метою аналізу напружено-деформованого стану системи «покрівля - цілики - почва» розроблений розрахунковий алгоритм, в основу якого покладено метод граничних елементів і аналітичне рішення задачі Кельвіна. Поставлена задача геомеханіки вирішена в додаткових напруженнях. Виконаний нелінійний множинний кореляційний аналіз отриманих результатів дозволив встановити рівняння регресії для максимальних значень зближень покрівлі і ґрунту у відсотках від потужності пласта.

Ключові слова: геомеханіка, «покрівля - цілики - почва», камера, навантаження, масив, рівняння регресії.

In order to analyze stress - strain state of the «roof - pillars - ground» system calculation algorithm was developed, which is based on boundary element method and analytical solution of Kelvin task. This geomechanical problem is solved in additional stresses. Non-linear multiple

correlation analysis of results allowed to find out the regression equation for the maximum values of roof and ground convergence in percentage of seam thickness.

Keywords: geomechanics, «roof - pillars - the ground,» chamber, load, massive, the regression equation.

УДК 665.71:662.61

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ КАПЕЛЬ СОАПСТОКА РАПСА

Гусев В.Н.

Херсонская государственная морская академия

Кулик М.И.

Национальный университет имени В.Н. Каразина, г Харьков

В работе рассмотрен вопрос о воспламенении капли – переход от испарения к устойчивому горению единичной капли соапстока рапса, проведено исследование о возможности использования соапстока, как самостоятельного топлива, или как добавки в топливо, традиционно применяемого в теплоэнергетических установках.

Ключевые слова: капля, воспламенение, топливо, топочная камера, период индукции, энергия активации.

Введение. В связи с повышенной необходимостью экономии энергии в Украине и, в частности, топлива, получаемого из нефти, ведутся исследования в области поиска новых видов топлив не нефтяного происхождения, или так называемых альтернативных топлив, желательно чтобы эти топлива были из возобновляемых источников, для всех видов энергетических установок.

Наиболее интенсивно исследовательские и экспериментальные работы ведутся в направлении использования в энергетических установках биотоплива, к ним относится топливо на основе растительных жиров.

Отметим, что при производстве некоторых видов биотоплива – биодизеля, рафинированных растительных масел, например рапсового масла, образуются значительные объемы жидких отходов – соапстоков – горючих жидкостей, а, следовательно, появляется вопрос: возможно ли использования соапстока рапса, как самостоятельного топлива, или как добавку в топливо, традиционно применяемого в теплоэнергетических установках?

Для понимания особенностей протекания рабочего процесса в камерах сгорания разработки конструкций топочной камеры и обоснования требований к качеству топлив, а также правильного решения ряда практических вопросов применения топлив, необходимо изучение основных закономерностей, в частности определяющих воспламенение топлив.

Поскольку в топочной камере горение факела распыленного жидкого топлива определяется в значительной мере движением и горением отдельных капель и условиями их взаимодействия, поэтому в ряде работ [1-4] уделяется большое внимание исследованию простейшего случая – сжиганию единичной капли топлив для всех видов энергетических установок. Отметим, что этот казался бы простейший случай – весьма сложен. Ход процесса зависит от гидродинамических факторов, температуры и состава окружающей среды, кинетических условий. При обтекании капель газовым потоком тепло- и массообмен не одинаков по поверхности капель. Кроме того, перенос паров и изменение плотности газа из-за горения и теплообмена влияют на условия обтекания.

Вопрос о воспламенении капли – переход от испарения к устойчивому горению единичной капли новых жидких видов альтернативных топлив, из возобновляемых источников для энергетических установок на сегодняшний день изучен недостаточно, поэтому **актуальность данной работы** в области физики горения не вызывает сомнения.

Цель данной работы – провести исследования по воспламенению капли соапстока рапса и возможности использования соапстока рапса, как самостоятельного топлива, или как добавку в топливо, традиционно применяемого в теплоэнергетических установках.

Чтобы выявить общие закономерности процесса воспламенения капли соапстока рапса и получить полезную информацию о сравнительных характеристиках горения топлив, необходимо решить **ряд задач**: создать современные экспериментальные установки, разработать методы оценки воспламеняемости единичных капель горючих жидкостей в потоке воздуха, провести теоретико-экспериментальные исследования.

Изложение основного материала. Для понимания особенностей протекания рабочего процесса в камерах сгорания разработки конструкций топочной камеры и обоснования требований к качеству топлив, а также правильного решения ряда практических вопросов применения топлив, необходимо изучение основных закономерностей, в частности определяющих воспламенение топлив, в данном случае воспламенение капли соапстока.

Как известно, воспламенение капли происходит лишь тогда, когда над ее поверхностью образовывается горючая смесь из паров жидкости и воздуха, параметры которой (концентрация и температура) соответствуют условиям воспламенения данной жидкости.

Температура, при которой происходит переход от режима испарения к режиму устойчивого горения капли – температура воспламенения.

При любом механизме процесса воспламенения появлению пламени предшествует период относительно медленного нарастания скорости реакции, соответствующей разогреванию горючей смеси в условиях медленного повышения температуры при тепловом воспламенении. Этот период называется периодом задержки (индукции) воспламенения.

Температура воспламенения и период индукции воспламенения являются важнейшими параметрами, характеризующими воспламеняемость топлива. Однако обе эти величины не являются физическими константами, так как зависят не только от свойств топлива, но и от состава смеси, начальных значений давления и температуры, условий теплообмена, размеров и материала аппаратов, в которых происходит воспламенение, а также мощности источника зажигания (при принудительном воспламенении).

Таким образом, **основной задачей**, стоящей перед теорией воспламенения капли жидкого топлива, является определение: температуры воспламенения; времени задержки (индукции) воспламенения; радиуса

воспламенения – расстояния от капли, которое характеризует возникновение очага воспламенения.

К сожалению, исследователи в большинстве случаев определяют не все из перечисленных характеристик воспламенения капли, а только некоторые из них.

Для проведения экспериментов авторами под руководством профессора Селиванова С.Е. в Херсонской государственной морской академии создана установка позволяющая исследовать кинетику воспламенения горючих жидкостей в потоке нагретого воздуха.

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1, а ее фрагмент на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки по определению воспламеняемости неподвижной (подвешенной) капли жидкого топлива в потоке воздуха

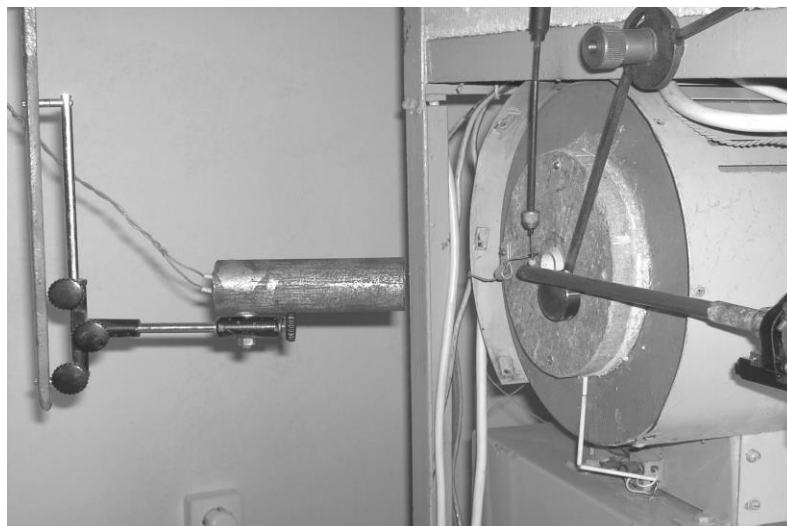


Рис. 2. Фрагмент експериментальної установки по визначенню
воспалюваності нерухомої (підвішеної) краплі рідкого
палива в потоці повітря

Методика проведення досліджень зводиться до визначення показувальних спалахування і горіння краплі. Для проведення експериментальних досліджень включається установка, задається визначена температура нагріву трубчатих електричних печей, а з допомогою повітродувки створюється необхідна стабілізована швидкість потоку повітря в трубці печей з виходом з сопла Витошинського. Для контролю швидкості потоку нагрітого повітря на виході з сопла Витошинського застосовується датчик масового витрати повітря термоанемометричного дії підключеного до вольтметра. Зная показання по шкалі вольтметра і використовуючи таблицю визначається витрата повітря, а враховуючи вихідне сечення сопла Витошинського визначається швидкість нагрітого потоку повітря. Після визначеної швидкості нагрітого потоку повітря і встановленої заданої температури повітря, для проведення експерименту, потік повітря перекривається захисним екраном. Крапля досліджуваної рідини підвішується на спеціальному підвесі, відводиться захисний екран і крапля розміщується точно по осі нагрітого потоку повітря з П-образним профілем швидкості, який створюється на виході сопла Витошинського, і в цей же момент з допомогою геркона замикається електрична ланка, включається схема реєструючого блоку (періоду індукції). Після проведення експериментів по спалахуванню і горінню краплі рідини підвіс виводиться з потоку повітря, на місце краплі стає кулька термопары і повторно визначається температура потоку повітря в тому місці, де знаходилася крапля.

Для дослідження спалахування і горіння краплі швидкість потоку підтримувалася рівною $v = (1,7 \pm 0,1)$ м/с, що відповідає $Re = 35$. Така швидкість вибрана для уникнення сльозу пламени з краплі. Крапля визначеного розміру підвішується на підвесі і розміщується в потік нагрітого, до заданої температури, повітря.

Температура потоку повітря змінюється в широкому діапазоні, до 750 °С.

В процесі експерименту визначається температура спалахування, час затримки спалахування (період індукції).

Якщо крапля спалахнула, то з допомогою фотоелемента включається реєструючий блок, фіксує час горіння краплі. Відрахунок часу здійснюється за допомогою зібраної електронної схеми з фотоелементом і електронними лічильниками. Зйомка початкового діаметра краплі і його зменшення в процесі горіння краплі здійснюється з допомогою цифрової фотокамери Panasonic – Lumix DMC-FZ7.

За температуру спалахування краплі в потоці вибирається мінімальна температура потоку, при якій пламя охоплює краплю одразу ж після введення її в потік. Період індукції (час затримки

воспламенения) измеряется от помещения капли в поток до появления пламени, далее измеряется время горения капли.

Экспериментальные исследования по определению температуры воспламенения горючих жидкостей проводились с начальным размером капли равным $d = (2,0 \pm 0,08) \cdot 10^{-3}$ м. Как правило, опыт с каплями данного диаметра повторялся десятки раз и из этих опытов бралось среднее.

Экспериментально полученные значения температур воспламенения и периодов индукции для капли соапстока рапса и для сравнения разных горючих жидкостей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные температуры воспламенения и периода индукции разных горючих жидкостей

Горючая жидкость	Температура воспламенения, К	Период индукции, с
ДТ	1018	1,1
МЭРМ	983	2,7
РМ	976	6,7
Соапсток	938	2,8
М40	968	2,1

Из данных представленных в таблице 1 видно, что минимальную температуру воспламенения $T_{\hat{a}} = 938$ К имеет соапсток, а максимальную $T_{\hat{a}} = 1018$ К – ДТ (дизельное топливо).

Поскольку на сегодняшний день, из выбранных нами для исследования жидких топлив, наиболее не изучена кинетика воспламенения соапстока, то дальнейшее исследование по воспламенению капли в потоке будем проводить с соапстоком.

Характер воспламенения капель жидких топлив существенно зависит от скорости обдувающего потока, поэтому представляет интерес исследовать зависимость $\hat{O}_{\hat{a}}$ от скорости потока воздуха v , а именно от $v_1 = 1,1$ м/с до $v_2 = 1,9$ м/с с шагом 0,2 м/с при постоянном диаметре капли $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

На рис. 3 представлен график зависимости температуры воспламенения капли соапстока и для сравнения рапсового масла (РМ).

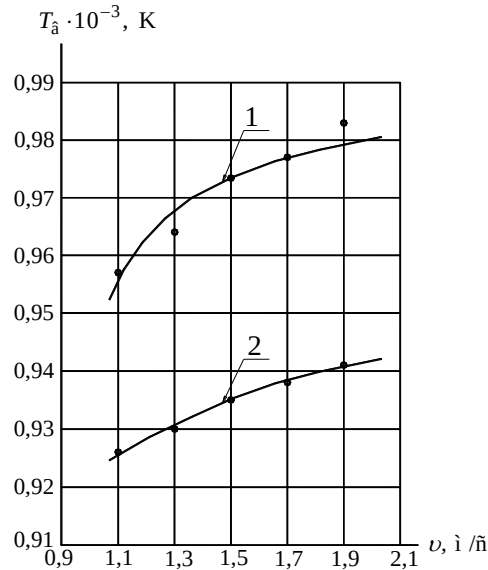


Рис. 3. Зависимость температуры воспламенения капли РМ (1) и соапстока (2) от скорости потока воздуха

Из построенной зависимости видно, что с увеличением скорости потока воздуха температура воспламенения растет.

Одновременно строим зависимость температуры воспламенения от диаметра поверхности капли соапстока $T_a = f(d)$ (при $Re = const$) представленную на рис. 4.

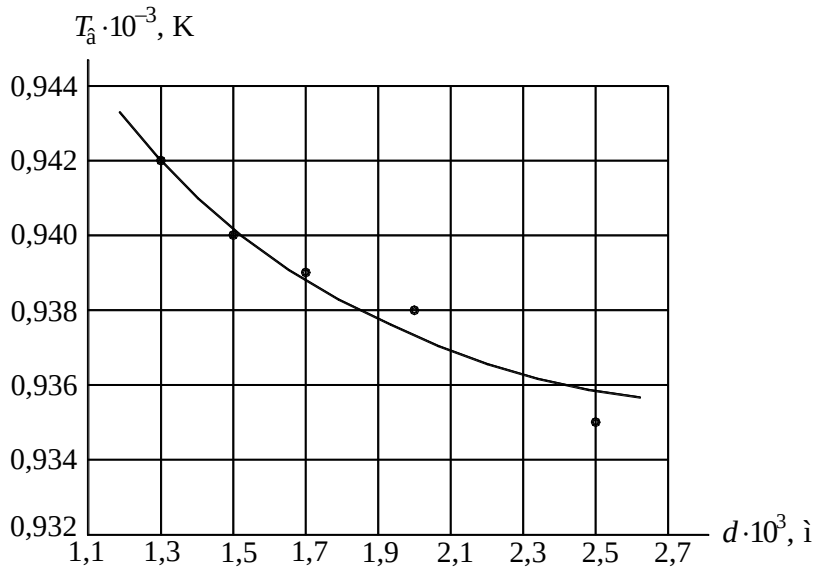


Рис. 4. Зависимость температуры воспламенения капли соапстока от диаметра капли

Из графика 4 видно, что с увеличением диаметра капли температура воспламенения соапстока уменьшается, что согласуется с теорией Н.Н. Семенова [5, 6]. Однако по Н.Н. Семенову реакция идет по всему объему капли, т.е. при условии реакции $v_o = \rho V v_V$, условии теплообмена $Nu = const$, а время тепловой релаксации (прогрева или охлаждения) вещества $t_e \sim d^2$ и

$\left(\frac{\tau_o}{t_e}\right) \propto \frac{1}{d^2}$, тоді згідно [5] запишемо $d^2 \exp(-E/RT_{\hat{a}}) = \text{const}$. Коли має місце поверхнева реакція $\nu_o = \rho S \nu_s$ всі математичні розсуждення аналогічні тим, коли реакція йде по всьому об'єму, т.е. в цьому випадку $Nu = \text{const}$, τ_o – мінімальний (адіабатический) період індукції $\sim d$, $t_e \sim d^2$, $\left(\frac{\tau_o}{t_e}\right) \propto \frac{1}{d}$, а $d \exp(-E/RT_{\hat{a}}) = \text{const}$. При воспламененні краплі в потоці:

$$Nu \propto \sqrt{Re}, \quad Re \propto d, \quad \text{то} \quad Nu \propto \sqrt{d}, \quad \tau_o \sim d, \quad t_e \propto d^{3/2}, \quad \left(\frac{\tau_o}{t_e}\right) \propto \frac{1}{\sqrt{d}}, \quad \text{а}$$

$$\sqrt{d} \exp(-E/RT_{\hat{a}}) = \text{const}.$$

Як видно з вищесказанного, во всіх випадках з збільшенням діаметра краплі температура воспламенення зменшується, однак коли має місце поверхнева реакція, ця залежність більш слабка, ніж в випадку об'ємної реакції, і ще більш ослабевает при обдуві краплі.

Так, наприклад (ілюстративний), якщо розміри крапель відрізняються в 10 раз, а енергія активації $\sim E = 210$ кДж/моль, то різниця між температурами воспламенення таких крапель становить 200 град. для об'ємної реакції, 100 град. для поверхневої і 50 град. при воспламененні крапель в потоці.

Відомо, що основним умовою воспламенення є рівність тепловиділення Q_1 і теплоотвода Q_2 з одиниці об'єму парогазової суміші навколо краплі

$$Q_1 = Q_2, \quad (1)$$

а умовою максимуму хімічної реакції [7]

$$\left(\frac{dW}{dT}\right)_{T=T_{\hat{a}}} = 0, \quad (2)$$

де W – швидкість хімічної реакції.

В роботі [8] проведено рішення системи (1) і (2), отримано критичне умовою для воспламенення краплі горючої рідини в потоці, з якого залежність температури воспламенення від швидкості потоку при $r = \text{const}$ може бути в першому наближенні апроксимована залежністю: $\exp(-E/RT_{\infty}) \sim Re^{1.3}$.

Побудуємо залежність в координатах $\ln Re = f(1/T_{\hat{a}})$ (рис. 5) для соапстока і для порівняння РМ.

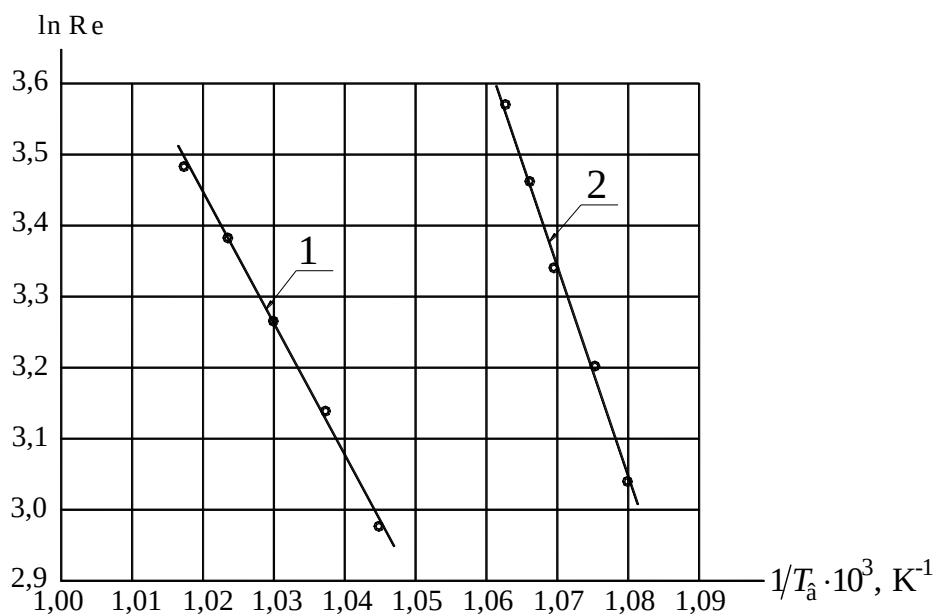


Рис. 5. Зависимость в координатах $\ln Re = f(1/T_a)$ для капель РМ (1) и соапстока (2)

Как видно из построенной зависимости в координатах $\ln Re = f(1/T_a)$ экспериментальные точки укладываются на прямые линии с тангенсом угла наклона равным $E/1,3R$. По тангенсу угла наклона прямой определена энергия активации топлива РМ: $E = 200$ кДж/моль ($E = 48$ ккал/моль) и соапстока: $E = 319$ кДж/моль ($E = 76$ ккал/моль). Энергия активации минимальная энергия реагентов (атомов, молекул и других частиц) достаточная для того, чтобы они вступили в химическую реакцию. В общих случаях сложных реакций энергия активации называется эффективной (эмпирической, кажущейся).

Далее представляет интерес исследовать зависимость периода индукции, как от температуры обдувающего потока воздуха, так и от размеров капли горючей жидкости. Исследования проводились с каплями соапстока рапсового масла начальных размеров: $d_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $d_2 = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м; $d_3 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м в интервале температур (963 – 1083) К.

На рис. 6 представлены в графическом виде зависимости полного периода индукции ($t_{i_{\text{вс}}}$) от температуры потока ($\dot{O}$) для нескольких диаметров (d) капель соапстока.

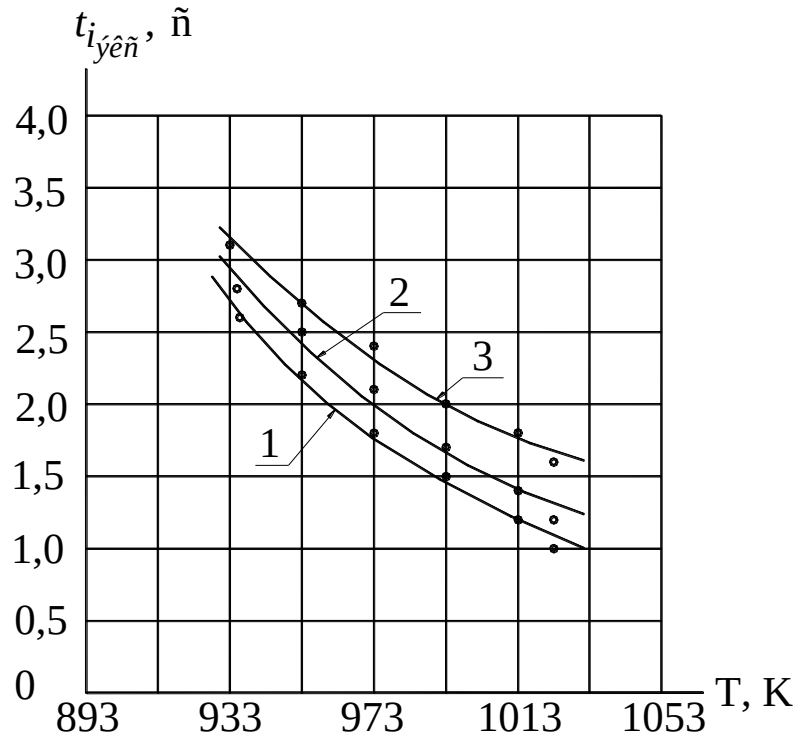


Рис. 6. Зависимость периода индукции от температуры потока для разного размера капли соапстока:

1 – $d_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м;

2 – $d_2 = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м;

3 – $d_3 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Как видно из рис. 6 с повышением температуры потока период индукции очень быстро уменьшается, стремясь к бесконечности ($t_{i_{y\hat{n}}} \rightarrow \infty$) при температуре потока T стремящейся к температуре воспламенения T_0 ($T \rightarrow T_0$).

Максимальный период индукции, зарегистрированный в экспериментах, был порядка 3,2 для соапстока диаметром $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м. При температуре, меньше 976 К и 933 К, ни одна из капель, исследуемых диаметров соапстока не воспламенилась.

Экспериментальная зависимость периода индукции $t_{i_{y\hat{n}}}$ от диаметра d капли соапстока при разных температурах $\dot{O}$ потока показана на и рис. 7.

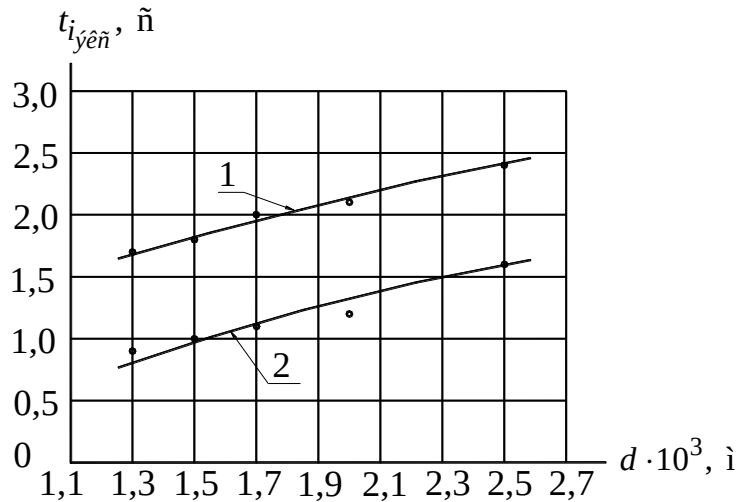


Рис. 7. Зависимость периода индукции от диаметра капель соапстока при разных температурах:

1 – $\dot{O} = 973$ K;

2 – $\dot{O} = 1023$ K.

Как видно рис. 7 период индукции $t_{i_{y\tilde{e}n}}$ возрастает с увеличением диаметра d капли при заданной температуре потока T . Такая зависимость периода индукции от диаметра капель наблюдается только в случае поверхностной реакции, поскольку в случае объемной реакции величина τ_i не зависит от d и период индукции в этом случае стремится к нулю при $d \rightarrow \infty$.

Из графика также видно, что характер зависимости $t_{i_{y\tilde{e}n}}(d)$ степенной, что согласуется с известными теоретическими исследованиями. Основное время в полном периоде индукции занимает время прогрева капли.

Выводы. По построенной зависимости в координатах $\ln Re = f(1/T_{\dot{a}})$ определена энергия активации соапстока $E = 319$ кДж/моль ($E = 76$ ккал/моль). Экспериментальные исследования периода индукции соапстока в зависимости от температуры воспламенения и диаметра капли показали: с повышением температуры потока период индукции очень быстро уменьшается, стремясь к бесконечности ($t_{i_{y\tilde{e}n}} \rightarrow \infty$) при температуре потока T стремящейся к температуре воспламенения T_o ($T \rightarrow T_o$); период индукции $t_{i_{y\tilde{e}n}}$ возрастает с увеличением диаметра d капли при заданной температуре потока T . Такая зависимость периода индукции от диаметра капель наблюдается только в случае поверхностной реакции, поскольку в случае объемной реакции, величина адиабатического периода индукции τ_i не зависит от d и период индукции в этом случае стремится к нулю при $d \rightarrow \infty$, что согласуется с теоретическими результатами. На основании проведенного исследования можно сделать вывод о перспективности использования

соапстока рапса, як горючого, наприклад, в виде добавки к традиційно використовуваному паливу (мазуту), що дозволить створити економію мазута в теплоенергетических установках.

В заключенні відзначимо, що для повноти знань о кінетики випаровування, запалення і горіння краплі в частині краплі соапстока рапса необхідно: провести далішні дослідження об'ємної швидкості випаровування крапель; провести термічний і термогравиметричний аналіз, визначити поверхню фронту горіння краплі, в'яснити недовгогоріння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тепло- и массообмен : 1966 г., Минск. Т. 5 / – Минск, 1966. – С. 965–974.
2. Горение неоднородных систем и научные основы сжигания топлива : материалы третьего всесоюзного совещания по теории горения, Т. 2. – М.: 1960. – С. 145–149.
3. Polimeropoulos C.E. Combust / C.E. Polimeropoulos, R.L. Peskin // Flame. – 1969. – 13. – Р. 1245–1249.
4. Горение и взрыв : материалы третьего Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву / Наука. – М.: 1972. – 150 с.
5. Семенов Н.Н. Цепные реакции / Н.Н. Семенов. – Л.: Госхимтехиздат, 1934. – 555 с.
6. Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности / Н.Н. Семенов. – М.: АН СССР, 1954. – 350 с.
7. Варшавский Г.А. Квазистационарная теория воспламенения капли жидкого топлива / Г.А. Варшавский, Д.В. Федосеев, А.Д. Франк-Каменецкий // Физика аэродисперсных систем. – 1969. – Вып. 1. – С. 101.
8. Калинин В.В. Горение капель бинарных смесей в потоке : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. физ.-мат. наук : 01.04.14 «Теплофизика» / В.В. Калинин. – Одесса, 1978. – 24 с.

Гусев В.М., Кулик М.І. ЗАПАЛЕННЯ КРАПЕЛЬ СОАПСТОКА РАПСУ

У роботі розглянуте питання про запалення краплі – перехід від випару до стійкого горіння одиної краплі соапстока рапсу, проведені дослідження про можливість використання соапстока, як самостійного палива, або як добавки в паливо, традиційно застосовуваного в теплоенергетических установках.

Ключові слова: крапля, запалення, паливо, топкова камера, період індукції, енергія активації.

Gusev V. N, Kulik M. I. IGNITION of DROPS SOAPSTOKA RAPSA

In work the question on drop ignition – transition from evaporation to steady burning of an individual drop soapstoka rapsa is considered, research about use possibility soapstoka, as independent fuel, or as additives in the fuel, traditionally applied in heat power installations is carried out.

Keywords: a drop, ignition, fuel, the top internal chamber, the period induction - time, energy of activation.

ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ДИСПЕРСНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

Добротвор І.Г.,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Розроблена технологія формування композитного матеріалу на основі епоксидних олигомерів з дисперсними наповнювачами, що надасть можливість створювати захисні покриття технологічного обладнання із оптимальними властивостями.

Ключові слова: епоксидні композиції, зв'язувач.

Вступ. Розвиток промисловості України передбачає впровадження ресурсо- і енергозберігаючих технологій, зниження металоємності механізмів і машин за рахунок використання полімерних композиційних матеріалів (КМ). Полімерні композитні матеріали на основі епоксидних смол, що містять дисперсні наповнювачі, мають широке використання у сучасній промисловості. До переваг такого класу матеріалів слід віднести розвинуту сировинну базу, високі питомі показники та є технологічність при формуванні у вигляді покриттів на довгомірних поверхнях складного профілю [1-3].

Актуальність досліджень. Цікавим з наукового і практичної точки зору є можливість використання амічних твердників, що дозволяє формувати покриття при кімнатних температурах. При їх затвердненні формується просторова сітка, параметри котрої можуть змінюватись під впливом твердої поверхні дисперсних наповнювачів з різною фізичною природою, а значить і різною активністю до епоксидного зв'язувача. Керування механізмами хімічної та фізичної взаємодії на межі поділу фаз надає можливість регулювання параметрами структури зв'язувача і як наслідок – їхніми експлуатаційними характеристиками. Тому важливою є розробка та удосконалення технології суміщення компонентів у композиті для їх реалізації у промисловому виробництві України.

Постановка задачі. Одним із основних завдань при формуванні КМ є забезпечення оптимальних умов фізико-хімічної взаємодії на межі поділу фаз «олігомер – наповнювач». При цьому, важливим є дослідження міжфазової взаємодії макромолекул зв'язувача з активними центрами на поверхні наповнювача при формуванні епоксикомпозитів. При їх твердненні формується просторова сітка, структура котрої може бути змінена при введенні наповнювачів різної фізичної природи. При певних умовах введення наповнювачів приводить до підвищення фізико-механічних характеристик КМ. Важливе значення має також дослідження впливу наповнювача на формування просторової сітки у матеріалі.

Метою роботи є розроблення алгоритму формування КМ із покращеними фізико-механічними властивостями а також дільниць технологічної схеми формування епоксидних композитів із дисперсним

наповненням до введення твердника, що надасть можливість формування захисних покриттів технологічного обладнання із оптимальними властивостями матеріалу.

Результати досліджень. Більшість таких матеріалів на основі епоксидного зв'язувача використовують у вигляді покриттів. Враховуючи умови формування на робочих поверхнях деталей машин використано зв'язувачі ЕД-16, ЕД-20, ЕД-22 (ГОСТ 10587-84), твердник поліетиленполіамін (ТУ 2413-357-00203447-99). При дослідженні враховували вимоги живучості (час, протягом якого матеріал можна формувати у виробі, у тому числі і у вигляді покриттів), які ставлять до олігомерного зв'язувача. Тому для поліпшення реологічних і адсорбційних властивостей зв'язувача, його пластифікували сумішшю поліефірних лаків. При вибраних режимах полімеризації пластифікація зв'язувача забезпечить кращий перебіг дифузійних процесів і, відповідно, поліпшить когезійні характеристики епоксидних систем.

Таблиця 1 – Характеристики компонентів епоксидних зв'язувачів

Характеристики	Епоксидний олігомер ЕД-16	Епоксидний олігомер ЕД-20	Епоксидний олігомер ЕД-22	Твердник ПЕПА
Молекулярна маса	620-420	390-430	350-380	230-250
Вміст епоксидних груп, %	16,0-18,0	20,0-22,5	22,1-23,5	–
Вміст гідроксильних груп, %	1,05	1,25	1,33	–
Вміст хлору, % за масою	0,2-0,5	0,3-0,6	0,3-0,7	–
Вміст азоту, % за масою		–	–	19,5-22,0
В'язкість, η , Па·с	5-18	12-20	7-12	0,9
Густина, ρ , г/см ³		1,16		1,05
Час желатинізації з твердником, год.	4,0	4,0-5,0	14-16	–

Епоксидну матрицю формували методом гідродинамічного суміщення компонентів з використанням пластифікаторів – поліефірного лаку ПЕ-220 та ПДЕА-4. Для визначення оптимального вмісту компонентів суміші досліджували властивості КМ під впливом динамічних навантажень і підвищених температур при різному вмісті компонентів. Характеристики епоксидних діанових олігомерів ЕД-16, ЕД-20, ЕД-22 і твердника ПЕПА наведено у табл. 1. Для поліпшення реологічних властивостей та адсорбційної взаємодії компонентів полімерної матриці у епоксидний олігомер слід вводити поліефір ПЕ-220 та полідіетилакрилат ПДЕА-4 у співвідношенні: ЕД-20:ПЕ-220:ПДЕА-4=10:2:1 [4]. Такий вміст інгредієнтів олігомерного зв'язувача поліпшує змочування дисперсних часток та забезпечує оптимальну швидкість перебігу процесів структуроутворення. Найчастіше серед олігомерів вибрали епоксидіановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Такий матеріал має малу усадку, високу адгезійну та

когезійну міцність, технологічність при нанесенні на довговимірні поверхні складного профілю, розвинуту сировинну базу [3].

Одним із важливих аспектів кінетики формування зон міжфазної взаємодії у матриці є вплив характеристик наповнювача [2]. Як наповнювачі використано дисперсні частки фєро- (фєрит марки 1500НМЗ, коричневий шлам), пара- (карбід бору, оксид міді) та діамагнітної (карбід кремнію, оксид алюмінію (ТУ 6-09-426-75)) природи. Вони характеризуються високою міцністю, твердістю та високим модулем пружності [4]. Для покращення фізико-механічних властивостей КМ використовували наповнювачі з дисперсністю від 40 до 120мкм (табл. 2). Коричневий шлам (КШ), як доступний та активний наповнювач, вводили з метою здешевлення композиції та збільшення адсорбційної взаємодії на межі фаз «полімер-наповнювач», за рахунок його значної кінетичної, хімічної і магнітної активності дисперсних часток. Характерною ознакою вибраних наповнювачів є наявність на поверхні гідроксильних груп. Такі групи та інші активні центри (обмінні іони, вакансії, дислокації тощо) мають підвищену адсорбційну і каталітичну активність, можуть блокуватися адсорбованими зв'язувачем молекулами води. Це негативно впливає на адгезію зв'язувача до субстрату, перешкоджає утворенню зв'язків між поверхнею наповнювача і полімером, тому, як правило такі наповнювачі перед введенням у олігомер термообробляють. При певних умовах введення наповнювачів приводить до підвищення фізико-механічних характеристик КМ. Процеси структуроутворення при формуванні композиту на межі поділу фаз «наповнювач – зв'язувач» суттєво впливають на властивості матеріалу у процесі експлуатації [3].

Формування зразків відбувалося протягом 12 год. при $T=293\pm 2K^{\circ}$. З метою стабілізації структурних процесів у матриці, зразки після витримки протягом 2-часової термообробки при $T=393\pm 2K^{\circ}$ повільно охолоджували до температури $T=293\pm 2K^{\circ}$ та витримували 9 год. на повітрі з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості дисперсних наповнювачів

Матеріал наповнювача	Густина, ρ , кг/м ³ ·10 ³	Границя міцн. при стисканні, МПа	Модуль пружності, Е, ГПа	Питома поверхня, м ² /г	ТКЛР, α , К ⁻¹ ·10 ⁻⁶
Фєрит	4,65	300	45-215	15,3	-
Оксид міді	6,40	1350	540	11,4	4,6
Оксид алюмінію	3,40-4,00	55,2-344,8	103-358	18,4	5,5-8,0
КШ	5,12-5,24	-	310	10-34	8,0-8,4
Карбід бору	2,54	1840	380-490	12,1	4,5
Карбід кремнію	3,22	1030	350-490	7,2	4,7
Газова сажа	1,9-2,04	-	-	10-1000	2-3

Вибір технологічних режимів формування епоксикомпозитних матеріалів є одним з основних напрямків покращення їхніх властивостей.

Регулюючи співвідношення інгредієнтів у композиції і режими термічного оброблення забезпечували отримання матеріалу з наперед заданими властивостями [4].

У даній роботі пропонується технологічна схема виробництва композиційного матеріалу із дисперсним наповнювачем, яка складається із 3 ділень. Кожна із ділень взаємозв'язана послідовно із іншою з метою покращення якості КМ.

Перша ділянка (рис. 1) виконана для функціональної підготовки рідкої фракції. В її схему входять наступні вузли обладнання: 1 – ємність для зберігання епоксидної діанової смоли, 2 – ємність для пластифікатора. Подача рідкої фракції відбувається при допомозі шлюзових живильників 3 марки Ш2-ХДБ. Процес дозування даних компонентів забезпечували дозаторами, які безпосередньо змонтовані в конічній частині ємностей. Дозатор 4 марки Ш2ХДА є ваговим дозатором. Дозуюча рідина, згідно встановленого складу композиції, зважується і при допомозі електромагнітного клапана 5 подається в змішувач 6 смоли і пластифікатора.

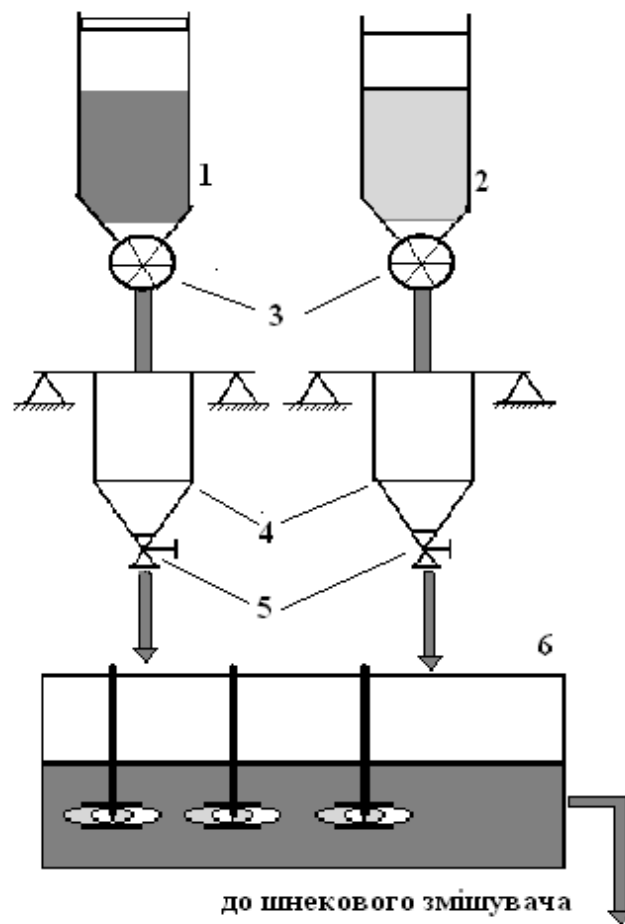


Рисунок 1 – Технологічна схема I ділянки підготовки рідкої фази композиції:

1 – ємність для зберігання епоксидної діанової смоли, 2 – ємність для пластифікатора, 3 – шлюзові живильники, 4 – ваговий дозатор, 5 – електромагнітний клапан, 6 – змішувач

Друга ділянка (рис. 2) призначена для підготовки і оброблення дисперсного наповнювача. Сипучий наповнювач із бункера 1 під дією потоку повітря, створеного вентилятором ВВД-5 високого тиску 2, і прогрітого до необхідної температури в калорифері 3, поступає в роторний живильник 4 марки М-125. Сипуча складова по пневмотранспорту 5 поступає в циклон-розвантажувач 6, де проходить ультрафіолетове оброблення (УФО) поверхні часток наповнювача для утворення додаткових активних центрів. Через фільтр 7 проходить розділення і відведення повітря із циклону. Шлюзовий живильник 8 поставляє оброблений наповнювач у ваговий дозатор 9 і через електромагнітний клапан 10 до шнекового змішувача.

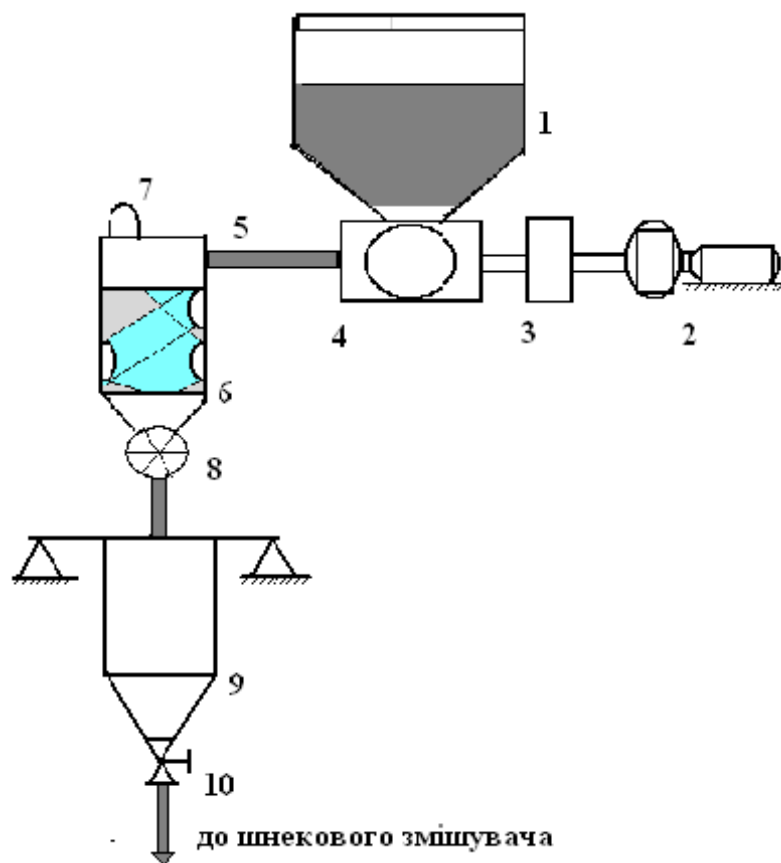


Рисунок 2. – Технологічна схема II ділянки підготовки сипучої фази композиції:

1 – бункер, 2 – вентилятор високого тиску, 3 – калорифер, 4 – роторний живильник, 5 – пневмотранспорт, 6 – циклон-розвантажувач, який додатково виконує функції опромінювання при необхідності, 7 – фільтр-роздільник відведення повітря з циклону, 8 – шлюзовий живильник, 9 – ваговий дозатор, 10 – електромагнітний клапан

На третій ділянці (рис. 3) дозовані рідкі і сипучі компоненти із I та II ділянок подаються в шнековий змішувач 1, де відбувається інтенсивне суміщення компонентів (взаємодія фаз) і проходить виділення повітряно-газової фракції через пристрій дегазації 2. В результаті цієї операції ми одержуємо рівномірну композицію високої якості. В залежності від рецептури композиту застосовуємо засоби вакуумування – вакуумний

насос 3. При необхідності (за вибраною технологією) композиція поступає в камеру УФО 4, після чого охолоджується в теплообміннику 5. Готова композиція подається в ємність 6, з якої при допомозі дозуючої апаратури 7 у тару. Тара при допомозі транспортера відвантажується на дільницю упаковки 9.

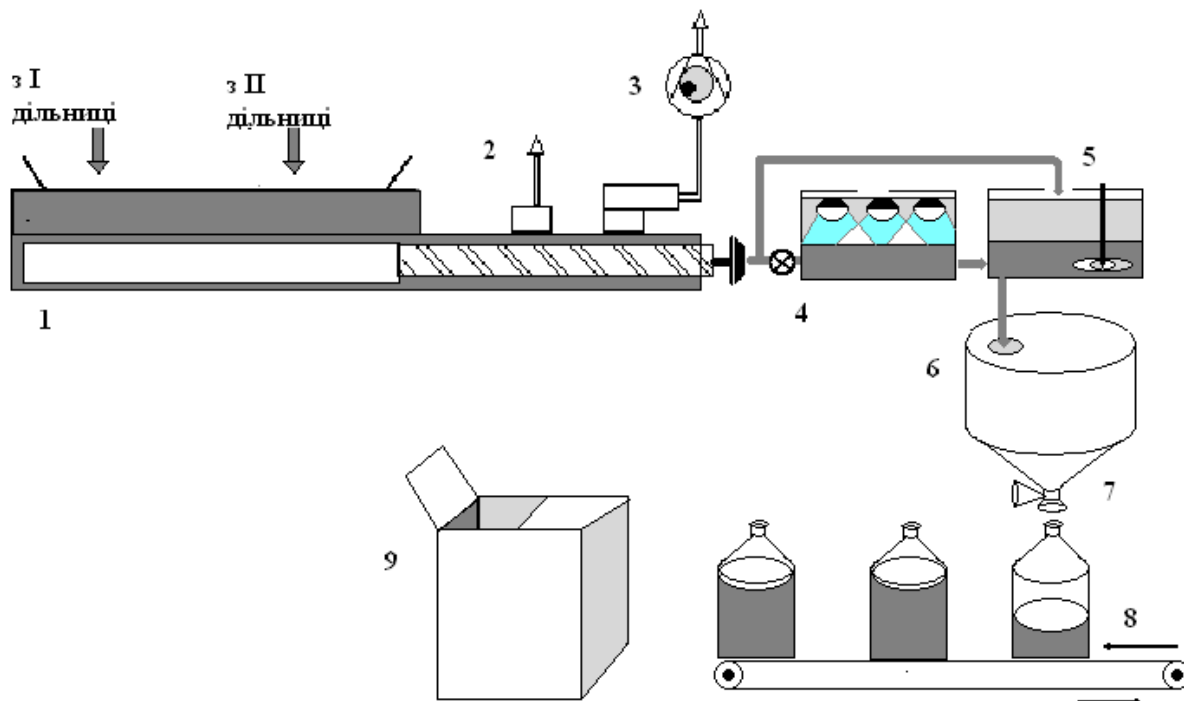


Рисунок 3. – Технологічна схема III дільниці:

1 – шнековий змішувач, 2 – пристрій дегазації, 3 – вакуумний насос, 4 – камера УФО, 5 – теплообмінник, 6 – ємність готової композиції, 7 – дозатор, 8 – транспортер, 9 – дільниця пакування

Проведені операції здійснюють до введення твердника. Тверднення епоксикомпозитів здійснювали поліетиленполіаміном (ПЕПА). Отриману композицію протягом 60-80 хв. наносять на попередньо обезжирену поверхню методом пневматичного розпилення. Полімеризовані покриття витримують протягом 24 год. при температурі $293 \pm 3 \text{ K}^\circ$ [4, 5].

Висновки. Запропонована в роботі технологія формування досліджень може бути використана і для матеріалів з наповнювачами різної фізичної природи та товщини покриття. Це дозволить в подальшому оптимізувати методи отримання КМ із наперед заданими властивостями. Комплексні експериментальні дослідження і впровадження розроблених покриттів підтверджують доцільність і високу ефективність їх використання у різних галузях промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров В. Дослідження реологічних і фізико-механічних властивостей матриці для епоксидних покриттів / Федоров В., Шкодзінський О., Білий Л. // Вісник ТДТУ. – 2006. – № 2. – С. 39–43.

2. Бартенев Г. М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленов. – М. : Высшая школа, 1983. – 256 с.

3. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина – М. : Химия, 1988. – 272 с.

4. Патент № 35187. Україна, МПК C09D 4/00. Спосіб отримання модифікованого епоксикомпозитного 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.

5. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.

Добротвор И.Г. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ДИСПЕРСНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработана технология формирования композитного материала на основе эпоксидных олигомеров с дисперсными наполнителями, которая дает возможность создания защитных покрытий технологических устройств с оптимальными свойствами.

Ключевые слова: эпоксидный композит, связующее.

Dobrotvor I.G. TECHNOLOGY OF FORMING EPOXY COMPOSITIONS WITH DISPERSED FILLERS FOR INDUSTRIAL USE

Developed the technology of forming a composite material based on epoxy oligomers with disperse fillers, which allows you to create a protective coating of technological devices with optimal properties.

Keywords: epoxy composites, binder.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Долгов Н.А.,

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины,

Букетова Н.Н.,

Херсонская государственная морская академия

В работе рассмотрены различные подходы для исследования остаточных напряжений в полимерных композиционных покрытиях. Показано, что величина остаточных напряжений существенно зависит от технологии формирования покрытий, их ингредиентов, а также от методики проведения эксперимента.

Ключевые слова: остаточные напряжения, покрытие, свойства.

Постановка проблемы. Сегодня полимерные композиционные материалы (КМ) широко используют с целью повышения эксплуатационных характеристик технологического оборудования различных отраслей промышленности. В первую очередь это связано с их высокими экономическими показателями от внедрения, сравнительно с традиционными металлами и сплавами, а также улучшенными адгезионными и когезионными свойствами. Следует заметить, что среди широкого спектра полимерных композитов в виде защитных покрытий широкого используют материалы на эпоксидной основе. Эпоксидные композиционные покрытия (КП) используют в химической, нефтеперерабатывающей промышленности и морском флоте в основном для повышения антикоррозионных свойств контейнеров, бункеров, машин и механизмов. При этом для увеличения долговечности на поверхность оборудования наносят двух- или многослойные функциональные покрытия, которые характеризуются улучшенной когезионной и адгезионной прочностью и, как следствие, коррозионной стойкостью.

Анализ последних публикаций. Влияние остаточных напряжений на несущую способность конструкций при статическом и циклическом нагружении общеизвестно [1, 2]. Следует отметить, что при статическом нагружении технологического оборудования в условиях нормальных температур остаточные напряжения несущественно влияют на понижение прочности материалов. Однако в условиях циклического нагружения, особенно при нагружении с малым уровнем напряжений в условиях эксплуатации оборудования морского флота, их влияние однозначно проявляется в существенном снижении предела выносливости материала и повышении скорости развития усталостной трещины. Кроме этого, растягивающие статочные напряжения являются основной причиной коррозионного растрескивания, вследствие чего наблюдали хрупкое разрушение металла при одновременном действии коррозионно-активной среды и механических напряжений [3].

Снижение остаточных напряжений в конструкциях и защитных покрытиях, как правило, является сложной проблемой. Как правило для снижения напряжений в защитные покрытия вводят волокнистые и дисперсные наполнители, проводят дополнительную термо- и импульсную электрообработку адгезивов, что способствует «электропластическому эффекту» и, как следствие, релаксации напряжений [1-3].

При этом следует отметить важное значение выбора методики оценки величины остаточных напряжений, что в свою очередь влияет на прогнозирование режимов формирования покрытий и подбор ингредиентов при оптимальных концентрациях для создания материалов с улучшенными прочностными свойствами. Исходя из этого, в работе предложен метод снижения остаточных напряжений в защитных покрытиях путем модификации частиц наполнителя, а также проведен сравнительный анализ недостатков и позитивных сторон двух простейших методик исследования остаточных напряжений.

Цель работы – исследовать влияние модификации частиц наполнителя на остаточные напряжения в эпоксидных покрытиях, а также провести сравнительный анализ недостатков и позитивных сторон методик исследования остаточных напряжений.

Материалы для исследований. В работе при создании полимерных КМ и КП использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). Полимерную матрицу формировали при таком соотношении компонентов [4, 5]:

- эпоксидный диановый олигомер марки ЕД-20 – 100 масс.ч.;
- пластификаторы: полидиэтилакрилат ПДЭА-4 – 20 масс.ч.;
полиэфир ПЭ-220 – 10 масс.ч.;
- отвердитель полиэтиленполиамин – 13 масс.ч.

При исследовании использовали дисперсные наполнители с различными магнитными свойствами и активностью к эпоксидной матрице. В частности, это ферромагнетик – коричневый шлам (КШ), парамагнетик – CuO и диамагнетик – Al_2O_3 . Дисперсность добавок – 63 мкм. Для улучшения степени сшивки матрицы дисперсные частицы модифицировали олигомерными компонентами. Как модификаторы для улучшения термодинамической совместимости компонентов гетерогенных систем выбраны ингредиенты связующего – эпоксидная диановая смола ЭД-20, полиэфир ПЭ-220 и ПДЭА-4.

Технология формирования покрытий и изготовления образцов. Физическую модификацию проводили вследствие аппретирования дисперсных частиц ингредиентами связующего. На начальном этапе вводили частицы в эпоксидную смолу или пластификатор и перемешивали композицию без отвердителя на протяжении $\tau = 4...5$ мин [4]. Далее на фильтровальную бумагу наносили композицию с минимально возможной толщиной слоя – $h = 80...100$ мкм. На следующем этапе термообработывали частицы наполнителя с целью формирования физических связей на границе

раздела фаз. Весовым методом установлено концентрацию модификаторов на поверхности дисперсных частиц – 8...12 масс.ч. на 100 масс.ч. дисперсного наполнителя. Дальнейшая термическая обработка наполнителя при $T = 353 \pm 2$ К на протяжении $\tau = 30 \pm 2$ мин обеспечивает увеличение адсорбции и взаимодействия макромолекул олигомера с кинетически активными центрами на поверхности частиц.

Формировали защитные покрытия на стальной основе (сталь Ст. 3) за экспериментально установленным режимом: формирование образцов и их выдержка на протяжении двух часов при температуре $T = (293 \pm 2)$ К; нагрев со скоростью 3 К/мин до температуры $T = (413 \pm 2)$ К и выдержка – 2,0 ч; медленное охлаждение до температуры 293 ± 2 К. Далее образцы выдерживали на протяжении 60 ч при комнатной температуре с последующим проведением испытаний.

Методика испытаний. Порошковые наполнители в эпоксидных КМ имеют практически изотропное распределение частиц. Поэтому эти материалы и покрытия на их основе можно рассматривать как изотропные. Прочность при испытаниях на изгиб и модуль упругости при изгибе определяли по ГОСТ 4648-71 [6] и ГОСТ 9550-81 [7] соответственно.

Остаточные напряжения определяли при консольном изгибе образцов (рис. 1) по формуле [8]:

$$\sigma_R = \frac{zE_s H^3}{3hL^2(H+h)(1-\mu_s)} + \frac{zE_c(H+h)}{L^2(1-\mu_c)},$$

Где z – отклонение образца; E_s , E_c – модули упругости основы и покрытия соответственно; H – толщина основы; L – длина консоли с покрытием; h – толщина полимерного покрытия; μ_s , μ_c – коэффициенты Пуассона основы и покрытия соответственно.

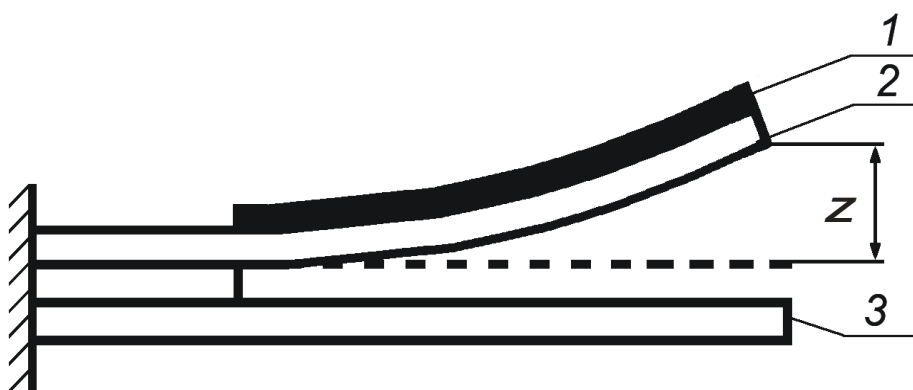


Рисунок 1 – Схема метода определения остаточных напряжений в покрытиях при консольном изгибе образцов (1 – покрытие; 2 – основа; 3 – основание для измерения отклонения консоли)

Так как в конструкциях, деталях и изделиях полимерные покрытия наносят на относительно жесткую основу, то величина деформации системы основа-покрытие, вызванная остаточными напряжениями в покрытии,

незначительна. Также при лабораторных испытаниях образцов на растяжение полимерные покрытия наносят на металлическую основу, которая не изгибается после полимеризации композиционного материала [9, 10]. Это сильно отличается от подходов методик изгиба образцов при определении остаточных напряжений, в которых используется основа более малой толщины. Тонкая металлическая основа подвергается изгибу, измерение которого позволяет определить остаточные напряжения в покрытиях. Поэтому для измерения остаточных напряжений в покрытиях изготавливали два типа образцов. Образцы первого типа могли изгибаться в процессе полимеризации покрытия, а второго – были жестко закреплены и не могли изгибаться до окончания процесса полимеризации. Изгиб образцов второго типа измеряли только после окончания процесса полимеризации.

Образец для измерения остаточных напряжений представляет собой пластину из Ст.3 толщиной 0,3 мм, на которую наносили покрытие. При нанесении покрытия металлические пластины находились в горизонтальном положении. В процессе полимеризации формировали покрытия толщиной 0,4...10 мм.

Результаты испытаний и обсуждение. Измеренные остаточные напряжения приведены в табл. 1. Остаточные напряжения в покрытиях на образцах, которые не могли изгибаться до окончания процесса полимеризации существенно ниже, чем в покрытиях, которые могли изгибаться в процессе полимеризации. Подобный эффект был также отмечен в работе [11].

Остаточные напряжения растяжения в эпоксидном покрытии не могут вызвать его растрескивания. Для подтверждения этого были изготовлены образцы с покрытиями разных толщин (0,4 мм; 4 мм; 10 мм). Образцы только второго типа можно было изготовить для эпоксидных покрытий больших толщин (4 мм и 10 мм). Исследования показали, что остаточные напряжения растяжения имеют небольшую величину и не могут вызвать растрескивания покрытия (рис. 2 – рис. 4).

Анализ результатов испытаний показал, что модификация частиц эпоксидной смолой повышает предел прочности на изгибе полимерных КМ на 39...55% независимо от типа наполнителя (табл. 1). При этом необходимо отметить, что модификация наполнителя олигомерами ПДЭА-4 и ПЭ-220 приводит к снижению характеристик прочности полимерных КМ. Также следует заметить, что остаточные напряжения растяжения в полимерных КП в 7,6...20,3 раза меньше прочности на изгиб соответствующего КМ. Поэтому в полимерных покрытиях остаточные напряжения слабо влияют на характеристики прочности как самого покрытия, так и металлической основы на которую они наносятся. Такой же низкий уровень остаточных напряжений в полимерных покрытиях, рассчитанный после изгиба образцов, был отмечен во многих работах. Так, например, в работах [11, 12] показано, что остаточные напряжения растяжения в термореактивных эпоксидных

покрытиях изменяются от 0,1 до 0,6 МПа. В термопластичных акриловых покрытиях остаточные напряжения составляют от 0,2 до 3,5 МПа [13].

Таблица 1 – Механические характеристики полимерных покрытий

Наполнители	Модификатор наполнителя	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа [4, 5]	Модуль упругости при изгибе E , ГПа [4, 5]	Остаточные напряжения σ_R , МПа	
				Образцы первого типа	Образцы второго типа
—	—	38,4	3,0	5,6	1,9
Оксид меди	ПДЭА-4	28,4	2,7	1,4	0,5
	ПЭ-220	29,7	2,9	1,7	0,6
	ЭД-20	59,5	4,6	7,9	2,6
	без модификации	45,1	3,7	5,9	1,9
КШ	ПДЭА-4	39,5	2,4	2,4	0,7
	ПЭ-220	36,6	2,5	2,0	0,8
	ЭД-20	59,2	4,8	3,9	1,3
	без модификации	41,2	3,1	3,9	1,2
Оксид алюминия	ПДЭА-4	35,1	3,0	1,1	0,4
	ПЭ-220	37,9	2,5	2,2	1,7
	ЭД-20	53,4	4,7	5,3	1,8
	без модификации	40,2	3,4	3,7	1,2

Примечание. Концентрация наполнителя – 80 масс. ч. на 100 масс. ч. связующего

Снизить остаточные напряжения в полимерных КП можно за счет изменения вида наполнителя и его физической модификацией (табл. 1), а также с помощью нанесения подслоя. При нанесении эпоксидных (термореактивных) покрытий на подслои из термопластичного покрытия остаточные напряжения снижаются [14, 15]. Изменением соотношений толщин слоев двухслойного полимерного покрытия можно добиться как остаточных напряжений растяжения (при большей толщине эпоксидного слоя), так и сжатия (при большей толщине термопластичного слоя) [14].

Для подтверждения выше сказанного дополнительно исследовали структуру КП с помощью сканирующей электронной микроскопии на примере материалов с наполнителем КШ. Исследования показали, что модификация пластификатором ПЭ-220 приводит к созданию пор в КМ. Это в свою очередь способствует снижению его модуля упругости. В тоже время введение КШ, модифицированного эпоксидной смолой, приводит к

формированию практически безпористого материала. Это подтверждает увеличение почти в два раза модуля упругости композиционного материала с данным наполнителем (см. табл. 1). Кроме того, введение модифицированного эпоксидной смолой дисперсного наполнителя КШ обеспечивает повышение его прочностных характеристик.



Рисунок 2 – Изгиб образца первого типа за счет действия в эпоксидном покрытии толщиной 0,7 мм остаточных напряжений



Рисунок 3 – Образец второго типа с эпоксидным покрытием толщиной 4 мм

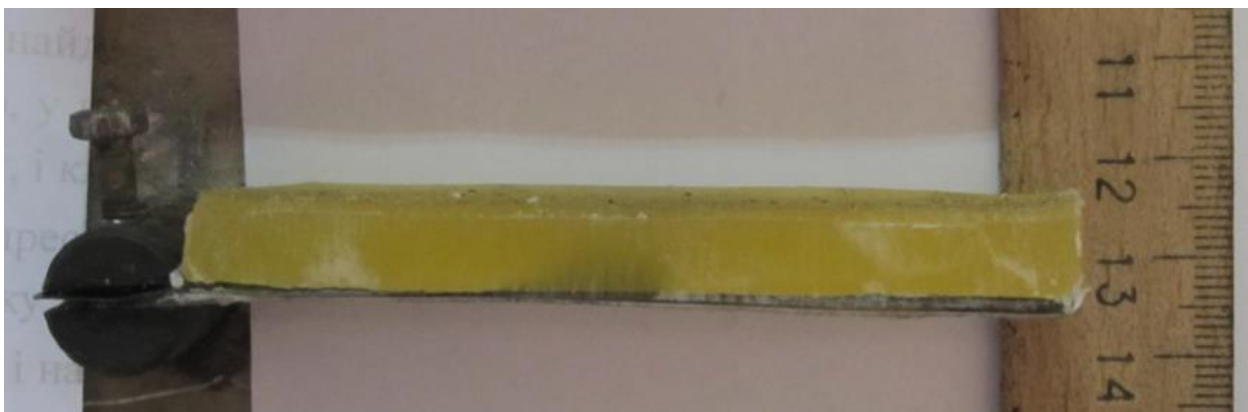


Рисунок 4. –Образец второго типа с эпоксидным покрытием толщиной 10 мм

Выводы. Таким образом исходя из выше изложенного можно констатировать следующее:

1. Анализ результатов испытаний показал, что модификация частиц эпоксидной смолой повышает предел прочности на изгибе полимерных КМ на 39...55 % независимо от типа наполнителя.

2. Остаточные напряжения растяжения имеют небольшую величину и не могут вызвать растрескивания покрытия.

3. При исследовании на одних и тех же образцах остаточных напряжений в покрытиях наблюдали их увеличение в 2-3 раза в зависимости от методики испытаний. Показано, что при исследованиях целесообразно использовать образцы второго типа, когда основа жестко закреплена и не может изгибаться до окончания процесса полимеризации. При использовании такого подхода получают более достоверные результаты вследствие нивелирования краевых эффектов в процессе полимеризации. Это позволяет оперировать более приближенными результатами исследований к реальным промышленным условиям. В дальнейшем запланировано исследовать циклическую стойкость модифицированных эпоксидных покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Г. В. Перераспределение остаточных сварочных напряжений при обработке импульсным электромагнитным полем / Г. В. Степанов, А. И. Бабуцкий, И. А. Мамаев, Н. А. Пашин, В. В. Савицкий, Г. И. Ткачук // Проблемы прочности. – 2011. – № 3. – С. 123-131.

2. Стухляк П. Д. Вплив об'єму зовнішніх поверхневих шарів на залишкові напруження у епоксикомпозитах / П. Д. Стухляк, І. Г. Добротвор, А. В. Букетов, І. Т. Сорівка // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 31. – С. 375-380.

3. Петушков В. Г. Обработка взрывом сварных соединений металлоконструкций / В. Г. Петушков, В. М. Кудинов, Ю. И. Фадеев. – М. : Металлургия, 1993. – 160 с.

4. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов. – Тернопіль : Збруч, 2009. – 237 с.

6. Букетов А. Дослідження епоксикомпозитів, що містять модифіковані олігомерами наповнювачі / А. Букетов, П. Стухляк, В. Левицький, М. Долгов // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 52-59.

7. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб : ГОСТ 4648-71. Введ. 25.11.71. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 12 с.

8. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе: ГОСТ 9550-81. Введ. 01.07.82. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.

9. Corcoran E. M. Determining stresses in organic coatings using plate beam deflection / E. M. Corcoran // Journal of Paint Technology. – 1969. – V. 41, No 538. – P. 635-640.

10. Букетов А. В. Вплив агресивного середовища бензину на адгезійну та когезійну міцності градієнтних полімерних покриттів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра, М. А. Долгов // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.14. – С. 115-122.

11. Долгов М. А. Дослідження механічних властивостей функціонально-градієнтних епоксидних покриттів під впливом водного середовища / М. А. Долгов, І. В. Чихіра, А. В. Букетов, Д. П. Стухляк // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – № 1. – С. 42-46.
12. Abdelkader A. F. Comparison of internal stresses in coatings cured on rigid substrates and on unrestrained thin substrates / A. F. Abdelkader, J. R. White // Progress in organic coatings. – 2002. – V. 44, No 2. – P. 121-129.
13. Croll S. G. Residual stress in a solventless amine-cured epoxy coating / S. G. Croll // Journal of Coatings Technology. – 1979. – V. 51, No 659. – P. 49-55.
14. Moran D. The development of internal stress in films of thermoplastic polymers cast from solution / D. Moran, P. M. Whitmore // Materials Research Society Symposium Proceedings. – 1995. – V. 352. – P. 293-304.
15. Yan G. Residual stresses in marine coatings under simulated service conditions / G. Yan, J. R. White // Polymer Engineering & Science. – 1999. – V. 39, No 10. – P. 1866-1879.
16. Yan G. Residual stress development in a bi-layer coating / G. Yan, J. R. White // Polymer Engineering & Science. – 1999. – V. 39, No 10. – P. 1856-1865.

Долгов М.А., Букетова Н.М. ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТЯХ

У роботі розглянуто різні підходи до дослідження залишкових напружень у полімерних композитних покриттях. Показано, що величина залишкових напружень суттєво залежить від технології формування покриттів, їх інгредієнтів, а також від методики проведення експерименту.

Ключові слова: залишкові напруження, покриття, властивості

Dolgov M.A., Buketova N.M. FEATURES OF THE MEASUREMENT OF RESIDUAL STRESSES IN POLYMER COMPOSITE COATINGS

The paper discusses different approaches to the study of residual stresses in polymeric composite coatings. It is shown that the magnitude of residual stresses depends on the technology of formation of coatings and their ingredients, as well as the methods of the experiment.

Keywords: residual stresses, coating, properties

ВПЛИВ ГІДРИДОУТВОРЕННЯ НА КОНСТАНТУ МАГНІТОСТРИКЦІЇ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ

Іваницький Р.І., Наговська І.В.¹, Прокоп'юк В.А., Тросянчин А.М.¹, Замора Я.П.

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Бойко (Україна)

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України (Україна)

У роботі проаналізовано вплив водню на магнітострикцію нікелю, кобальту та феромагнітних сплавів на їх основі з рідкісноземельними металами (РЗМ). Встановлено, що воднева обробка приводить до зростання константи магнітострикції, при цьому процес гідридоутворення може як погіршувати, так і поліпшувати магнітні характеристики.

Вступ і постановка завдань роботи. Сплави на основі перехідних металів, маючи особливу електронну структуру, володіють низкою цінних фізичних властивостей і знайшли широке застосування у техніці. Сьогодні особлива увага дослідників спрямована на розроблення нових магнітних матеріалів на основі сплавів d-перехідних (Fe, Co) та рідкісноземельних металів (Nd, Sm, Dy, Tb). Як технологічне середовище при їх обробці часто застосовують водень [1]. При цьому наводнювання сплавів та сполук на основі рідкісноземельних металів (РЗМ) може приводити як до зростання, так і до зменшення величини обмінної електронної взаємодії, яка визначає магнітні характеристики матеріалу [2]. Їх величина залежить не тільки від хімічного складу сплаву, існуючих в ньому фазових перетворень, але й від умов проведення хіміко-термічної обробки. Особливо це стосується константи магнітострикції λ .

Явище магнітострикції полягає у зміні геометричних розмірів зразка у магнітному полі, тому λ є функцією його напруженості, температури, фазово-структурного стану матеріалу і оцінюється безрозмірною величиною $\Delta l / l$, де Δl – видовження зразка за накладання магнітного поля, а l – його довжина [3]. Розрізняють два види магнітострикції [2] – ізотропну (обмінну) і анізотропну (одноіонну). Обмінна виникає внаслідок взаємодії між магнітними моментами атомів у кристалічній ґратці, які при включенні магнітного поля

орієнтуються вздовж його напрямку. При цьому у феромагнітних 3d – перехідних металах з кубічною граткою величина Δl не залежить від напрямку осей симетрії кристалу. У випадку РЗМ визначальною є анізотропна магнітострикція, особливістю якої є те, що λ вздовж різних осей симетрії може мати різну величину і знак. Крім того, у атомів РЗМ електронна орбітальна хмарка має не сферичну, а еліпсоїдну форму і тому деформація кристалічної ґратки є більш значною [4].

Таблиця 1. Поздовжня магнітострикція полікристалічних зразків деяких РЗМ і 3d – перехідних металів при 300 К [4]

Метал	Tb	Dy	Ho	Er	Fe	Co	Ni
$\lambda \cdot 10^6$	600	400	170	- 50	- 10	- 70	- 35

У 1961 – 1965 роках було встановлено [5], що анізотропна магнітострикція тербію Tb, диспрозію Dy та їх сплавів перевищує у сотні разів цю характеристику у сплавах на основі Fe, Co і Ni. Результати отримані для чистих металів наведені у табл.1. Знак «–» вказує, що під впливом магнітного поля зразки не збільшують, а навпаки зменшують свої геометричні розміри. Дані для Tb і Dy, які мають гексагональну кристалічну ґратку, найбільші за вимірювань вздовж гексагональної осі c (рис.1а), а для Ni (ГЦК–ґратка) – вздовж осі [111] (рис.1б). Великі магнітострикційні зміни розмірів РЗМ (R) та їх сплавів виникають не тільки під впливом магнітного поля, але й температури. Встановлено [6], що інтерметаліди типу RFe₂, які мають кілька осей легкого намагнічування, мають гігантську магнітострикцію за кімнатних температур, що є дуже важливим щодо їх практичного використання.

У техніці магнітостриктори в основному застосовують для отримання ультразвукових коливань [6]. Для цього їх піддають дії змінного магнітного поля і, як наслідок, отримують електроакустичний перетворювач. Його найважливішим параметром є коефіцієнт магніто механічного зв'язку K , який визначається співвідношенням: $K^2 = W_{\text{пруж.}} / W_{\text{магн.}}$, де $W_{\text{пруж.}}$ – величина пружної енергії, яка виникає у перетворювачі за магнітного збудження, а $W_{\text{магн.}}$ – енергія магнітного поля. Коефіцієнт зв'язку K характеризує ефективність перетворення одного виду енергії в інший без врахування магнітних і механічних втрат. Ці втрати компенсуються введенням акустичного коефіцієнта корисної дії ККД перетворювача $\eta = P_{\text{акуст.}} / P_{\text{електр.}}$, тобто відношенням акустичної потужності на виході до електричної потужності, яка задається на вході. В табл.2 приведено порівняння акустичних параметрів РЗМ – магнітостриктора (Tb_{0,27}Dy_{0,73}Fe₂) з матеріалами, що широко застосовуються у промисловості.

Таблиця 2. Динамічні властивості деяких магнітострикційних матеріалів [6]

Матеріал	Максимальний коефіцієнт зв'язку, К	Густина електро-механічної енергії, Дж/м ³	Акустичний ККД, %
Нікель	0,3	21	15
Сплав K50Ф2	0,35	40	40
Tb _{0,27} Dy _{0,73} Fe ₂	0,6	5300	70

Відомо [7], що сплави РЗМ активно взаємодіють з воднем, утворюючи стабільні гідриди. При цьому залежно від типу інтерметалічної сполуки (R_2Fe_{17} і RFe_2) наводнювання може приводити до зменшення або збільшення температури магнітного впорядкування і магнітного моменту. Фізичний механізм цього процесу на даний час недостатньо вивчений. Вважають [8], що тут необхідно враховувати залежність величини обмінного інтегралу від об'єму елементарної комірки, який змінюється за втілення водню в кристалічну ґратку. Так, наводнювання металу, що має обмінну енергію, яка відповідає точці 1 на рис.1в, призводить до зростання параметру ґратки (точка 1') і поліпшення магнітних властивостей. А у наводненому металі, що знаходиться на правій гілці кривої (точка 2) спостерігається протилежний ефект (перехід у точку 2'). Крім того необхідно враховувати, що сполуки РЗМ можуть бути і феримагнітними [2], що ускладнює процес їх взаємодії з воднем.

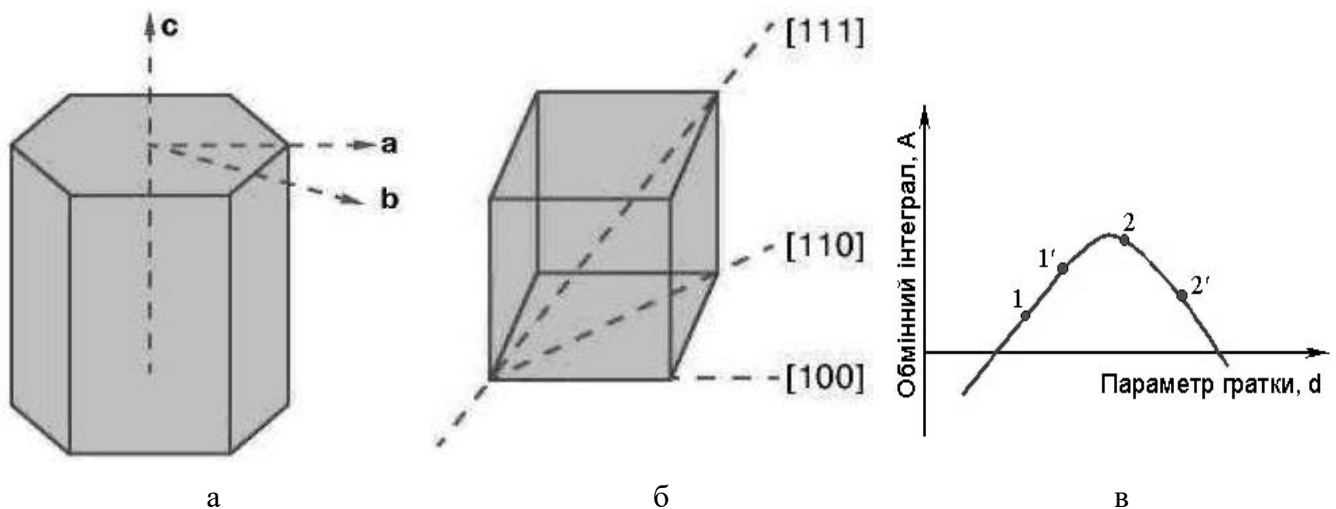


Рис.1. Напрямки осей легкого намагнічування у гексагональному (а) і кубічному (б) кристалах [6] та зміна обмінної енергії феромагнетиків в залежності від параметру ґратки (в) [8] .

В роботі [9] показано, що наводнювання сполук на основі систем Tb – Fe і Dy – Fe різко зменшує константу магнітострикції. Однак, при вивченні впливу водню на експлуатаційні властивості сталей магнітів на основі систем Nd(Dd)–Fe–В було встановлено [1], що високотемпературна дегазація після водневої обробки покращує їх коерцитивну і підймальну сили та магнітну енергію. На нашу думку, це зумовлено перерозподілом основних і домішкових елементів внаслідок пришвидшення дифузійних процесів розчиненням воднем [10], внаслідок чого у вказаних сплавах змінюється фазово-структурний стан і гомогенізується структура. При цьому гідридне окрихнення є позитивним чинником, оскільки вироби з функціональних матеріалів на основі РЗМ виготовляють методами порошкової металургії [1]. Однак механізм впливу процесу

гідридоутворення на магнітострикцію не достатньо вивчений. Тому у роботі послідовно розглянуті закономірності формування магнітного і атомного порядку при переході від чистих наводнених металів до сплавів РЗМ з метою оптимізувати режими проведення термообробки у водні для поліпшення їх константи магнітострикції.

Методика проведення експерименту. Об'єктом дослідження вибрали Ni, Co, магнітострикційний сплав K50Ф2 та рідкісноземельні сплави на основі інтерметалічних сполук SmCo_5 і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$. Слід відзначити, що їх магнітострикцію насичення λ_s можна досягнути, застосовуючи великі магнітні поля (біля 100 кЕ). Тому для порівняння впливу різних чинників у лабораторних умовах прийнято визначати величину позовжньої магнітострикції λ у фіксованому магнітному полі (12 – 25 кЕ) [6].

Вимірювання константи магнітострикції проводили оптичним методом. Принципова схема установки приведена на рис.2 і складається з лазера, електромагніта і інтерферометра [11].

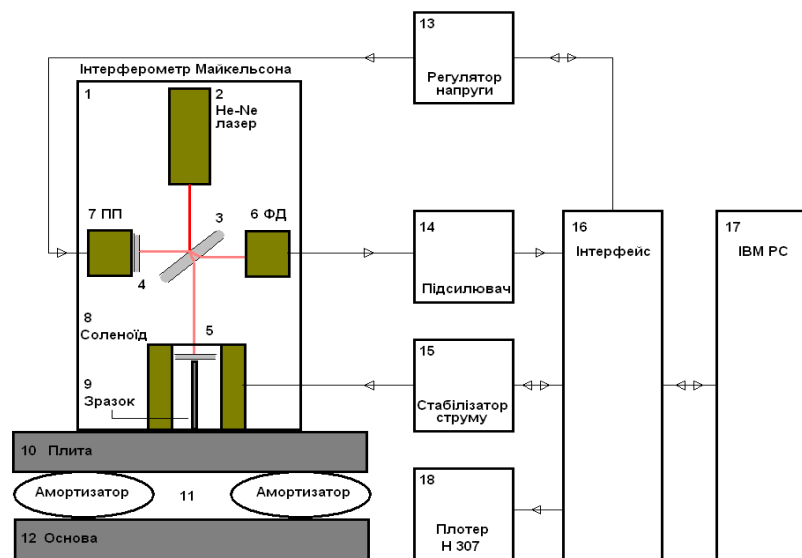


Рис.2. Блок-схема установки для дослідження магнітострикції за допомогою інтерферометра Майкельсона.

В якості джерела світла у інтерферометрі Майкельсона (1) використовували He–Ne лазер (2) з довжиною хвилі 632,8 нм. Напівпрозоре дзеркало (3) розділяє початковий промінь на два когерентних. Плечі інтерферометра створюють дзеркала (4) і (5), одне з яких (4) розміщено на п'єзоперетворювачі (7), а друге (5) приклеєне до торцевої поверхні зразка. Зразок (9) розміщений аксіально у соленоїді (8), магнітне поле в якому створюється струмом від керованого стабілізатора (15). Відбиті від дзеркал промені формують результуючу інтерференційну картину на входній діафрагмі фотоприймача (6) з підсилювачем (14). При зміні магнітного поля в соленоїді внаслідок магнітострикції довжина зразка зростає, що призводить до переміщення дзеркала (5), закріпленого на ньому, і відповідно змінюється різниця ходу променів і інтенсивність результуючої інтерференційної картини. Загальне видовження Δl оцінюють за формулою $\Delta l = n \times (\lambda/2)$, де n – кількість зміщених смуг інтерференції.

Для встановлення критичних параметрів фазових перетворень у досліджуваних металах і сплавах застосовували метод електропровідності на змінному струмі. Дослідження проводили на установці високочастотної ширококутної резистометрії УВШР–01М, яка дозволяє проводити неперервний запис зміни електроопору і від температури, і від часу проведення експерименту в широкому інтервалі температур (20 – 1273 К) і частот змінного струму (до 200 кГц) [12].

Результати досліджень та їх обговорення. Відомо [10], що наявність розчиненого водню викликає погіршення магнітних властивостей нікелю, кобальту та сплавів систем Fe–Ni і Fe–Co. Так, за атомного відношення H/Ni = 0,7 намагніченість нікелю складає 1% від її величини для чистого металу. Це зумовлено тим, що наводнювання проводили або за високих тисків водню, або з середовища електроліту. За таких умов вміст водню в системі Me–H значно переважає рівноважний, що призводить до виникнення структурних напружень, а в деяких випадках і до водневого окрихчення. Тому для їх запобігання у даній роботі зразки наводнювали і обробляли у газоподібному водні тиском 0,1 МПа (концентрація водню в металі H/Me = 10^{-4} – 10^{-5}), за якого після дегазації вихідні фізичні характеристики феромагнетиків відновлюються, а в деяких випадках і поліпшуються.

Нами зроблена спроба застосувати термічну обробку у водні для зміни константи магнітострикції Ni. Зауважимо, що λ нікелю має досить високе значення $(3\text{--}6) \cdot 10^{-5}$, однак низька температура точки Кюрі ($T_c = 630$ K) робить малоефективним високотемпературний відпал [12]. Крім того, за нагріву в околі температур 473 – 523 K його константа магнітострикції змінює знак, тобто видовження зразків нікелю під впливом магнітного поля переходить у їх стиснення. Цей ефект зумовлений зміною магнітоеластичної енергії нікелю, на яку термічна обробка в області температур нижче 573 K практично не впливає. Тому за водневого відпалу при 873 K (3 год.) λ нікелю зростає лише від 4,6 до $5,8 \cdot 10^{-5}$.

У випадку кобальту ($T_c = 1450$ K) ефект від ізотермічного відпалу у водні при 1073 K (3 год.) більш значний – λ змінюється від 9 до $28 \cdot 10^{-5}$. Однак у промисловості чистий кобальт внаслідок своєї крихкості не застосовується [3].

Відомо [10], що водень, розчиняючись у металах і сплавах, послаблює сили міжатомного зв'язку, внаслідок чого процеси атомного впорядкування пришвидшуються, що дає можливість змінювати об'ємний вміст та ступінь атомного порядку при формуванні атомних надструктур. Стосовно магнітних характеристик, то їх залежність від атомного впорядкування не є однозначною, оскільки магнітні матеріали можуть бути як магнітотверді, так і магнітом'які [3]. Тому умови водневої обробки потрібно вибирати, виходячи з того, яку експлуатаційну характеристику необхідно поліпшити.

Для виготовлення магнітострикторів в промисловості України широко застосовують залізо–кобальтові сплави, леговані для підвищення пластичності ванадієм. Тому у роботі досліджено зміну фазово-структурного стану, електропровідності та магнітострикції сплаву K50Ф2 (Co – осн.; Fe – 48,0; V – 1,7 мас.%) залежно від магнітної анізотропії, температури водневої обробки, часу відпалу та швидкості охолодження у водні. Наводнювання зразків проводили з газоподібного водню тиском 0,1 МПа.

Дослідження сплаву K50Ф2 показали, що на температурних залежностях електроопору за частоти струму 15 кГц при нагріві з'являється максимум, який після відпалу у вакуумі ($T = 1003$ K, 2 год.) розділяється на два (рис.3а) [10]. Високотемпературний інтерпретований як поліморфне $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворення, а низькотемпературний відповідає точці Курнакова T_k впорядкованої фази FeCo. Те, що висота нижчого максимуму після аналогічної термообробки у водні зростає, свідчить про збільшення об'ємного вмісту фази FeCo у сплаві K50Ф2. Відхилення кривої від лінійного ходу при 530°C є наслідком легування сплаву ванадієм (утворення виділень фази Co₃V), що вимагає врахування можливості формування в процесі охолодження гідридних фаз на основі ванадію. Крім того, стрічки для магнітострикторів вирізають з фольги товщиною 0,5 мм, тому перед обробкою слід дослідити вплив вальцювання на магнітну анізотропію сплаву.

Відомий спосіб обробки магнітострикційного сплаву K50Ф2 після витоплення полягає у нагріві зразків до 1173 K у вакуумі з наступним відпалом за цієї ж температури впродовж 5 год. Потім повільне охолодження зі швидкістю 20 – 30 K / хв. до температури 1023 K з подальшим швидким охолодженням на повітрі (300 – 400 K / хв.). Отримана за цим способом константа магнітострикції λ сплаву K50Ф2 рівна $(60\text{--}65) \cdot 10^{-6}$ [13].

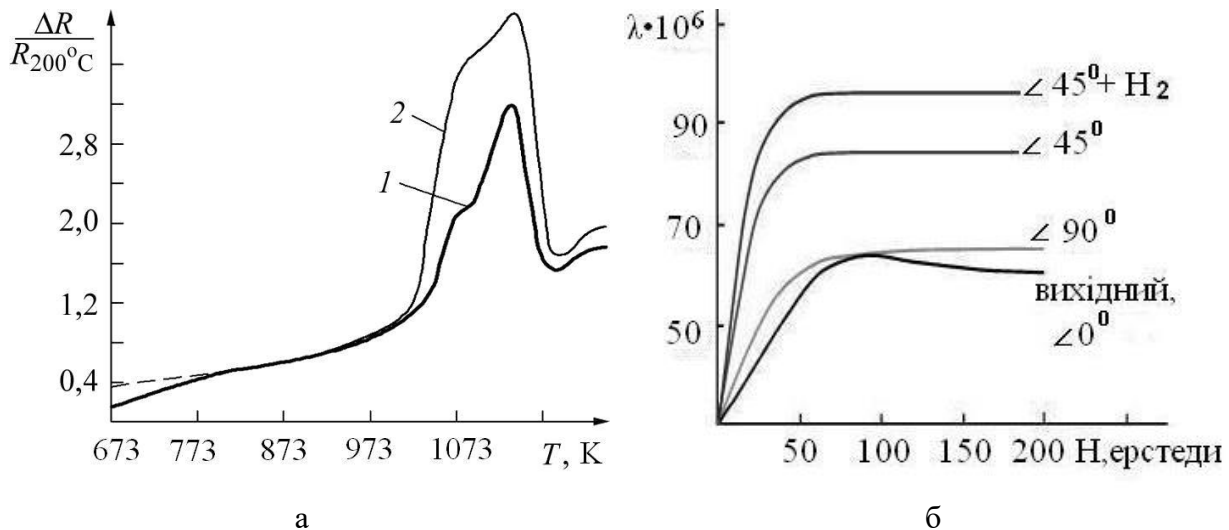


Рис.3. Температурні залежності електроопору сплаву К50Ф2 (а) після відпалу у вакуумі (1) і водні (2) [10] та зміна константи магнітострикції в залежності від кута вирізання фольги до напрямку вальцювання і водневої обробки (б) [13].

На основі проведених у роботі досліджень для поліпшення λ цього сплаву запропоновано наступне (рис.3б) [14]:

- вирізання стрічки з фольги під кутом біля 45° до напрямку вальцювання, що забезпечує співпадіння напрямку намагнічування зразків з віссю найлегшого намагнічування сплаву (див. рис.1а);

- її відпал у водні тиском 0,1 МПа за температури 1023 К протягом 2 год. для збільшення об'ємного вмісту впорядкованої фази FeCo з наступною дегазацією у вакуумі 1 год.;

- повільне охолодження (20 – 30 К / хв.) до температури 823 К з наступним швидким охолодженням до кімнатної температури щоб запобігти водневому окрихченню внаслідок формування гідридних фаз на основі ванадію.

Така термообробка призводить до зростання константи магнітострикції сплаву К50Ф2 від $64 \cdot 10^{-6}$ до $95 \cdot 10^{-6}$ (рис.3б) за зниження температури відпалу (на 150 К) і скорочення тривалості обробки (на 2 год.). Отже, поєднуючи ці три чинники, можна підвищити константу магнітострикції сплаву К50Ф2 на 45 – 50% (рис.5).

При вивченні впливу водню на фазово-структурний стан магнітних матеріалів на основі гідридотвірних РЗМ встановлено [1], що водень, як технологічне середовище, в якому проводять хіміко-термічну обробку, здійснює позитивний вплив на їх експлуатаційні характеристики. В роботі вивчали вплив водневої обробки на структуру і фазові перетворення в сплавах на основі інтерметалічних сполук SmCo_5 і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ за тиску водню 0,1 МПа.

Вимірювання температурних залежностей електроопору сплаву SmCo_5 на змінному струмі частотою 50 Гц показали (рис.4), що за наводнювання ця характеристика зростає і її зміни обмежені температурною областю існування феромагнетизму. Оскільки зменшення електроопору феромагнітних металів порівняно з неферомагнітними (пунктир на рис.4) пропорційне квадрату величини спонтанної намагніченості ($\Delta R / R_0 = J_s^2 / 9$) [2] і

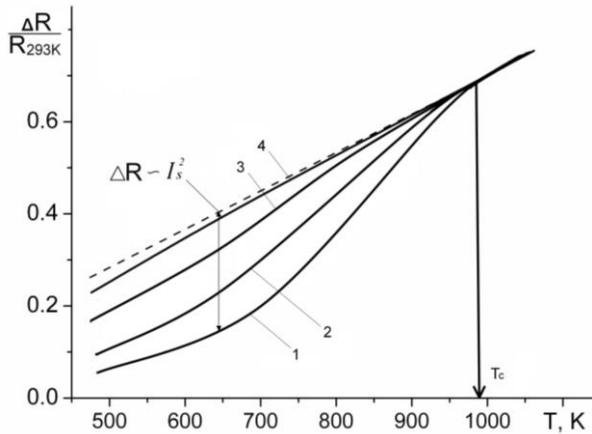


Рис.4. Вплив термоциклювання у водні на електроопір сплаву SmCo_5 1–вихідний; 2–1 цикл; 3–3 цикли; 4–5 циклів. - - - парамагнетик.

при підході до температури точки Кюрі T_c вплив водню поступово зникає, це свідчить про зміну спонтанної намагніченості J_s в системі $\text{SmCo}_5 - \text{H}$. Причому зростання електроопору за збільшення кількості циклів нагріву-охолодження у водні (криві 2–4) вказує на її зменшення. Отже, термоциклювання у водні різко погіршує магнетизм феромагнітних сплавів на основі РЗМ. Тому для цього класу функціональних матеріалів застосовують інший спосіб водневої обробки – процес ГДДР (гідрування–диспропорціонування–десорбція–рекомбінація) [1].

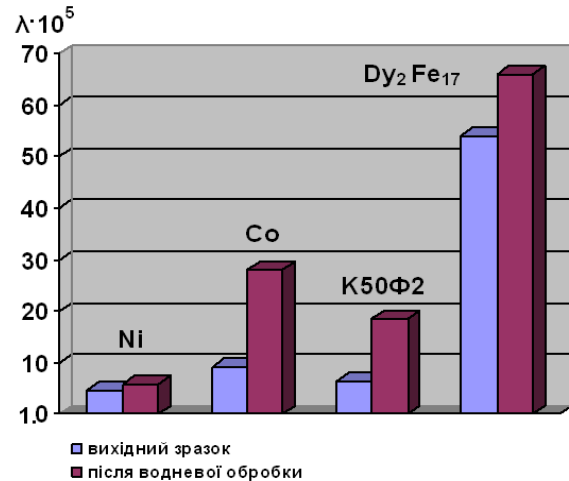
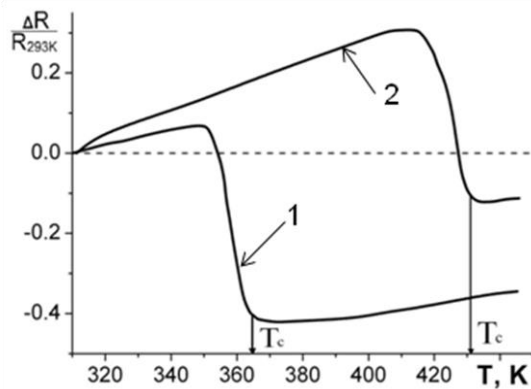
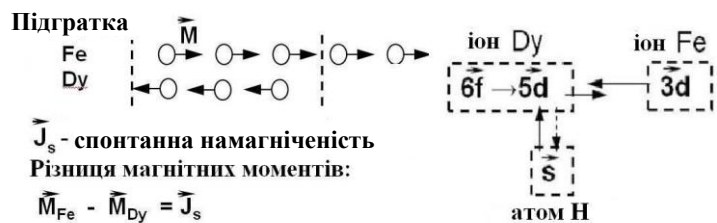


Рис.5. Вплив водневої обробки на константи магнітострикції Ni , Co та сплавів $\text{K50}\Phi 2$ і $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$.



а



б

Рис. 6. Вплив водню на електроопір сплаву $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ (а: 1 – вакуум, 2 – водень) і схема електронної взаємодії за утворення гідриду DyH_y (б).

Термостабільність отриманих гідридів вивчали методом диференційного термічного аналізу, який дозволяє за виділенням (поглинанням) теплоти фіксувати процес утворення (розпаду) гідридних фаз. Фазово-структурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-3М. Встановлено, що у випадку сплаву SmCo_5 (Co–основа, Sm–36,7 мас.%) за нагріву у водні в області кімнатних температур формується гідрид вихідної сполуки SmCo_5H_x (стадія гідрування), який за подальшого нагріву до 850 K диспропорціонує (розпадається) на суміш фаз за наступною реакцією: $\text{SmCo}_5 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{SmCo}_5\text{H}_x \leftrightarrow \text{SmH}_y + \text{Co}$. Після охолодження у водні та наступної дегазації при нагріві у вакуумі гідрид SmH_y розпадається і відбувається процес рекомбінації з відновленням вихідної сполуки SmCo_5 з однорідною дрібнозеренною структурою та поліпшеними

експлуатаційними характеристиками [15]. Таким чином, для поліпшення експлуатаційних характеристик сталих магнітів на основі гідридотвірних сплавів РЗМ обов'язковим після водневої обробки є проведення стадій десорбції–рекомбінації.

У випадку магнітострикційної сполуки $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ процес ГДДР описується реакцією: $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Dy}_2\text{Fe}_{17}\text{H}_x \rightarrow \text{DyH}_y + \text{Fe}$. Однак, на відміну від феромагнітних сплавів систем Nd–Fe–B і Sm–Co феримагнітну інтерметалічну сполуку $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ не потрібно дегазувати, а навпаки – слід зупинити процес ГДДР на стадії гідрування–диспропорціонування. Це зумовлено тим, що її електронна структура складається з двох магнітних підґраток – заліза і диспрозію з протилежно спрямованими магнітними моментами (рис.6б), різниця яких створює результуючу намагніченість $M_{\text{Fe}} - M_{\text{Dy}} = J_s$, що відповідає температурі точки Кюрі $T_c = 363 \text{ K}$. За утворення гідриду DyH_y 5d – електрони Dy, які до цього взаємодіяли з 3d – електронами Fe, утворюють хімічні зв'язки з 1s – електронами H, внаслідок чого зростає кількість некомпенсованих 3d – електронів Fe [2], що призводить до збільшення точки Кюрі наводненої сполуки $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ з 363 до 433 K (рис.6а). Наслідком цього є зростання λ від 540 до $660 \cdot 10^{-6}$ (рис.5).

Висновки. Вперше встановлено, що термообробка у водні підвищує константи магнітострикції Ni і Co відповідно в 1,3 і 4,2 рази.

Запропоновано спосіб поліпшення магнітострикції сплаву K50Ф2, у якому для збільшення об'ємного вмісту впорядкованої фази FeCo термообробку проводили у водні тиском 0,1 МПа. Це дозволило понизити на 150 K температуру обробки і скоротити тривалість відпалу з 5 до 3 год, враховуючи час дегазації. Перед водневою обробкою стрічки для магнітостриктора вирізали з фольги (0,4 – 0,6 мм) під кутом 45° до напрямку вальцювання. Поєднання цих двох чинників підвищує константу магнітострикції сплаву K50Ф2 на 45 – 50%.

Встановлено, що формування гідридних фаз у феромагнітних сплавах K50Ф2 і SmCo_5 погіршує їх магнітні характеристики, а у випадку феримагнітного сплаву $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$ підвищує константу магнітострикції на 20%. Запропоновано фізичний механізм зміни λ у наводненому сплаві $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$. Її зростання є наслідком утворення гідриду DyH_x , що призводить до збільшення температури Кюрі сплаву від 363 до 433 K.

Резюме. В роботі проаналізовано влияние водорода на магнитострикцию никеля, кобальта и ферромагнитных сплавов на их основе с редкоземельными металлами (РЗМ). Установлено, что водородная обработка приводит к увеличению константы магнитострикции, при этом процесс гидридообразования может как ухудшать, так и улучшать магнитные характеристики.

Summary. Hydrogenation effect on the magnetostriction Ni, Co and ferromagnetic alloys from this transition metals and rare earth metals has been investigated. The hydrogen treatment can cause both degreasing and increasing of the magnetostriction constant of the studied materials.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федоров В.В., Булик І.І., Панасюк В.В. Водень як технологічне середовище для виготовлення сталих магнетів на основі сплавів РЗМ // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – №2. – С. 111-120.
2. Вонсовський С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 1024 с.
3. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. – М.: Выс. шк., 1991. – 384 с.
4. Белов К.П. Магнитострикционные явления. Материалы с гигантской магнитострикцией // Соросовский образовательный журнал. – 1988. – №3. – с. 112–117.
5. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука, 1987. – 176 с.
6. Гигантская магнитострикция / К.П.Белов, Г.И.Катаев, Р.З.Левитин и др. // Успехи физических наук. – 1983. – т.140. – вып.2. – С. 271–309.
7. Гидриды металлов / Под ред. В.Мюллера, Д.Блекледжа, Дж.Либовица. – М.: Атомиздат, 1973. – 429 с.
8. Водород в металлах / Под ред. Г.Алефельда и Н.Фелькля. – М.: Мир, 1981. – Т.1. – 475 с.
9. Влияние гидрирования на магнитные и магнитоупругие свойства соединений $Tb_{0,27}Dy_{0,73}Fe_2$ и $Tb_{0,27}Dy_{0,73}Co_2$ с компенсированной магнитной анизотропией / Г.А.Политова, И.С.Терешина, С.А.Никитин и др. // Физика твердого тела. – 2005. – Т.47. – вып.10. – С. 1834–1838.
10. Похмурський В.І., Федоров В.В. Вплив водню на дифузійні процеси в металах. – Львів: ФМІ НАНУ, 1998. – 207с.
11. Вплив водневої обробки на константу магнітострикції перехідних металів і сплавів / І.В.Наговська, Р.І.Іваницький, Т.М.Засадний // Матеріали ХІХ наук.–техн. конф. молодих науковців і спеціалістів ФМІ НАН України (КМН–2011). – Львів, 2011. – С. 156–160.
12. Вплив водню на магнітне впорядкування нікелю, кобальту та сплавів на їх основі / В.М.Павліський, Я.П.Замора, Р.І.Іваницький, В.В.Федоров // Наукові нотатки. – 2009. – Вип. 25. – С. 261–265.
13. Вплив анізотропії вальцювання та термічної обробки у водні на магнітострикцію сплаву K50Ф2 / Ю.Г.Бачинський, С.В.Мохун, Р.І.Іваницький та інші // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 5. – С. 122–124.
Effect of the anisotropy of forge-rolling and thermal treatment in hydrogen on the magnetostriction of K50F2 alloy / Bachynskyi Yu.H., Mochyn S.V., Ivanytskyi R.I. and other // Materials Science. – 2007. – Vol.43. – No. 5. – S. 742–745.
14. Патент № 51581. Україна, МПК (2009) C08L 63/00, C09D 163/00. Спосіб підвищення магнітострикції сплаву K50Ф2 з врахуванням анізотропії вальцювання / В.В. Федоров, В.М. Павліський, Я.П. Замора, Р.І. Іваницький, Т.М. Засадний, А.М. Тростянчин (Україна); заявл. 11.01.10; опубл. 26.07.2010; бюл. № 14. – 5 С.
15. Bulyk I.I., Panasyuk V.V., Trostianchyn A.M. Features of the HDDR process in alloys based on the $SmCo_5$ compounds // 2004. – V. 379. – P. 154-160.

КРИТИЧЕСКИЕ И УСТОЙЧИВЫЕ УСЛОВИЯ ТЕПЛОМАССО-ОБМЕНА ЧАСТИЦ КАТАЛИЗАТОРА ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ ОКИСЛЕНИИ МАЛЫХ СОДЕРЖАНИЙ ГОРЮЧИХ И ТОКСИЧНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В.

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,

Софронков А.Н.,

Одесская национальная академия связи им А.С. Попова,

В работе с учетом массообмена газообразных компонентов и теплообмена излучением проводится анализ критических условий воспламенения и погасания малого содержания горючего или токсичного газообразного вещества в воздухе на частице катализатора. Основное внимание уделяется рассмотрению влияния температуры газа, концентрации горючего, а также диаметра катализатора. Показана роль теплообмена излучением на образование второго верхнего предела воспламенения и погасания по диаметру, а также в понижении критической температуры катализатора при воспламенении ниже температуры газа. Установлена роль массообмена газообразных веществ и теплообмена излучением на критическое значение температуры вырождения критических условий.

Ключевые слова: гетерогенный катализ, горючие и токсичные газы, воспламенение, погасание, вырождение, массообмен, теплообмен излучением.

Постановка проблемы. Охрана жизни человека и атмосферы от ядовитых и горючих газообразных веществ в настоящее время является актуальной проблемой [1-3]. Транспорт является одним из главных источников загрязнения атмосферы газами, среди которых угарный газ, окислы азота и серы. Единственным коммерчески доступным средством, позволяющим эффективно улучшать экологические показатели транспортных средств и снизить выброс вредных веществ, остается их оснащение каталитическими нейтрализаторами. Эффективность катализатора во многом определяется размером частиц платиновых металлов, нанесенных на носитель с развитой поверхностью.

В целом проблема охраны окружающей среды имеет два пути решения. Первый путь направлен на создание приборов (каталитические газоанализаторы), способных измерить малые концентрации токсичных и горючих газообразных веществ в воздухе (аммиак NH_3 , водород H_2 , угарный газ CO , сернистый ангидрид SO_2 и др.). Второй путь состоит в превращении токсичных и взрывоопасных веществ в целевые продукты, с

выделением полезной энергии путем применения установок аэрозольного катализа.

Для эффективного решения перечисленных задач необходимо знание критических и устойчивых условий тепломассообмена катализатора с окружающим газом, которые определяются следующими параметрами:

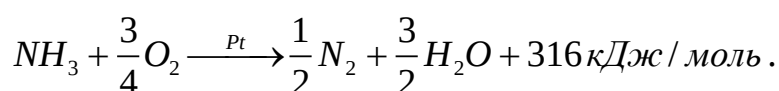
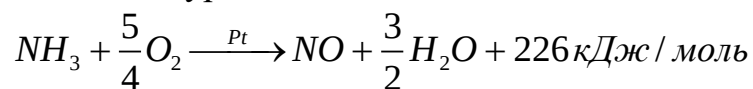
- интервалы размеров частиц катализаторов;
- концентрации горючих и токсичных газообразных реагентов;
- температура и давление окружающей газовой среды.

Это позволит прогнозировать режимы для обеспечения устойчивого протекания высокотемпературных процессов окисления и тепломассообмена на поверхности частиц катализатора.

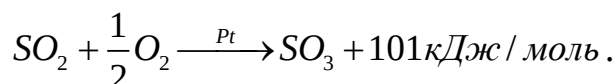
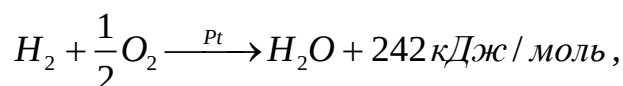
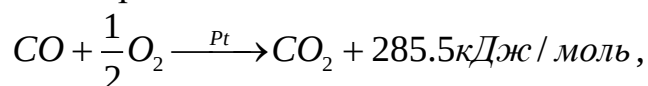
Цель данной работы – выяснение механизма протекания гетерогенно-каталитических реакций, роли процессов теплообмена излучением и массопереноса газообразных реагентов в процессах каталитического горения, критических условий воспламенения и погасания газов на поверхности частицы катализатора.

Степень изученности проблемы. Анализ литературы [4-5] показал, что малоизученными вопросами являются: детальный механизм ряда гетерогенно-каталитических реакций, роль массообмена и влияние теплообмена излучением.

Изложение основного материала. В работе в качестве примера выбрано каталитическое окисление аммиака на платиновом шарике, которое может протекать согласно уравнениям



Аналогичные результаты можно получить, рассматривая следующие гетерогенно-каталитические реакции:



Считаем, что в гетерогенно-каталитической реакции согласно ударному механизму молекулы горючего газообразного вещества, находящегося в недостатке в газе, сталкивается с адсорбированной на поверхности молекулой окислителя, образуя продукты реакции. Скорость гетерогенно-каталитической реакции прямо пропорциональна относительной

массовой концентрации горючего, при его содержании в газе в недостатке. При протекании этой реакции выделяется энергия, которая идет на нагревание катализатора.

Формально примем, что изменение температуры катализатора, на поверхности которого протекает экзотермическая гетерогенно-каталитическая реакция, с течением времени определяется химическим тепловыделением, а уменьшение – в результате теплоотдачи к окружающим телам (газу и стенкам реакционной установки):

$$\frac{V_c}{S_c} c_p \frac{dT}{dt} = q_{eff}, \quad T(t=0) = T_b. \quad (1)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_g - q_w = q_{ch} - q_h, \quad q_{ch} = Q_a W_a, \quad W_a = k \rho_{gs} C_{as}, \quad k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right),$$

$$q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4), \quad q_g = \alpha (T - T_g).$$

$$C_{as} = C_a (1 + \psi_{td}) \left(1 + \frac{k}{\beta}\right)^{-1} = C_a (1 + \psi_{td}) \cdot (1 + Se)^{-1}, \quad Se = \frac{k}{\beta_a},$$

$$\psi_{td} = 2 \left(\frac{T - T_g}{T + T_g} \right) Lu^m (2 - n), \quad \alpha = \beta \tilde{n}_g \rho_g Lu^{-1+m}, \quad \beta_a = \frac{D_a Nu}{d}, \quad \frac{1}{8} < m < \frac{1}{3},$$

где q_{ch} – поверхностная плотность химического тепловыделения, Вт/м²; q_g – плотность теплового потока молекулярно-конвективным путем от частицы к окружающему газу, Вт/м²; q_w – плотность теплообмена излучением между частицей и холодными стенками установки, Вт/м²; Q_a – тепловой эффект реакции, рассчитанный на килограмм горючего, Дж/кг; W_a – скорость гетерогенно-каталитической реакции, кг/м²с; $\tilde{N}_{as}$, $\tilde{N}_a$ – относительная массовая концентрация активного компонента на поверхности катализатора и в окружающем газе; k – константа гетерогенно-каталитической реакции, м/с; Se – кинетическое число Семенова (диффузионно-кинетическое отношение), $Lu = D_a/a_g$ – критерий Льюиса, D_a – коэффициент концентрационной диффузии активного компонента, м²/с; a_g – коэффициент температуропроводности газа, м²/с; ψ_{td} – поправка на термодиффузию, ρ_g – плотность газовой смеси, кг/м³; T , T_g , T_w – температура поверхности катализатора, газа и стенок, К, Nu – число Нуссельта; d – диаметр сферического катализатора, м; n – показатель степени в зависимости коэффициента диффузии от температуры (от 1.5 до 2).

Для выше указанной реакции число Льюиса $Lu \approx 1$ и вкладом термодиффузии горючего компонента можно пренебречь.

В тоже время при определении содержания горючего газа в газовой среде часто пользуются относительной объемной концентрацией C_{av} , которая связана с относительной массовой C_a соотношением

$$C_{av} = C_a \frac{M_g}{M_a},$$

где M_g , M_a – молярные массы газа и горючего вещества.

Определение критических условий. Устойчивые и критические режимы тепломассообмена на поверхности частицы катализатора, которые определяются температурой газовой среды, концентрацией горючего

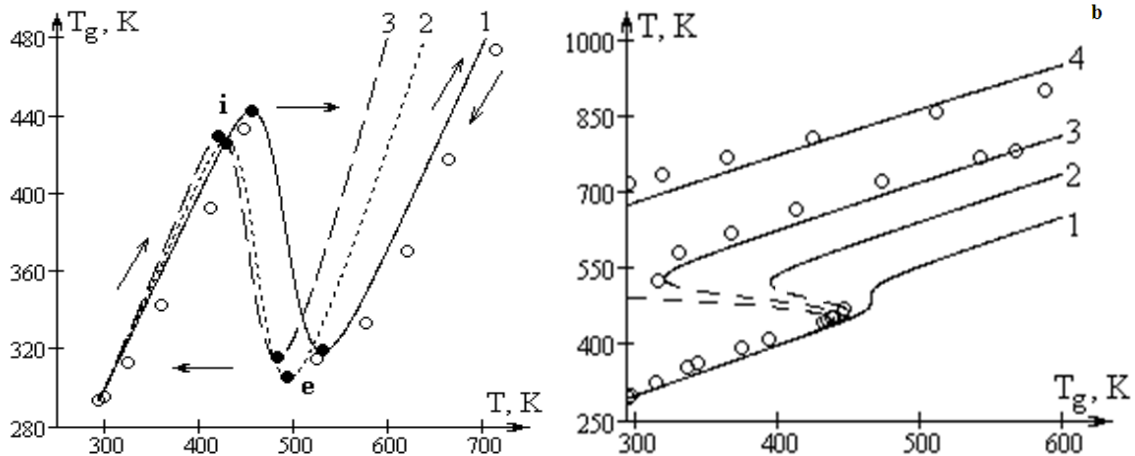


Рис. 1 а) Зависимость температуры газа от стационарной температуры сферического катализатора при относительной объемной концентрации 3.1% (при $T_w = 293$ K):

1) $d/Nu = 200$ мкм, 2) $d/Nu = 2000$ мкм, 3) $d/Nu = 4000$ мкм

б) Зависимость стационарной температуры сферического катализатора $d/Nu = 200$ мкм от температуры газовой среды при различных относительных объемных концентрациях аммиака в воздухе (при $T_w = 293$ K): 1) 0.8 %, 2) 2.0 %, 3) 3.1 %, 4) 5.2 %.

лошные линии – устойчивые режимы, пунктирные – неустойчивые критические тояния, соответствующие влиянию начальной температуры катализатора.

о – экспериментальные точки для $C_{av} = 3.1\%$ и 5.2% [6].

газообразного вещества, температурой и диаметром катализатора, находятся из условия стационарности (1)

$$q_{eff}(T, T_g, C_a, d) = Q_a \rho_g C_a k \left(1 + \frac{k}{\beta}\right)^{-1} - \beta c_g \rho_g (T - T_g) - \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) = 0.$$

Из условия стационарности температуры катализатора получим зависимость температуры газа от стационарной температуры определенного размера катализатора при постоянной концентрации горючего в воздухе:

$$T_g = T - \frac{1}{\alpha} \left[C_a \frac{Q_a \rho_{gs} k_0}{(1 + Se)} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) - \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) \right]. \quad (2)$$

Все стационарные состояния, которые образуются в результате изменения температуры газа и, следовательно, изменения температуры катализатора (рис.1) описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial q_{eff}}{\partial T} \partial T + \frac{\partial q_{eff}}{\partial T_g} \partial T_g = 0 \text{ или } \frac{\partial T_g}{\partial T} = - \frac{\partial q_{eff}}{\partial T} / \frac{\partial q_{eff}}{\partial T_g}.$$

В критических точках i и e , соответствующих каталитическому зажиганию и потуханию газов, выполняется условие Семенова $\partial q_{eff} / \partial T = 0$ и, так как величина $\partial q_{eff} / \partial T_g$ всегда положительна, то $\partial T_g / \partial T = 0$. Вырождение критических и гистерезисных условий отвечает $\partial^2 T_g / \partial T^2 = 0$.

При достижении температуры газа и температуры частицы катализатора критических значений (точка i , каталитическое зажигание, максимум на зависимости $T_g(T)$) происходит скачкообразный переход на высокотемпературную ветвь.

Дальнейшее увеличение температуры газа приводит к практически линейному росту температуры катализатора.

Если на высокотемпературной ветви уменьшать температуру газа, то при достижении критических значений T_g и T (точка e , каталитическое потухание, минимум на зависимости $T_g(T)$) произойдет скачкообразный переход на низкотемпературную ветвь (рис.1а). Интервал $T_{ge} < T_g < T_{gi}$ описывает влияние T_g на критические значения начальной температуры, при которых начинается вынужденное каталитическое зажигание (гистерезисный режим).

Именно выбор в качестве основной реакции окисления аммиака до оксида азота NO (реакция с меньшим тепловым эффектом) позволил получить согласование с экспериментальными данными (рис.1а).

Расчеты проводились при следующих значениях параметров: $E = 139$ кДж/моль, $k_0 = 13 \cdot 10^{13}$ м/с, $Q_a = 13.3$ МДж/кгNH₃; $\rho_g = 0.785$ кг/м³, $c_g = 1040$ Дж/(кг·К), $\lambda_g = 0.035$ Вт/(м·К), $D_a = 0.429 \cdot 10^{-4}$ м²/с (свойства воздуха рассчитаны для температуры 450 К), $\varepsilon = 0.15$.

Увеличение диаметра катализатора приводит к монотонному понижению температуры каталитического горения газов в связи с увеличением относительной роли теплообмена излучением. В тоже время значения температур воспламенения T_{gi} и погасания T_{ge} проходят через минимум (рис. 1а).

С уменьшением концентрации горючего площадь гистерезисной петли уменьшается и при некотором значении происходит вырождение критических условий (рис 1b). Например, для частицы диаметром $d/Nu = 200$ мкм объемная концентрация горючего, соответствующая вырождению, равна 0.8%. При этом температура газа близка к 465 К.

Зависимости критических температур каталитического воспламенения T_{gi} и погасания T_{ge} от концентрации горючего компонента представим в параметрическом виде, применив условие экстремума на зависимости (2) температуры газа от стационарной температуры частицы катализатора $\partial T_g / \partial T = 0$:

$$\begin{cases} T_{gi,e} = T + \frac{\varepsilon\sigma(T^4 - T_w^4)}{\alpha} - \frac{RT^2}{E} \cdot \frac{(k + \beta)}{\beta} \cdot \left(1 + \frac{4\varepsilon\sigma T^3}{\alpha}\right) \\ C_{avi,e} = \frac{M_g}{M_a} \left(1 + \frac{4\varepsilon\sigma T^3}{\alpha}\right) \frac{c_g RT^2}{Q_a E} \frac{(k + \beta)^2}{k\beta} \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 2 представлен зависимости критических температур воспламенения и погасания газа и соответствующих температур катализатора от концентрации горючего двух диаметров частицы катализатора. Качественно данные зависимости для различных диаметров похожи: увеличение концентрации активного горючего компонента ведет к

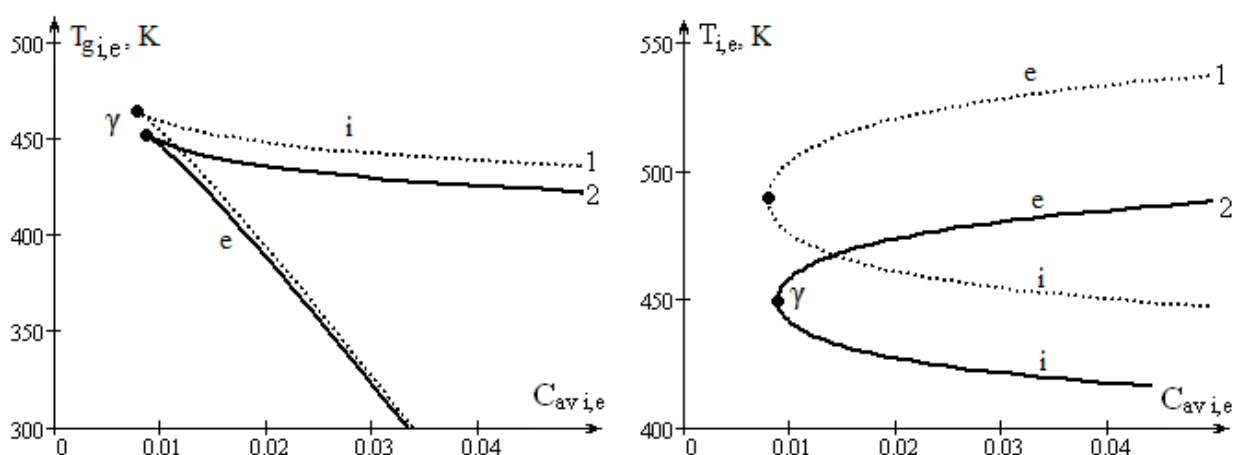


Рис. 2 Зависимость температуры воспламенения и погасания газа (а) и критических температур катализатора (б) от концентрации горючего для катализатора (при $T_w = 293$ К):

1) $d/Nu = 200$ мкм, 2) $d/Nu = 4000$ мкм.

уменьшению температур воспламенения T_{gi} и погасания T_{ge} газа. Критическая температура катализатора при погасании T_e возрастает. Следует отметить слабую зависимость температуры воспламенения газа T_{gi} от концентрации активного компонента в области далекой от вырождения.

Для оценки параметров точки вырождения воспользуемся условием равенства второй производной по температуре $\partial^2 T_g / \partial T^2 = 0$ или условию экстремума $\partial T_{gi,e} / \partial T = 0$. В результате получим температуру катализатора в точке вырождения в виде

$$T_\gamma = \frac{E}{2R} \cdot \left(\frac{1 - k/\beta}{1 + k/\beta} \right) \cdot \left(\frac{1 + 4\varepsilon\sigma T^3/\alpha}{1 + 10\varepsilon\sigma T^3/\alpha} \right). \quad (4)$$

Полученное выражение позволяет увидеть, что учет массопереноса газообразных компонентов реакции существенно уменьшает температуру вырождения в сравнении с классическим значением $T_{\gamma 0} = E/2R$. В этой точке

число Семенова близко, но меньше единицы ($Se = k/\beta \approx 1$). Влияние теплотерь на излучение с холодными стенками установки более слабо.

Для определения диаметра катализатора в точке вырождения, используем известное приближение $\alpha = c_g \rho_g \beta$, в результате из (4) получим квадратное уравнение для определения числа Семенова

$$A_\gamma \left(\frac{k}{\beta} \right)^2 + 2B_\gamma \frac{k}{\beta} - C_\gamma = 0,$$

$$\text{где } A_\gamma = \frac{4\varepsilon\sigma T^3}{k c_g \rho_g} \left(1 + \frac{5RT}{E} \right), \quad B_\gamma = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2RT}{E} - \frac{4\varepsilon\sigma T^3}{k c_g \rho_g} \left(1 - \frac{5RT}{E} \right) \right), \quad C_\gamma = 1 - \frac{2RT}{E}.$$

Решение квадратного уравнения представим в виде

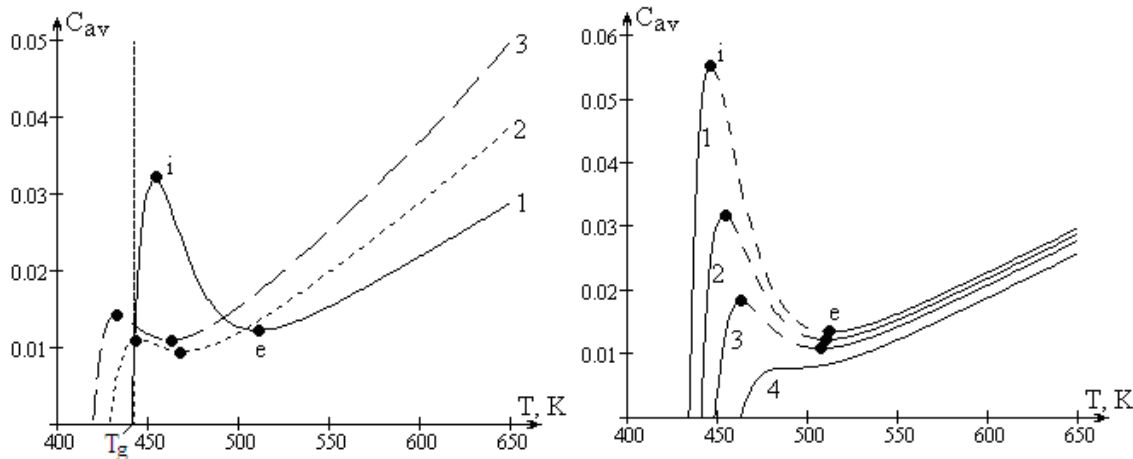


Рис. 3 Зависимость относительной объемной концентрации горючего в воздухе от стационарной температуры сферического катализатора (при $T_w = 293$ К)

а) при постоянной температуре газа $T_g = 442$ К для частиц катализатора:

1) $d/Nu = 200$ мкм, 2) $d/Nu = 2000$ мкм, 3) $d/Nu = 4000$ мкм.

б) для частицы размером $d/Nu = 200$ мкм при различных температурах газа:

1) $T_g = 430$ К, 2) $T_g = 442$ К, 3) $T_g = 450$ К, 4) $T_g = 465$ К.

Полные линии – устойчивые режимы, пунктирные – неустойчивые критические условия, соответствующие влиянию начальной температуры катализатора.

$$\left. \frac{d}{Nu} \right|_\gamma = \frac{D_a}{k} \cdot \frac{C_\gamma}{\left(B_\gamma + \sqrt{B_\gamma^2 + A_\gamma C_\gamma} \right)}$$

Соответствующие значения температуры газа и концентрации горючего определяются после подстановки в (3).

Влияние размера катализатора на критические условия.

Для анализа критических условий в зависимости от диаметра частицы удобно рассмотреть все стационарные состояния (устойчивые и критические) по температуре катализатора, определяемые концентрацией активного компонента, в виде зависимости:

$$C_{av} = \frac{M_g}{M_a} \left(\frac{\beta}{k} + 1 \right) \left(\frac{c_g (T - T_g)}{Q_a} + \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)}{Q_a \beta \rho_g} \right). \quad (4)$$

Можно показать, что на стационарной зависимости $C_{av}(T)$, максимум характеризует критическое условие самопроизвольного воспламенения (т.і), а минимум – критическое условие погасания (т.е).

Поведение температуры катализатора с изменением концентрации горючего можно описать следующим образом (рис. 3а). В режиме низкотемпературного окисления температура катализатора слабо возрастает с ростом концентрации горючего. При достижении T_i происходит скачкообразный переход на устойчивый высокотемпературный режим каталитического горения газов на поверхности частицы катализатора. Температура каталитического горения также растет с ростом C_{av} . С обратным уменьшением C_{av} температура каталитического горения уменьшается и при достижении C_{ave} и T_e происходит погасание каталитической химической реакции.

В интервале $C_{avi} < C_{av} < C_{ave}$ наблюдается аномальное уменьшение стационарной температуры катализатора с ростом концентрации горючего C_{av} (неустойчивые критические состояния, соответствующие влиянию начальной температуры катализатора T_{bi}). При начальной температуре катализатора больше соответствующего значения на стационарной кривой $C_{av}(T_{bi})$ температура катализатора с течением времени будет расти, пока не достигнет устойчивой температуры каталитического горения. Если взята начальная температура катализатора $T_b < T_{bi}$, то температура катализатора будет уменьшаться, приближаясь к температуре низкотемпературного окисления.

С увеличением диаметра частицы катализатора при условии холодных стенок установки значения концентрации активного компонента в газе, соответствующих воспламенению и погасанию, также проходят через минимум. При этом температура воспламенения катализатора уменьшается и для крупных частиц оказывается меньше температуры газа (рис. 3а).

Увеличение температуры газа, также как и уменьшение концентрации горючего, приводит к вырождению критических условий (рис. 3б).

Критические условия воспламенения (т. і) и погасанию (т. е) определяется условием $\partial C_{av} / \partial T = 0$. Применяя его совместно с условием стационарности (4), получим в параметрическом виде выражения для

диаметров катализатора и концентрации горючего, соответствующих воспламенению и погасанию

$$\begin{cases} \left. \frac{d}{Nu} \right|_{i,e} = \frac{D_a}{k} \cdot \left(\frac{T - T_g}{RT^2/E} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\left(B \pm \sqrt{B^2 + AC} \right)} \\ C_{ai,e} = \frac{c_g RT^2}{Q_a E} \left(1 + C + D + \frac{1+C}{C} \left(B \pm \sqrt{B^2 + AC} \right) + \frac{DC}{B \pm \sqrt{B^2 + AC}} \right) \end{cases}, \quad (5)$$

$$A = \frac{4\varepsilon\sigma T^3}{k\rho_g c_g}, \quad D = \frac{\varepsilon\sigma(T^4 - T_w^4)}{k\rho_g c_g RT^2/E}, \quad 2B = 1 - D + A, \quad C = \frac{T - T_g}{RT^2/E} - 1.$$

На рис. 4 представлена зависимость критического значения концентрации горючего от размера частицы катализатора. При данной температуре газа существует две критические зависимости концентрации от диаметра частицы, на которых наблюдается минимум.

Верхнюю кривую (т. і, рис.4а) назовем кривой воспламенения. При малых диаметрах частицы с ростом размера уменьшается теплоотдача к более холодному газу (рис. 4d). Поэтому для воспламенения можно понизить концентрацию активного компонента в газовой среде. Вблизи точки минимума критическая температура воспламенения частицы близка к температуре газо-

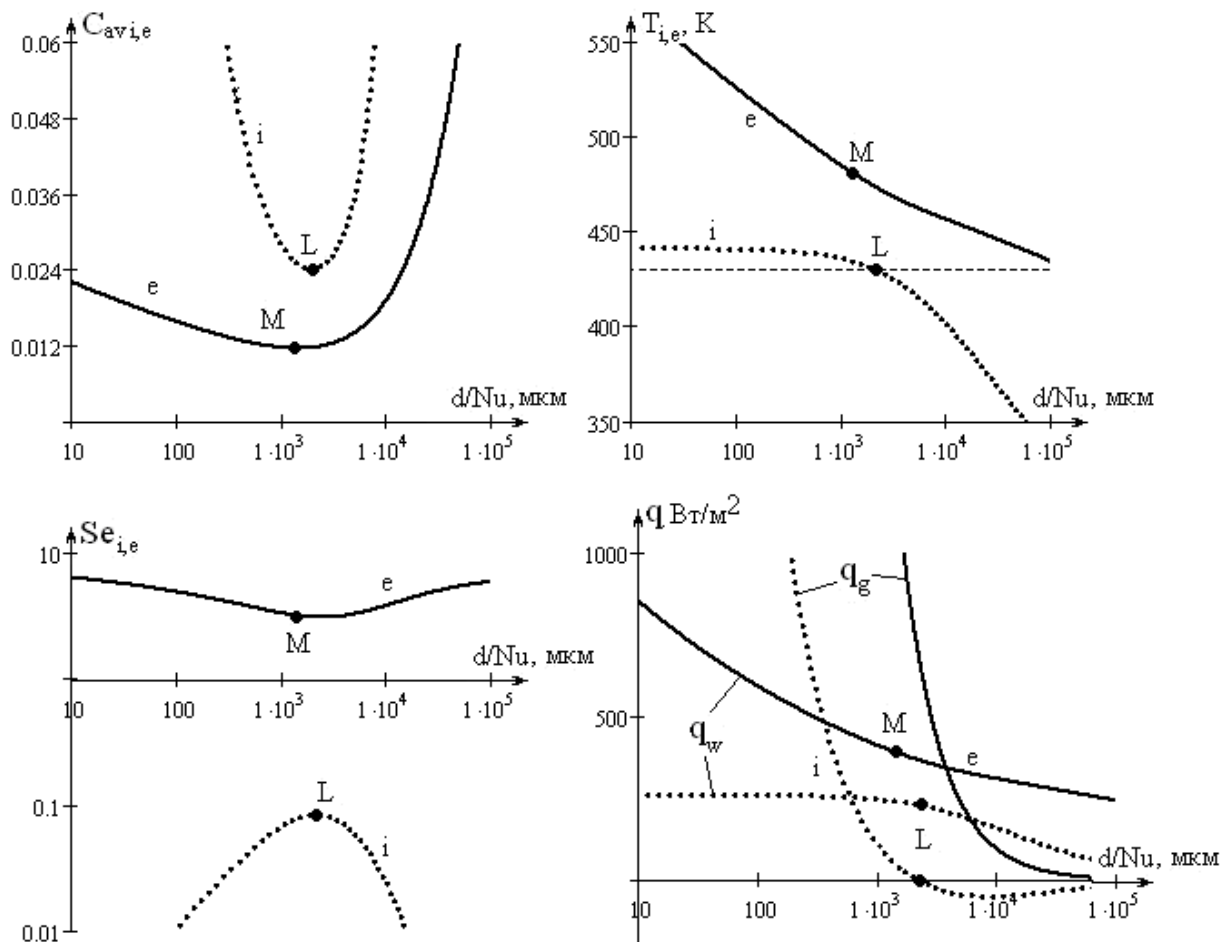


Рис. 4. Зависимость критических значений концентрации горючего (а), температуры (б) катализатора, числа Семенова (с) и тепловых потоков (д) от диаметра частицы при $T_g = 430$ K, $T_w = 300$ K с учетом теплотерь на излучение.

вой среды (практически равны). При дальнейшем увеличении диаметра газ уже нагревает частицу (критическая температура частицы меньше температуры газа), но тем меньше, чем больше размер частицы. Помимо этого увеличивается относительная роль теплотерь на излучение.

Таким образом, для воспламенения необходимо повысить концентрацию горючего. Влияние диаметра частицы на химическое тепловыделение мало, т.к. химическая реакция в критических точках протекает практически в кинетической области ($Se_i < 0.2$, рис.4с). Нижний предел воспламенения по диаметру определяется теплотериями с газом молекулярно-конвективным путем, а теплотери на излучение определяют верхний предел.

Следовательно, можно ввести определенный критерий, который позволит разделить всю область диаметров на мелкие ($d < d_{min}$) и крупные ($d > d_{min}$). Для этого определим минимум на зависимости $C_{avi}(d/Nu)$ при условии протекания химической реакции в кинетической области, т.е., используем условия стационарности (4), $\partial C_a / \partial T = 0$ и $\partial C_a / \partial d = 0$. В результате чего получим

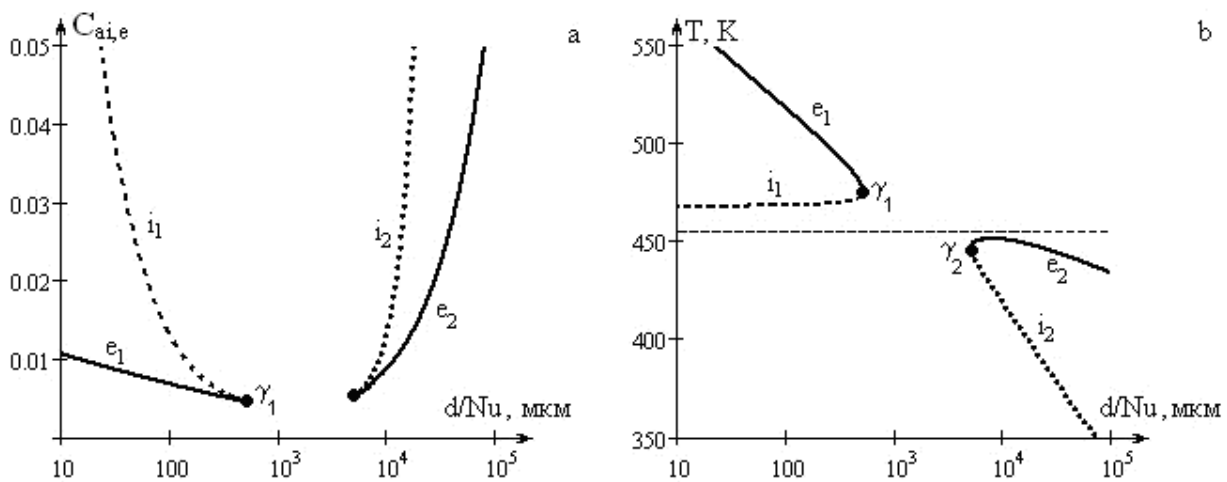


Рис. 5. Зависимость критических значений концентрации горючего (а), температуры (б) гализатора от диаметра частицы при $T_g = 455$ К, $T_w = 300$ К.

$$\left. \frac{d}{Nu} \right|_{\min} = \frac{\lambda_g R T_g^2}{\varepsilon \sigma T_g^4 E} \left(1 - \frac{4 R T_g}{E} - \frac{T_w^4}{T_g^4} \right)^{-1}, \quad C_{av \min} = \frac{M_g}{M_a} \frac{\varepsilon \sigma (T_g^4 - T_w^4)}{Q_a k_0 \rho_g} \exp \left(\frac{E}{R T_g} \right)$$

Оценка этих значений для $T_g = 430$ К, $T_w = 300$ К показала, что $C_{av \min} = 2.25\%$ и $d/Nu|_{\min} = 2000$ мкм.

Нижнюю кривую (т. е.) назовем кривой погасания (рис.4а). При параметрах системы, находящимися между кривыми воспламенения и погасания, наблюдается гистерезисный режим. Частица может перейти на высокотемпературный режим окисления путем увеличения ее начальной температуры выше критического значения.

Качественно ход кривой напоминает кривую воспламенения. При малых частицах основную роль в теплопотери вносит теплоотдача к более холодному газу. Поэтому необходимо уменьшить концентрацию активного компонента для вынужденного перехода на высокотемпературный режим окисления. Уменьшение с ростом диаметра массопереноса горючего к поверхности частицы и, следовательно, химического тепловыделения существенное (число Семенова $Se_e > 1$), но не определяющее. Поэтому темп падения критического значения концентрации с ростом диаметра более пологий, чем в случае кривой воспламенения.

В ростом диаметра увеличивается относительная роль в общих теплопотерях теплообмена излучением, а также уменьшается массоперенос горючего к поверхности частицы и, следовательно, химическое тепловыделение. Таким образом, для вынужденного перехода на высокотемпературный режим окисления необходимо помимо повышения начальной температуры повысить концентрацию активного компонента.

Как отмечалось ранее, при увеличении температуры газа происходит вырождение критических условий (рис.5). Учет теплопотерь излучением

приводит к появлению двух точек вырождения для мелких и крупных частиц катализатора. Критические температуры воспламенения T_i и погасания T_e крупных частиц катализатора меньше, чем температура нагретого газа, т.е. частица нагревается от газа.

Следовательно, существует область изменения диаметров катализатора $d_{\gamma_1} < d < d_{\gamma_2}$, внутри которых происходит самопроизвольные переходы на высокотемпературный режим окисления независимо от начальной температуры и практически при любой концентрации активного компонента. При уменьшении концентрации горючего для этой области диаметров температуры каталитического горения приближаются к эффективной температуре окружающей среды, т.е. происходит вырождение высокотемпературного окисления. Анализ показал, что именно теплопотери на излучение приводят к появлению некоторого минимального значения температуры газа, выше которой наблюдается две точки (условия) вырождения, а ниже – их отсутствие.

Выводы. Сравнение с экспериментальными данными по температуре каталитического горения газов на катализаторе позволяет установить механизм протекания гетерогенно-каталитической реакции.

В результате анализа зависимостей температуры газа и концентрации горючего от стационарной температуры катализатора в параметрическом виде получены зависимости критических значений размера частицы, концентрации окислителя и температуры газа от температуры катализатора, соответствующих каталитическому воспламенению и погасанию малых содержаний горючих и токсичных газообразных веществ на катализаторе.

За счет возрастания роли теплообмена излучение для достаточно крупных частиц катализатора возникает верхний предел воспламенения и погасания по диаметру катализатора.

Предлагаемый метод исследования критических условий позволил дополнительно в аналитическом виде описать вырождение критических условий тепломассообмена катализатора с газом и установить роль массообмена и теплообмена излучением.

Данная методика предсказания режимов работы частиц катализаторов позволит создавать новые катализаторы, не содержащих драгоценных металлов, для диагностики и утилизации горючих и токсичных веществ нужных малых концентраций в воздухе.

Список использованной литературы

1. [Попова Н. М.](#) Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств / Н. М. Попова. – М.: Химия, 1991. – 176 с.
2. Матрос Ю.Ш. Обезвреживание газовых выбросов промышленных производств / Ю.Ш. Матрос, А.С. Носков // Успехи химии. – 1990. – Т. 59, № 10. – С. 1700-1727.

3. Гликин М. А. Аэрозольный катализ // Теоретические основы химической технологии. – 1996. – Т. 30, №4. – С. 430-434.

4. Критические условия и период индукции поверхностного горения газов на частицах катализатора / В. В. Калинин, А. Н. Софронков, А. С. Черненко, А. А. Мойса, А. А. Головкин // Космический вызов XXI века. – 2012. – Т.4. – С. 134-138.

5. Калинин В. В. Критические и устойчивые условия тепломассообмена химически активной частицы для реакции первого порядка / В. В. Калинин, А. С. Черненко, А. А. Мойса // Физика аэродисперсных систем. – 2009. – № 46. – С. 28-38.

6. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 502 с.

Калінчак В.В., Черненко О.С., Калугін В.В., Софронков О.Н.

КРИТИЧНІ ТА СТІЙКІ УМОВИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ЧАСТИНОК КАТАЛІЗАТОРА ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМУ ОКИСЛЕННІ МАЛОГО ВМІСТУ ГОРЮЧИХ І ТОКСИЧНИХ ГАЗОПОДІБНИХ РЕЧОВИН

В роботі з врахуванням масообміну газоподібних речовин і теплообміну випромінюванням проводиться аналіз критичних умов займання і погасання малого вмісту горючої або токсичної газоподібної речовини в повітрі на частинці каталізатора. Основну увагу приділяється розгляду впливу газу, концентрації горючого, а також діаметру каталізатора. Показана роль теплообміну випромінюванням на утворення другої верхньої межі займання і погасання по діаметру, а також в зниженні критичної температури каталізатора при займанні нижче температури газу. Встановлена роль масообміну газоподібних речовин і теплообміну випромінюванням на критичне значення температури виродження критичних умов.

Ключові слова: гетерогенний катализ, горючі та токсичні гази, займання, погасання, виродження, масообмін, теплообмін випромінюванням.

Kalinchak V.V., Chernenco A.S., Kalugin V.V., Sofronkov A.N.

Critical and steady conditions of heat and mass exchange of particles of the catalyst at the heterogeneous oxidation of small maintenance combustible and toxic gaseous substances

In work with the account of mass exchange of gaseous components and heat exchange by radiation the analysis of critical conditions of ignition and extinction of the small maintenance of combustible or toxic gaseous substance in air on a catalyst particle is carried out. The basic attention is given to consideration of influence of temperature of gas, concentration of fuel, and also diameter of the catalyst. The role of heat exchange by radiation on formation of the second top limit of ignition and extinction on diameter, and also in fall of critical temperature of the catalyst is shown at ignition below gas temperature. The role of mass exchange of gaseous substances and heat exchange by radiation on critical value of temperature of degeneration of critical conditions is established.

Keywords: heterogeneous catalysis, combustible and toxic gases, ignition, extinction, degeneration, mass exchange, heat exchange by radiation.

УДК 614.812

Разработка математической модели вибрационного воздействия на огнетушащий порошок*Колибабчук А.А., к.т.н., Касьянов Н.А., д.т.н., проф.**Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, (Украина)*

Разработана математическая модель вибрационного воздействия на огнетушащий порошок при его транспортировании с воздухом для получения конструктивных размеров бункера установки пожаротушения с вибрационной подготовкой.

Ключевые слова: огнетушащий порошок, истечение, бункер, математическое моделирование, геометрические параметры, выпускное отверстие.

Анализ состояния вопроса. Технический прогресс в любой отрасли промышленности тесно связан с проблемой обеспечения пожарной безопасности. Он неизбежно влечет за собой увеличение риска возникновения пожара и возможного материального ущерба, угрозы для здоровья и жизни людей. За 2010 г. в Украине зарегистрировано 62207 пожаров, что на 41,3 % больше, чем в 2009 г. Экономические потери составили 2,31 млрд. грн., из которых прямые материальные убытки достигли 665,4 млн. грн. В течение 2010 г. в Украине ежедневно в среднем возникало 150 пожаров, что на 50 больше, чем в 2009 г., в результате которых погибало 8 и получали травмы 4 человека, а ежедневный экономический ущерб от пожаров составил 6,33 млн. грн. Поэтому вопросы пожарной безопасности промышленных объектов являются важными для хозяйственного комплекса Украины.

В обеспечении пожарной безопасности промышленных объектов важное место занимают установки порошкового пожаротушения. Несмотря на то, что они обладают высокой эффективностью действия, их применение ограничено, так как существует вероятность отказа в работе, достигающая 30%. Отказы происходят вследствие несовершенства схем снабжения рабочим газом и подготовки порошка к транспортированию для устранения его комкования из-за слеживаемости. А для установок с хранением газа под давлением они вызываются утечкой газа из баллонов или резервуара установки. Использование газа под давлением накладывает особые требования к монтажу, техническому обслуживанию и температурному режиму при эксплуатации установок. Это в определенной мере ограничивает их функциональные возможности и область применения. Существующие схемы подготовки порошка не всегда обеспечивают необходимого качества восстановления его текучести, так как после подготовки в нем содержатся включения газовых пузырьков и комков порошка. Это приводит к нарушению параметров его вытеснения из резервуара и транспортирования по трубопроводу, снижает надежность и эффективность действия установки.

Вопросом разработки и совершенствования средств порошкового пожаротушения посвящено большое количество работ, из которых следует отметить исследования Баратова А.Н., Исавнина Н.В., Пашковского П.С., Севрикова В.В., Булгакова Ю.Ф., Кудинова Ю.В., Грекова С.П., Костенко

В.К., Антонова А.В. Работы Дунюшкина В.А., Сизикова А.А. направлены на совершенствования отдельных узлов установок. Однако наряду с этим структурные схемы подготовки порошка и снабжения рабочим газом не претерпели существенных изменений.

Постановка задачи исследования. В настоящее время используются новые образцы установок порошкового пожаротушения, которые изготовлены по традиционным схемам снабжения рабочим газом и подготовки порошка к транспортированию. В связи с этим вопросы обеспечения качественной подготовки порошка и безотказной работы установок остаются не до конца решенными. Поэтому исследования по созданию установок порошкового пожаротушения с более совершенными характеристиками технических схем подготовки и транспортирования огнетушащего порошка являются актуальными, что обусловило выбор темы статьи.

Материалы и результаты исследования. На основании выполненного анализа

предложен новый принцип построения установок порошкового пожаротушения, в основу которого положена схема вибрационной подготовки и транспортирования порошка центробежной машиной (рис. 1). Основными узлами установки являются центробежная машина и бункер с огнетушащим порошком. Запорный клапан выпускного отверстия бункера приоткрывается при вращении вала рабочего колеса центробежной машины. Под действием вибрации бункера, которая возбуждается дебалансной массой рабочего колеса, происходит разрушение структурных связей в уплотненном порошке. Приведенный в состояние текучести, он вытекает из бункера на рабочее колесо центробежной машины, в межлопаточных каналах которого смешивается с воздухом и под давлением поступает в распылительный насадок или транспортный трубопровод.

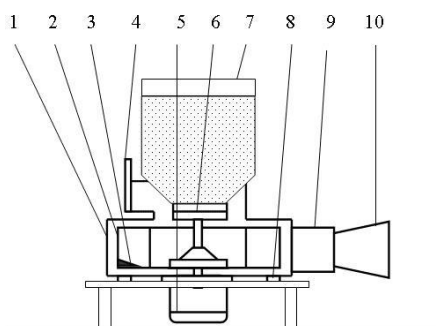


Рисунок 1 – Схема порошковой установки с центробежной машиной:

- 1 - центробежная машина; 2 - рабочее колесо; 3 - масса дебаланса; 4 - всасывающий патрубок; 5 - электродвигатель; 6 - запорный клапан; 7 - бункер с порошком; 8 - плавающая опора; 9 - нагнетательный патрубок; 10 - распылительный насадок.

Известно [1,2], что мелкофракционные порошковые материалы, к которым относятся и огнетушащие порошки, классифицируются как связные плохо сыпучие материалы.

Связность между частицами порошка возникает под действием давления веса вышележащих слоев. Между частицами порошка возникают молекулярные силы сцепления, способствующие упрочнению материала. При уплотнении порошка происходит уменьшение его пористости, воздух из пор частично вытесняется, а объемная масса и количество точек взаимного контакта между частицами порошка увеличивается. Возникшие напряжения приводят к потере подвижности частиц и образованию статического свода над отверстием бункера, что препятствуют истечению порошка. Условием для образования статического свода над отверстием является равновесие сил давления веса и касательных напряжений, воспринимающих вес деформируемого материала. Согласно [3] условие образования свода выражается соотношением

$$d_n \rho g = 4\tau_0(1 + \sin \varphi), \quad (1)$$

где d_n – предельный диаметр сводообразующего отверстия; ρ – плотность материала; g – ускорение свободного падения, τ_0 – начальное сопротивление сдвигу; φ – угол естественного откоса.

Из (1) следует, что для исключения образования статического свода необходимо, чтобы начальное сопротивление сдвигу было меньше сил давления. Однако для некоторых связных мелкодисперсных материалов это условие не обеспечивает непрерывности истечения, так как возможно возникновение явления зависания материала. При зависании часть материала, расположенного над отверстием истекает, а остальная часть из-за больших сил сцепления между частицами остается неподвижной. При отсутствии образования свода возможны три режима истечения сыпучих материалов [4], из

которых наиболее стабильным является гидравлический режим. Для связных мелкодисперсных материалов такой режим истечения без их предварительной подготовки практически невозможен. Поэтому перед подачей уплотненный материал подвергают внешнему силовому воздействию различными способами [5].

Непрерывная подача порошка в очаг горения является одним из показателей надежности и эффективности действия установок при тушении пожаров. Для разрабатываемой установки вопрос обеспечения непрерывности истечения порошка из бункера решается путем восстановления его текучести с использованием вибрационного метода.

Согласно принятой технической модели круговые колебания возбуждаются дебалансной массой, прикрепленной к рабочему колесу центробежной машины. В результате любая точка системы «центробежная машина-бункер» (рис. 2) совершает вибрационные колебания по круговой [6] траектории в горизонтальной плоскости.

Известно, что при круговой вибрации в вертикальной плоскости [7] дисперсный материал в цилиндрических камерах совершает общее и локальное циркуляционные движения. Общее движение материала происходит в плоскости, перпендикулярной оси вала вибратора. Локальное движение в слое общего циркуляционного движения совершается вследствие индивидуального перемещения частиц от соударения с вибрирующей поверхностью. Такие движения возникают при отрыве слоя материала от вибрирующей поверхности, при этом материал находится в состоянии виброкипения.

Условие отрыва слоя, без учета свойств материала по [7] представляется в виде

$$m_2 g < m A \omega^2 \sin \psi, \quad (2)$$

где m_2 – масса материала; m – масса установки; A – амплитуда вибрационных колебаний, ω – круговая частота вибрационных колебаний, ψ – угол «выбрасывания» материала поверхностью стенки.

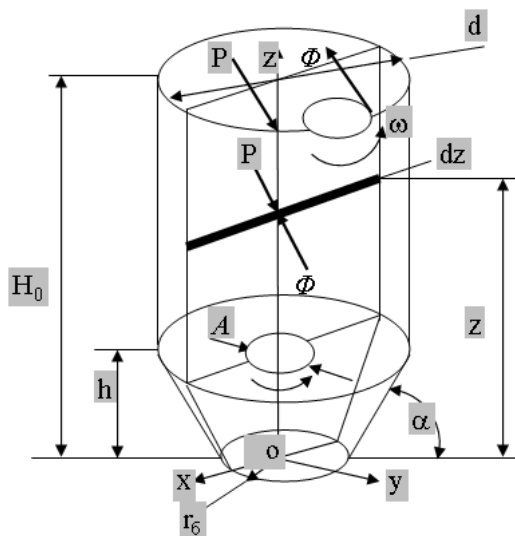


Рисунок 2 – Расчетная схема математической модели
процесса вибрационной подготовки порошка

Для разрабатываемой установки условие (2) имеет такой же вид при круговой вибрации бункера в горизонтальной плоскости. Выполнение этого условия является достаточным для разрушения структурных связей между частицами порошка, которое исключает образование свода над отверстием горловины бункера установки.

Вынуждающая сила вибрационных колебаний, передаваемых центробежной машиной бункеру, будет определяться [8,9] величиной массы дебаланса m_d , ее смещением (эксцентриситетом) относительно оси вращения рабочего колеса δ и угловой скоростью вращения ω последнего

$$F = m_d \delta \omega^2, \quad (3)$$

Для нахождения параметров, входящих в выражение (2), предположим, что на установку наложены такие связи, которые позволяют ей совершать круговые поступательные движения в горизонтальной плоскости. Так как масса дебаланса вращается в горизонтальной плоскости, то в системе неподвижных горизонтальных координат x и y (рис. 2) колебательное движение установки описывается системой двух дифференциальных уравнений [10]

$$\begin{cases} m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = m_d\delta\omega^2 \cos \omega t \\ m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = m_d\delta\omega^2 \sin \omega t \end{cases}, \quad (4)$$

где b – коэффициент сопротивления; c – коэффициент жесткости упругих связей.

Для вынужденных установившихся колебаний решение системы дает выражение для определения их амплитуды

$$A = \frac{m_d \delta \omega^2}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 n^2 \omega^2}}, \quad (5)$$

где $\omega_0 = \sqrt{c/m}$ – угловая частота собственных колебаний установки, $n = b/2m$ – коэффициент затухания.

Из-за неопределенности параметров ω_0 и n использование формулы (5) не представляется возможным. Из теории колебаний механических систем известно [7,8], что если $\omega_0 \ll \omega$, то величина подкоренного выражения мало отличается от значения величины ω^4 . Принимая во внимание, что при стационарных вынужденных колебаниях, когда отсутствуют затухающие колебания, коэффициент затухания принимается $n = 0$. Тогда выражение для амплитуды вынужденных колебаний установки принимает вид

$$A = \frac{m_d \delta}{m}. \quad (6)$$

Если учесть то, что масса установки без порошка равна

$$m = m_1 + m_d, \quad (7)$$

то уравнение (6) приводится к виду

$$A = \frac{m_d \delta}{m_1 + m_d}, \quad (8)$$

где m_1 – масса узлов установки.

Для нахождения величины массы дебаланса, закрепленной на рабочем колесе, рассмотрим условия равновесия вибрационных сил инерции и сил давления в слое порошка. Для этого выясним, при каких условиях нарушается равновесие вибрационной силы бункера Φ , действующей на порошок и силы давления порошка P на стенки бункера. Поскольку виброкипение [7] характеризуется отрывом частиц порошка от поверхности, то в этом случае условием нарушения равновесия будет превышение вибрационной силы установки над силой давления порошка, то есть $\Phi > P$.

Вибрационная сила установки равна произведению массы ее узлов m на вибрационное ускорения $A\omega^2$, то есть

$$\Phi = mA\omega^2. \quad (9)$$

Для нахождения сил давления порошка на стенку бункера установим взаимосвязь между горизонтальными и вертикальными напряжениями в слое порошка. В дисперсных материалах горизонтальные p_{Γ} и вертикальные p_v напряжения у стенки бункера связаны между собой зависимостью [11]

$$p_{\Gamma} = \left(\frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha} \right) p_v, \quad (10)$$

где α – угол естественного откоса для сыпучего материала (угол, образованный конической поверхностью материала с горизонтальной плоскостью).

Так как под воздействием вибрации порошок переходит в состояние виброкипения, то, в силу приобретенной частицами подвижности, угол естественного откоса становится равным нулю и соотношение (10) превращается в равенство горизонтальных r_r и вертикальных сил r_r давления. Поэтому виброкипящий порошок можно рассматривать, как жидкость, а главные напряжения в порошке будут равны силе давления.

Для нахождения сил давления порошка на стенки бункера свяжем их с секущей плоскостью, через ось симметрии oz бункера (рис. 2). Начало отсчета поместим в плоскости выпускного отверстия и направим его вверх. Образованная секущей плоскостью площадь сечения имеет переменную ширину в конической части бункера и постоянную, в цилиндрической части. Выделим в произвольном месте элементарную полоску шириной d и высотой dz с координатой Z . Площадь этой полоски определяется уравнением

$$dS = d \, dz. \quad (11)$$

Ширина выделенной полоски d в пределах конической части сечения бункера является величиной переменной и определяется выражением

$$d = d_6 + 2z \, \operatorname{ctg} \alpha, \quad (12)$$

где d_6 – диаметр выпускного отверстия бункера.

Высота конической части бункера равна

$$z_k = \frac{1}{2} (d_{\text{ц}} - d_6) \operatorname{tg} \alpha, \quad (13)$$

где $d_{\text{ц}}$ – диаметр цилиндрической части бункера.

Элементарная сила давления на выделенную поверхность описывается дифференциальным уравнением

$$dP = \rho g (H_0 - z) d \, dz. \quad (14)$$

Интеграл дифференциального уравнения (2.55) для сил давления в плоскости сечения конической части бункера с учетом (2.53) имеет вид

$$P_k = \int_0^{z_k} dP = \rho g \int_0^{z_k} (H_0 - z) (d_6 + 2z \operatorname{ctg} \alpha) dz. \quad (15)$$

После интегрирования (15) и алгебраических преобразований получается выражение

$$P_k = \frac{1}{2} \rho g (d_u - d_6) \left[H_0 d_u - \frac{1}{12} (d_u - d_6) (d_6 + 2d_u) \operatorname{tg} \alpha \right] \operatorname{tg} \alpha. \quad (16)$$

Інтеграл дифференціального уравнения (14) для сил давления в плоскости сечения цилиндрической части бункера имеет вид

$$P_u = \rho g d_u \int_{z_k}^{H_0} (H_0 - z) dz = \frac{1}{2} \rho g d_u (H_0 - z_k)^2, \quad (17)$$

проинтегрировав (17) и выразив z_k через (13), имеем

$$P_u = \frac{1}{2} \rho g d_u \left(H_0 - \frac{1}{2} (d_u - d_6) \operatorname{tg} \alpha \right)^2. \quad (18)$$

С учетом (9), (16) и (18) условие виброкипения порошка в бункере принимает вид

$$mA\omega^2 > P_k + P_u. \quad (19)$$

Решая (19) относительно A , получаем выражение для нахождения амплитуды колебаний

$$A > \frac{P_k + P_u}{m\omega^2}. \quad (20)$$

С учетом ранее найденной амплитуды колебаний (6) неравенство (20) приводится к виду

$$\frac{m_d \delta}{m_1 + m_d} > \frac{P_k + P_u}{m\omega^2}. \quad (21)$$

Разрешая его относительно массы дебаланса m_d и, учитывая равенство (7), получаем выражение для ее определения

$$m_d > \frac{P_k + P_u}{\delta \omega^2}. \quad (22)$$

Выводы. В результате выполненного исследования получены выражения, позволяющие из количественных соотношений амплитуды колебаний и дебалансной массы, определять конструктивные параметры установки пожаротушения с вибрационной подготовкой и подачей огнетушащего порошка центробежной машиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / Черкасский В.М. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

2. Быков С.А. Разработка импульсного огнетушителя для дальнего распыления огнетушащих веществ: Дис. ... канд. техн. наук: 26.06.02. / Быков Сергей Антонович – Харьков: 2001. – 228 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. совет: В.М. Челомей (предс.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под. ред. Э.Э. Левендела, 1981. – 509 с.
4. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
5. Алферов К.В. Бункерные установки / Алферов К.В., Зенков Р.Л. – М.: Машгиз, 1965. – 308 с.
6. Колибабчук А.А. Вибрационное восстановление текучести огнетушащего порошка в установках порошкового тушения с бункерным питателем / А.А. Колибабчук // Вестник ВНУ им. В. Даля, № 12. – Луганск, 2004. – С. 109-117.
7. Членов В.А. Виброкипящий слой / Членов В.А., Михайлов Н.В. – М.: Наука 1972. – 343 с.
8. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники / Быховский И.И. – М.: Машиностроение, 1963. – 363 с.
9. Бауман В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / Бауман В.А., Быховский И.И. – М.: Высшая школа, 1977. – 256 с.
10. Колібабчук О.О. Удосконалення експлуатаційних характеристик установок пожежогасіння / Колібабчук О.О., Касьянов М.А. // Вісник СНУ ім. В.Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – №6 (124). – Ч. 2. – С. 63-68.
11. Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов / Рогинский Г.А. – М.: Химия, 1978. – 173 с.

Колібабчук О.О., Касьянов М.А. Розробка математичної моделі вібраційного впливу на вогнегасний порошок

Розроблено математичну модель вібраційного впливу на вогнегасний порошок при його транспортуванні з повітрям для одержання конструктивних розмірів бункеру установки пожежогасіння з вібраційною підготовкою

Ключові слова: вогнегасний порошок, витікання, бункер, математичне моделювання, геометричні параметри, випускний отвір.

Kolibabchuk A.A., Kasyanov N.A. Development of mathematical model of oscillation influence on fireextinguishing powder

The mathematical model of oscillation influence is developed on fireextinguishing powder of transportation with air for reception of the constructive

sizes of the bunker of installation fireextinguishing with vibrating preparation is executed.

Key words: fireextinguishing powder, the expiration, bunker, mathematical modeling, geometrical parameters, final aperture.

ГІДРАВЛІЧНИЙ ОДНОКІВШЕВИЙ ЕКСКАВАТОР ДЛЯ РОБОТИ НА ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ

Лисак С.І., Суслов С. І.

Миколаївський будівельний коледж
Київського національного університету будівництва і архітектури

Вступ. Одноківшеві екскаватори займають провідне місце серед будівельних машин для виконання земляних робіт. Ними виконують значний комплекс робіт при розробці котлованів і траншей, будівництві автомобільних та залізничних доріг, аварійно-рятувальних операціях тощо[1]. Ефективність використання цих машин значною мірою залежить від типу приводу робочого обладнання (системи керування механічної чи гідравлічної), його функціональних можливостей, типу ходового устаткування, якості виготовлення конструктивних елементів і організаційно-технологічного рівня експлуатації техніки.

Загальними тенденціями розвитку конструкції одноківшевих екскаваторів є: створення нового типу – екскаваторів-маніпуляторів і міні-екскаваторів із набором швидкоз'ємних робочих органів для комплексної механізації робіт у будівництві; підвищення питомої потужності при порівняно невеликому збільшенні маси; застосування більш міцних матеріалів, захисних обладнань; зниження трудомісткості технічного обслуговування; поліпшення умов праці за рахунок зниження трудомісткості керування машиною, зменшення шуму, вібрацій, загазованості, запиленості; створення важких екскаваторів на базі спарених платформ; розширення номенклатури екскаваторного устаткування; використання автоматичних (дистанційних) систем керування РО; удосконалення систем керування і створення комфортних умов для машиніста; упровадження мікропроцесорної техніки, у тому числі пристроїв відображення інформації.

Ходове обладнання екскаваторів призначене для передачі на опорну поверхню ваги базової машини і зовнішніх силових впливів (сили різання ґрунту ковшем, інерційні навантаження та ін.), переміщення машини на робочих та транспортних швидкостях.

В якості ходового устаткування одноківшевих екскаваторів використовується: гусеничне, пневмоколісне, гусенично-колісне та крокуюче обладнання [2]. Найбільш поширеними є два перші типи ходового обладнання. Крокуючий ходовий механізм має обмежене застосування і використовується лише на машинах значної потужності та маси (для переміщення драглайнів). Пневмоколісне ходове обладнання забезпечує маневреність, мобільність, високі транспортні швидкості і плавність руху, але на відміну від гусеничного, вимагає застосування аутригерів, тобто пристроїв для підвищення стійкості при роботі. Гусеничне ходове устаткування характеризується добрим зчепленням із опорною поверхнею, високою тяговою здатністю, більшою опорною поверхнею, високою прохідністю, що дозволяє виконувати роботи в умовах бездоріжжя. Але йому властиві суттєві недоліки, зокрема, складність конструкції, велика кількість рухомих з'єднань деталей, які не захищені від абразивного середовища, значна металомісткість конструкції.

Постановка проблеми. При виконанні різних видів земляних робіт іноді існує необхідність функціонування на складній та не рівній опорній поверхні. Крім того, землерийне обладнання доцільно застосовувати на всіх стадіях рятувальних та відновлювальних робіт при ліквідації наслідків землетрусів, обвалів, при яких відбувається руйнування промислових та цивільних споруд, транспортних та інженерних комунікацій [3]. До того ж, ходове та робоче обладнання повинне забезпечити роботу у стиснених умовах завалів зруйнованих споруд, зменшувати небезпеку знаходження рятувальників в цих умовах. При цьому важливими критеріями є забезпечення стійкості машини в процесі роботи та можливість швидкого та безпечного пересування по

складному ландшафту. Задовольнити в повній мірі вказані вимоги не може пневмоколісне та гусеничне ходове обладнання.

Мета роботи полягає у розробці конструкції ходового обладнання однокішшевого екскаватора для можливості роботи у складних виробничих умовах на опорній поверхні зі значною зміною її профілю. **Задачею** є надання конструктивним елементам обладнання необхідної кінематики руху для їх швидкої адаптації під профіль опорної поверхні і забезпечення стійкого положення машини в робочому та транспортному режимах роботи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Сучасний ринок будівельної техніки, зокрема однокішшевих екскаваторів, представлений багатьма фірмами-виробниками: Caterpillar, Liebherr, Kobelco, Samsung, Komatsu та ін. Фахівці цих фірм постійно працюють над удосконаленням конструкції ходових устаткувань та робочого обладнання, і, окрім цього, значний обсяг робіт виконується по впровадженню інформаційних технологій та засобів, які забезпечують автоматизацію керування машиною і автоматизацію виконання технологічних операцій. Також закордонні фірми-виробники велику увагу приділяють поліпшенню дизайну, особливо кабін і капотів [4].

Однокішшеві гідравлічні екскаватори зі спеціальним ходовим обладнанням зокрема пропонуються італійською компанією Euromach SpA (модель екскаватора R105, рис.1) та німецькою компанією Kaiser (моделі екскаватора S1 та S2, рис.2) [5,6].



Рисунок 1 – Екскаватор Spider R105



Рисунок 2 – Екскаватор Kaiser S1

Вказані фірми рекламують ці машини як землерийних акробатів для механізації земляних і навантажувально-розвантажувальних робіт у важкодоступних місцях, а також для лісорозробок.

Розроблений авторами роботи однокішшевий екскаватор для роботи на опорній поверхні зі складним рельєфом показаний на рис.3.

Однокішшевий екскаватор складається із поворотної платформи 9 на якій в передній частині розміщено робоче обладнання, кабіна оператора 7 та силова установка 8. Робоче обладнання екскаватора, яке шарнірно приєднане до поворотної платформи, складається із стріли 4, до якої рухомо приєднано рукоять 3. На кінці рукояті монтується ківш 1. Рукоять 3 складається із основної та розміщеної в ній вставної секції, яка керується гідроциліндром (на рис. не показаний). За допомогою механізму телескопування рукояті є можливість змінювати радіус копання. Стріла, рукоять та ківш керуються відповідними гідроциліндрами 6, 5, 2. Вказане устаткування встановлюється на спеціальному ходовому обладнанні оригінальної конструкції. Ходове обладнання екскаватора виконане у вигляді основної рами 11, до якої шарнірно приєднані опорні лапи 14 із змонтованими на них пневматичними

колесами (приводними 10 та не приводними 12). Опорні лапи 14 мають можливість повороту у вертикальній та горизонтальній площині за допомогою гідроциліндрів 15 та 16 відповідно. Індивідуальний гідропривід опорних лап та кінематика їх руху дозволяє здійснювати адаптацію ходового обладнання до відповідних умов опорної поверхні, займаючи при цьому стійке положення.

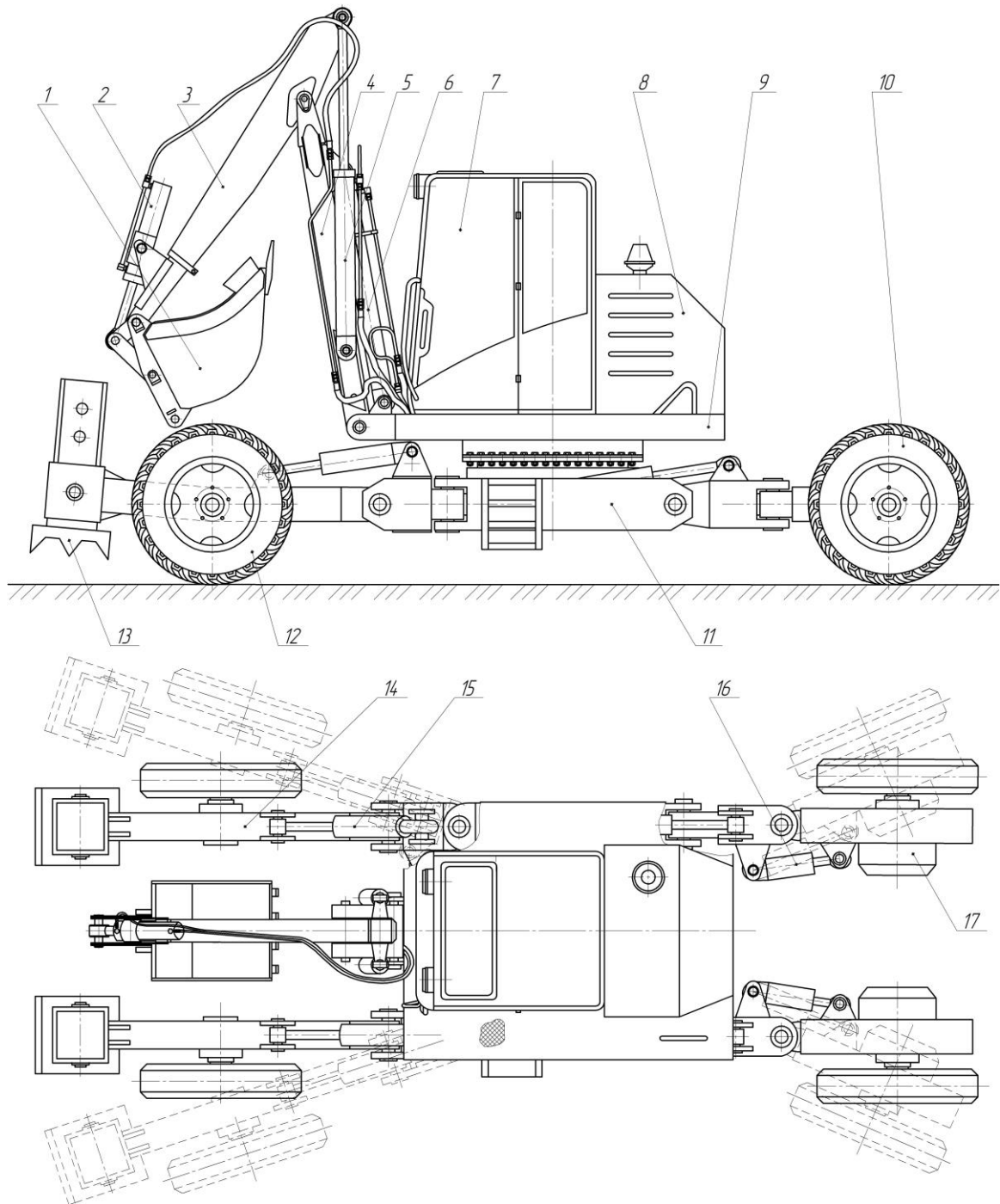


Рисунок 3 – Проектований спайдер-екскаватор, загальний вид

Для покращення зчеплення ходового обладнання екскаватора із опорною поверхнею використовуються спеціальні аутригери 13, що фіксуються у необхідному положенні. При роботі в екстримально важких умовах для забезпечення стійкості машини є можливість зняти колеса. Також є можливість оперативно змінювати ківш на

різноманітні робочі органи за допомогою спеціального механізму, розширюючи при цьому технологічні можливості машини.

Переміщення екскаватора у важкопрохідних місцях та на значних схилах здійснюється за допомогою телескопічної рукояті 3, для чого ківш опирають на ґрунт і відштовхуються на нове місце шляхом висування вставної рукояті (рис.1). Транспортне переміщення здійснюється від гідромоторів 17 із гідростатичним багатодисковим гальмом. Швидкість переміщення екскаватора складає до 10 км/год, зміна швидкості — безступінчаста.

У випадку необхідності перебазування екскаватора на значні відстані, його оригінальна конструкція, невеликі габарити і мобільність дозволяють самостійно завантажуватись в кузов вантажного автомобіля та розвантажуватись без додаткових підіймальних механізмів.

Забезпечення стійкості екскаватора є важливою умовою безпеки виконання робіт на будівельному об'єкті. Метою розрахунку екскаватора на стійкість є перевірка його здатності протидіяти опрокидуванню при виконанні повороту платформи із завантаженим ковшем і одночасному маніпулюванні робочим обладнанням. Небезпека втрати стійкості

виникає у випадку, коли сумарний опрокидувальний момент M від дії зовнішніх

сил буде перевищувати сумарний утримуючий момент $M_{\text{у}} \cdot$. В цьому випадку починається поворот екскаватора відносно ребра опрокидування, якому протидіє утримуючий момент і момент інерції опору опрокидуванню. Якщо тривалість дії і величина динамічних навантажень значні, то відбувається опрокидування екскаватора.

Для оцінки надійності положення проектного екскаватора під час роботи, виконаємо розрахунок коефіцієнту стійкості. Розрахункова схема наведена на рис.4. Відповідні параметри конструктивних елементів розраховані методом геометричної подібності існуючого та проектного екскаватора (в якості екскаватора-аналога було прийнято екскаватор ЭО-3322).

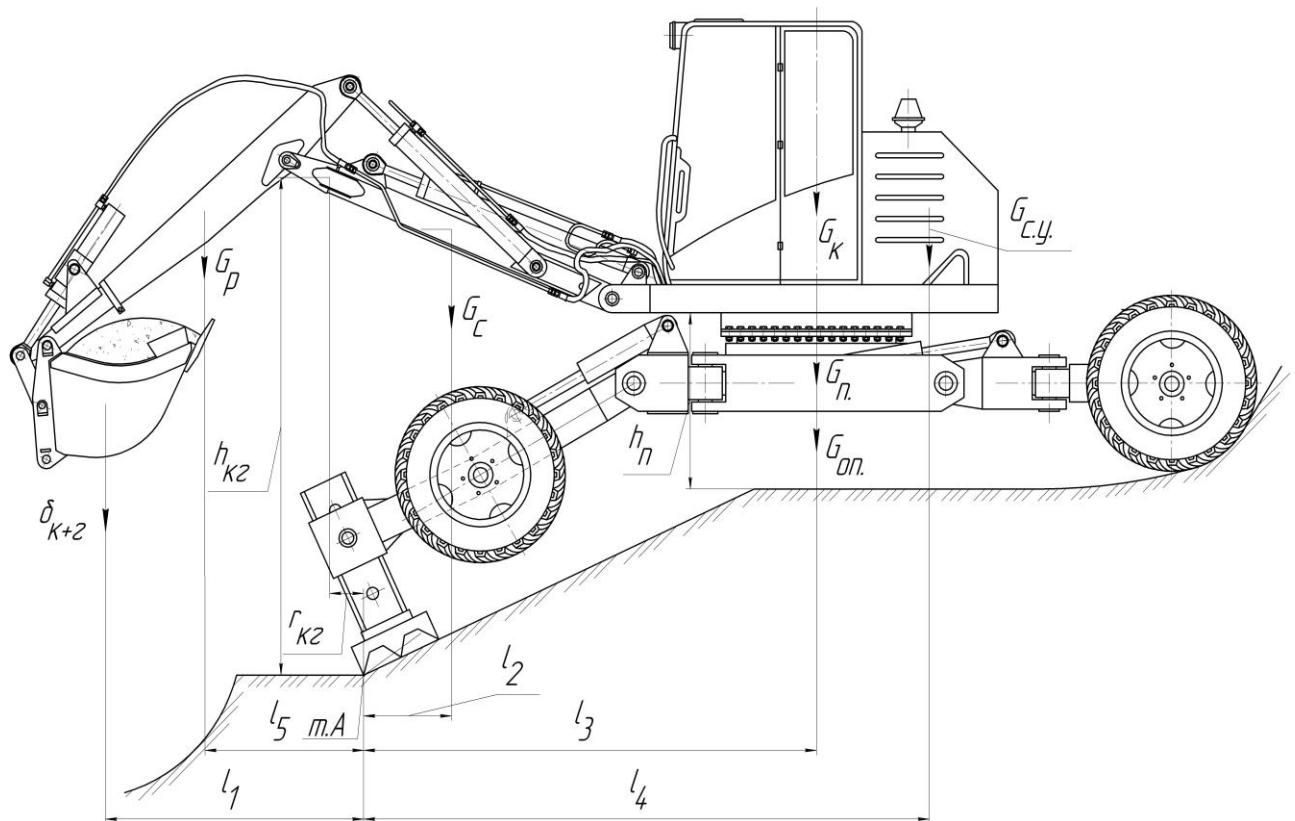


Рисунок 4 — Розрахункова схема до визначення стійкості екскаватора

Коефіцієнт стійкості розраховується за формулою:

$$K_{\text{ст.}} = \frac{M_{\text{утр.}}}{M_{\text{опр.}}} \geq [K_{\text{ст.}}], \quad (1)$$

де $M_{\text{утр.}}$ — сумарний момент утримуючих сил відносно точки опрокидування А;
 $M_{\text{опр.}}$ — сумарний опрокидувальний момент від діючих сил відносно точки опрокидування А; $[K_{\text{ст.}}]$ — допустимий коефіцієнт стійкості екскаватора, $[K_{\text{ст.}}] = 1,15$.

Момент утримуючих сил відносно точки А

$$M_{\text{утр.}} = (G_k + G_{\text{оп.}} + G_n)l_3 + G_{\text{с.у.}}l_4 + G_c l_2 + M_{\text{дин.}}, \quad (2)$$

де $G_k = 3624$ Н — вага кабіни; $G_{\text{оп.}} = 47089$ Н — вага опорно-поворотного круга;
 $G_n = 17658$ — вага поворотної платформи; $G_{\text{с.у.}} = 13979$ Н — вага силової установки;
 $G_c = 23912$ Н — вага стріли; $l_2 = 0,58$ м, $l_3 = 2,9$ м, $l_4 = 3,7$ м — плечі діючих сил відносно точки опрокидування екскаватора; $M_{\text{дин.}}$ — динамічний утримуючий момент від відцентрових сил інерції поворотної платформи:

$$M_{\text{дин.}} = G_n \omega^2 r_n h_n = 17658 \cdot 0,62^2 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 4073 \text{ Нм}, \quad (3)$$

де $\omega = 0,62$ рад/с — кутова швидкість обертання поворотної платформи; $r_n = 0,5$ м — радіус круга поворотної платформи; $h_n = 1,2$ м — висота від поворотної платформи до опорної поверхні;

$$M_{\text{упр.}} = (3924 + 4709 + 17658)2,9 + 13979 \cdot 3,7 + 23912 \cdot 0,58 + 4073 = 145908 \text{ Нм.}$$

Момент опрокидування відносно точки А

$$M_{\text{опр.}} = G_p l_5 + \delta_{\kappa.+\epsilon.} l_1 + M_{\text{ін.ро}}, \quad (4)$$

де $G_p = 6798$ Н — вага рукояті; $\delta_{\kappa.+\epsilon.} = 54161$ Н — вага ковша із ґрунтом; $l_5 = 1,0$ м, $l_1 = 1,7$ м — плечі діючих сил; $M_{\text{ін.ро}}$ — перекидаючий динамічний момент відцентрових сил інерції робочого обладнання визначається за формулою:

$$M_{\text{ін.ро.}} = G_{\text{ро}} \omega^2 r_{\text{кг}} h_{\text{кг}} = 84871 \cdot 0,62^2 \cdot 0,2 \cdot 3,1 = 20227 \text{ Нм,} \quad (5)$$

де $G_{\text{ро}} = G_p + \delta_{\kappa.+\epsilon.} + G_c = 6798 + 54161 + 23912 = 84871$ Н вага робочого обладнання; $r_{\text{кг}} = 0,2$ м — відстань від середини робочого обладнання до т. А; $h_{\text{кг}} = 3,1$ м — висота від середини робочого обладнання до опорної поверхні;

$$M_{\text{опр.}} = 6798 \cdot 1,0 + 54161 \cdot 1,7 + 20227 = 119098 \text{ Нм.}$$

Коефіцієнт стійкості

$$K_{\text{ст.}} = \frac{145908}{119098} = 1,22 \geq [1, 15].$$

Умова виконується, отже стійкість екскаватора забезпечена.

Більш поглиблений розрахунок на стійкість проектного екскаватора (що виконується з метою встановлення, найгірших для стійкості кутових положень елементів його конструкції) повинен базуватись на теоретичному аналізі динаміки процесу опрокидування екскаватора в умовах можливого суміщення робочих рухів у режимі розгону (гальмування) конструктивних елементів екскаватора.

Висновки. Аналіз ходового обладнання, що використовується для транспортних та робочих переміщень машин для земляних робіт, зокрема, одноківшевих екскаваторів, показав, що для роботи на опорній поверхні зі складним рельєфом, пневмоколісне та гусеничне устаткування не відповідає необхідним критеріям. Тому, опираючись на досвід створення землерийної техніки закордонними фахівцями, було розроблено ходове устаткування, що здатне адаптуватись під складні умови опорної поверхні, забезпечуючи цим стійке положення та маневреність. В реальних умовах, екскаватор повинен обов'язково проходити випробування на стійкість та інші вимоги безпеки згідно нормативного документу ISO 3164-99 та ISO898-1-78.

ЛІТЕРАТУРА

1. Домбровський Н. Г., Картвелтшвили Ю. Л., Гальперин М. Н. Строительные машины. Уч. для вузов. Ч. 1-я. — М.: Машиностроение, 1976. — 391 с.
2. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации: Учебник для строительных вузов. — М.: Высшая школа, 2001. — 575 с.

3. Хмара Л. А., Шатов С. В. Технология ведения спасательных работ землеройно-манипуляторным оборудованием многоцелевого назначения // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: Всеукр. між. зб.наук. праць. — К.: КНУБА, 2008. — Вип. 71. — С. 24...29.
4. Воляннюк В. О. Напрями розвитку закордонної будівельної техніки для земляних робіт // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: Всеукр. між. зб.наук. праць. — К. : КНУБА, 2006. — Вип. 67. — С. 54...58.
5. http://exkavator.ru/main/news/inf_news/~id=8155.
6. http://www.stroyteh.ru/publication/Ehkskavatory_pauki.

УДК 621.01.(075.8)

**АВТОМАТИЧНІ ІНЕРЦІЙНО-ФРИКЦІЙНІ МУФТИ ЗЧЕПЛЕННЯ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ПРИНЦИП ПЕРЕДАВАННЯ ЕНЕРГІЇ****Малащенко В.О., *Федорук В.А., *Стрілець В.М.***Національний університет «Львівська політехніка»***Національний університет водного господарства та природокористування*

Розглянуто будову та принцип дії автоматичних муфт транспортних засобів підвищених технічних характеристик, що здійснюють свої вмикання та вимикання за рахунок сил інерції мас їх елементів. Застосування таких пристроїв суттєво спрощує процес керування будь-яким транспортним засобом, що обладнане двигуном внутрішнього згоряння.

Ключові слова: інерційні муфти, муфти, передавання енергії.

Вступ. Підвищення технічних характеристик автоматичних муфт транспортних засобів, які крім основних функцій, мають спростити конструкції існуючих подібних пристроїв за рахунок використання інерційності мас елементів ведучої напівмуфти в різноманітних умовах експлуатації, є першочерговою потребою машинобудування.

Актуальність роботи. На основі аналізу способів передачі енергії від вала двигуна внутрішнього згоряння на трансмісію транспортного засобу і конструкцій муфт, описаних у роботах [1, 2], розроблений новий спосіб передачі обертального моменту [3]. Суть цього способу полягає в тому, що контакт ведучої та веденої напівмуфт і створення тертя між ними виконується осьюовою силою, яка виникає за рахунок інерційності мас елементів, встановлених на ведучому валу на косих шліцах або несамогальмівній нарізі. Запропонований спосіб передачі енергії є актуальним тому, що забезпечує автоматичне плавне з'єднання кінців валів, що передають обертальний момент від мінімального до максимального значення і підтримують його на визначеному рівні потрібний проміжок часу в різноманітних умовах експлуатації транспортного засобу.

Постановка задачі. Важливою задачею є розробка прогресивних конструкцій автоматичних муфт зчеплення транспортних засобів відповідно до існуючих вимог їх працездатності в різноманітних умовах експлуатації з покращеними технічними характеристиками.

Виклад основного матеріалу. На основі вказаного способу передачі енергії від вала двигуна внутрішнього згоряння на його трансмісію, на даний час розроблені автоматичні інерційно-фрикційні муфти зчеплення [4...11]. Тут наведено конструктивні особливості та принцип роботи окремих із них.

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова [4] (рис. 1) складається з лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних з циліндричними поверхнями 3 та 4, відповідно лівого 5 та правого 6 корпусів, співвісно закріплених на маховику 7 за допомогою несамогальмівних нарізей правої 8 та лівої 9, витки яких направлені в протилежну сторону обертання ведучого

вала 10, з закріпленим на ньому маховиком 7 та веденого диска 11, встановленого на веденому валу 12 за допомогою шліцьового з'єднання 13 і підпружиненого рівносільными тарілчастими пружинами 14 і 15 з обох сторін. Ведений диск 11 підпружинений на веденому валу 12 рівносільными пружинами 16 і 17 з обох сторін, що дозволяє при вмиканні муфти компенсувати нерівномірність спрацювання фрикційних накладок 18 і 19 на веденому диску 11. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова закрита кожухом 20, закріпленим на корпусі 21.

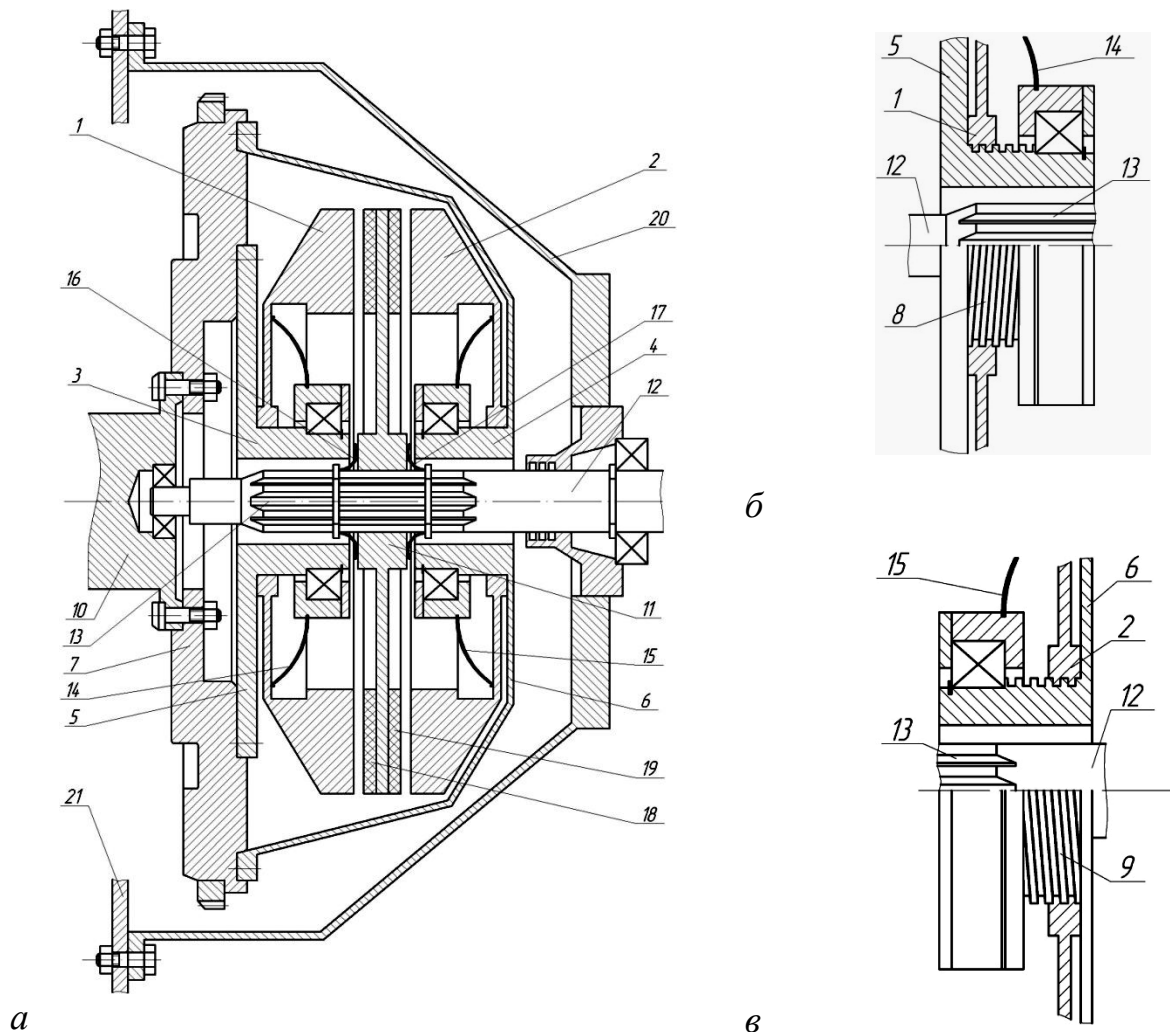


Рисунок 1 - Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова:
 а - загальний вигляд муфти; б – розміщення лівого натискного диска на циліндричній поверхні лівого корпусу; в – розміщення правого натискного диска на циліндричній поверхні правого корпусу

Принцип роботи муфти зчеплення інерційно-фрикційної дискової такий. До початку обертання ведучого вала, вона знаходиться в початковому стані, як показано на рис. 1, а. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу сили пружності тарілчастих пружин продовжують утримувати, відповідно, лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення в сторону веденого диска.

При збільшенні обертів вала лівий і правий натискні диски під дією сил інерції їх мас, які стають більшими сил пружності тарілчастих пружин за допомогою несамогальмівних нарізей правої і лівої на циліндричних поверхнях корпусів зміщуються в сторону веденого диска до контакту з фрикційними накладками. Між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в рух ведений диск, а через нього та шліцьове з'єднання обертається і ведений вал. Збільшенням швидкості обертання ведучого вала досягають збільшення сил інерції мас лівого і правого натискних дисків, а відповідно, збільшення сили тертя між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска, що і забезпечує передачу потрібної енергії.

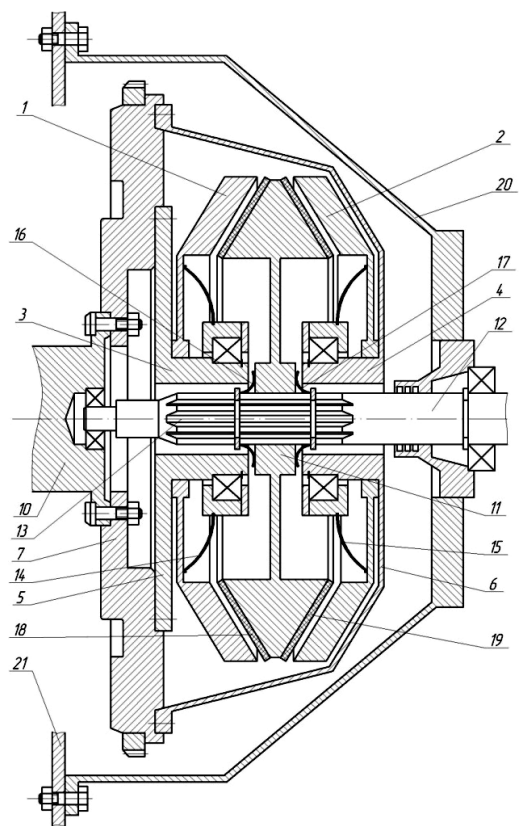
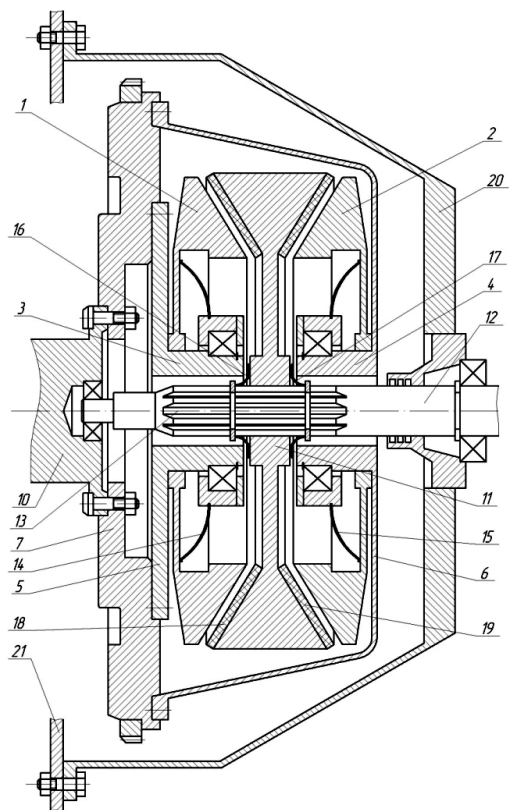
При зменшенні обертів ведучого вала до холостого ходу, або при його зупинці, натискні диски, під дією сил пружності тарілчастих пружин за допомогою правої і лівої нарізей, повертаються в початкове положення і муфта роз'єднується, тобто енергія не передається від ведучого вала до веденого.

Завдяки підпружиненню веденого диска рівносілними пружинами з обох сторін, з'єданого з веденим валом шліцьовим з'єднанням, забезпечується компенсація спрацювання фрикційних накладок, що свою чергою підвищує надійність та довговічність муфти.

За аналогічною конструкцією і принципом роботи, з метою підвищення несучої здатності муфти за рахунок можливості передачі більших обертальних моментів, розроблено муфти з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків [5, 6, 7] (рис. 2).

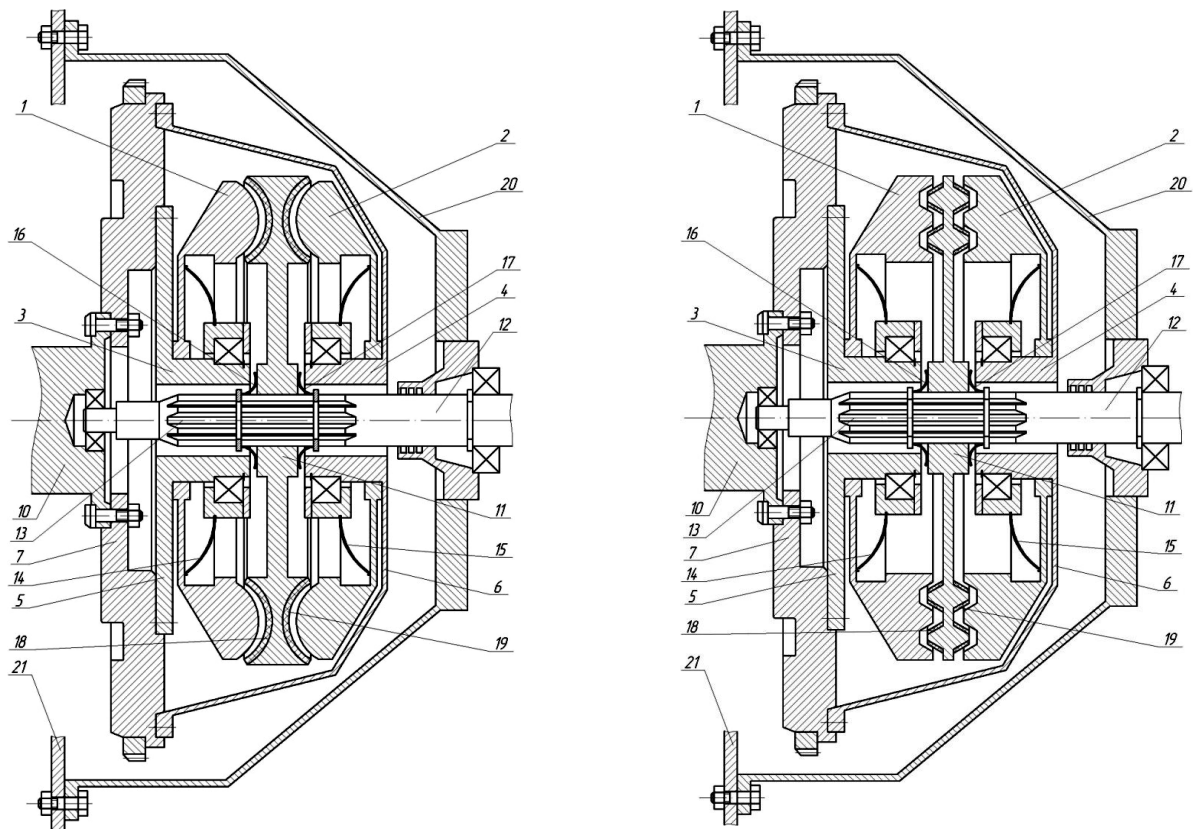
Їхня будова та принцип роботи подібні до попередньої муфти. Відмінністю є тільки те, що за рахунок змінених контактних поверхонь ведучих натискних і веденого дисків такі муфти можуть передавати істотно більшу енергію.

У таких конструкціях муфт зчеплення нормально розімкнутого типу обертальний момент, що передається від ведучого вала на трансмісію машини, у меншій мірі залежить від величини спрацювання фрикційних накладок веденого диска та числа вимикань муфти, а визначається тільки зусиллям притискання ведучого та веденого дисків. Тому для збільшення сили притискання ведучого та веденого дисків були розроблені конструкції муфт зчеплення з фігурними профілями площин притискання, в яких за рахунок клинового ефекту, може передавати істотно більший обертальний момент ніж традиційною дисковою муфтою. Крім того, до переваг муфт зчеплення з фігурними профілями площин притискання можна зарахувати і добре розчеплювання напівмуфт, а личкування робочої поверхні веденого диска матеріалами, що мають підвищений коефіцієнт тертя, сприяє збільшенню сили тертя між робочими поверхнями дисків.



б

а



в

з

Рисунок 2 - Муфти зчеплення інерційно-фрикційні з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків:

а – конусні поверхні виконані до середини; б – конусні поверхні виконані від середини; в – торові поверхні; з – клинові поверхні

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна [8] (рис. 3) за конструкцією та принципом роботи подібна до попередніх та відрізняється від них тим, що для повернення ведучих натискних дисків в початкове положення при зменшенні обертів ведучого вала до обертів холостого ходу або його зупинці використовується пакет фігурних пружин кручення. Цей пакет забезпечує більш плавне з'єднання контактних поверхонь ведучих натискних і веденого дисків та зменшення габаритів самої муфти. Прототипом цієї муфти є також попередні муфти (рис. 1 і 2). Вона складається із: лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних між собою по зовнішніх діаметрах через підшипники кочення 3 і 4 та охоплюючі кільця 5 і 6 пакетом рівномірно розміщених і закріплених на цих кільцях фігурних пружин кручення 7, а по внутрішніх діаметрах зв'язані з циліндричними поверхнями 8 та 9 ведучого вала 10 та корпуса 11 за допомогою шліцьових з'єднань 12 і 13, шліці яких виконані під кутом до поздовжньої осі ведучого вала 10 в напрямку протилежному напрямку обертання ведучого вала 10 з закріпленням на ньому маховиком 14 та веденого диска 15 з фрикційними накладками 16 і 17, встановленого на веденому валу 18 за допомогою шліцьового з'єднання 19. Муфта закрита кожухом 20, закріпленим на блоку 21 двигуна внутрішнього згоряння.

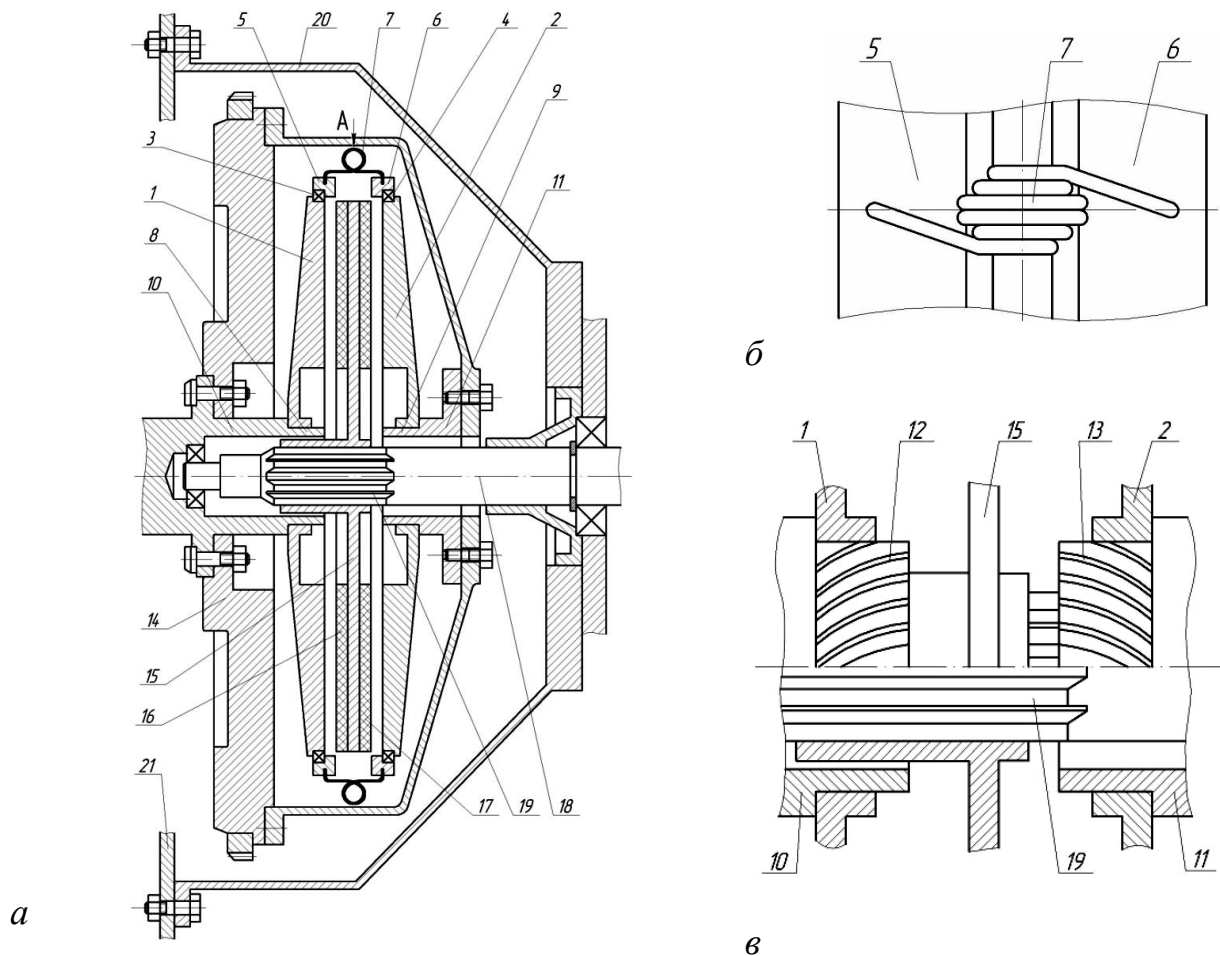


Рисунок 3 - Муфта зчеплення інерційно-фрикційна:

а – загальний вигляд; *б* – вигляд фігурної пружини кручення; *в* – розміщення натискних дисків на циліндричних поверхнях ведучого вала

Виконання фігурних пружин кручення 7 у формі циліндричних пружин, діаметр яких зменшується від середини в осьовому напрямку назовні, забезпечує їх плавне закручування та розкручування, а відповідно плавне вмикання та вимикання муфти.

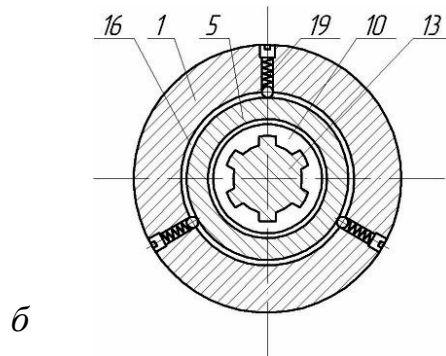
Принцип роботи цієї муфти має деякі особливості у порівнянні з попередніми. Це пояснюється наявністю пружин кручення та відбувається за такою послідовністю. До початку руху ведучого вала муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова знаходиться в роз'єднаному стані, як показано на рис. 3, *а*. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу, сили пружності пакета фігурних пружин кручення утримують відповідно лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення в сторону веденого диска, розміщеного на веденому валу і з'єданого з ним шліцями.

При збільшенні обертів ведучого вала лівий і правий натискні диски під дією сил інерції їх мас, які стають більшими сил пружності пакета фігурних пружин кручення за допомогою косих шліцевих з'єднань на циліндричних поверхнях ведучого вала і корпусу зміщуються в сторону веденого диска до контакту з його фрикційними накладками, що і забезпечує передачу максимального обертального моменту з ведучого на ведений вал.

При зменшенні обертів ведучого вала до обертів холостого ходу, або при його зупинці, натискні диски, під дією сил пружності пакету фігурних пружин кручення за допомогою косих шліцьових з'єднань, повертаються в початкове положення і муфта роз'єднується, тобто обертальний момент не передається.

Подібно до конструкції муфти (рис. 1), розроблена та запатентована також муфта інерційно-фрикційна дискова [9], що наведена на рис. 4.

Основні конструктивні її особливості полягають в тому, що для фіксації ведучих натискних дисків у робочому і в розімкнутому положеннях, передбачені кулькові фіксатори, а для обмеження ходу і зменшення удару боковими поверхнями ведучих натискних дисків при роз'єднанні муфти, на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала встановлені демпферні кільця. Такі суттєві конструктивні особливості вимагають опису будови цієї муфти. Муфта (рис. 4) складається з лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних з циліндричними поверхнями 3 та 4, відповідно, ведучого вала 5 та корпусу 6, співвісно закріпленого на маховику 7 за допомогою косих шліцьових з'єднань 8 та 9, кут нахилу шліців яких направлений в протилежну сторону обертання ведучого вала 5 з закріпленням на ньому маховиком 7 та веденого диска 10 з фрикційними накладками 11 і 12, встановленого на веденому валу 13 за допомогою шліцьового з'єднання 14. Крім того, на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала 5 та корпусу 6 по їх зовнішніх діаметрах виконані, відповідно канавки 15 і 16 та 17 і 18 для фіксації за допомогою кулькових фіксаторів 19 і 20 ведучих натискних дисків 1 та 2 в робочому і холостому режимах. Для обмеження ходу і зменшення дії удару боковими поверхнями ведучих натискних дисків 1 і 2 під час



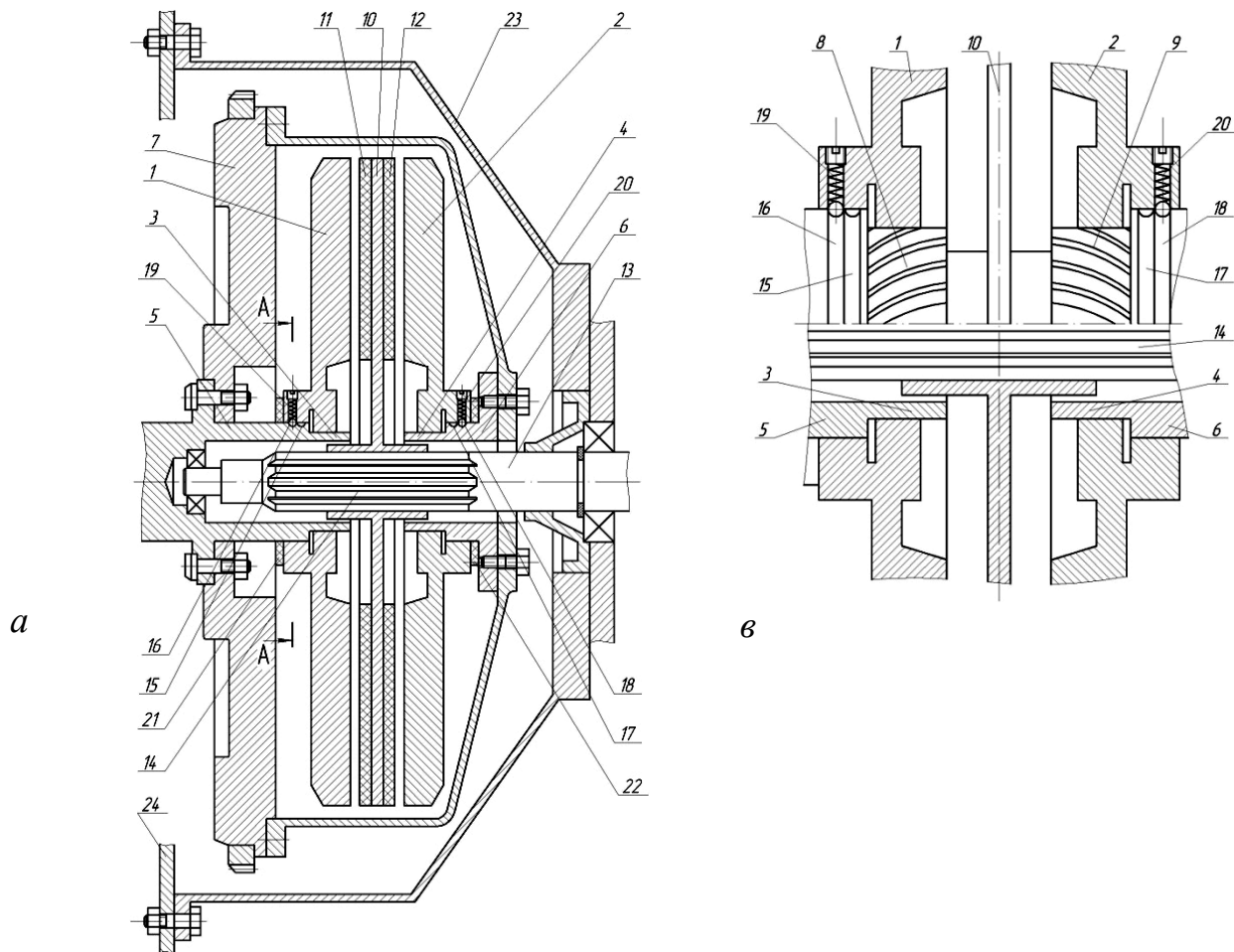


Рисунок 4 - Муфта зчеплення інерційно-фрикційна:

а – загальний вигляд муфти; *б* – фіксатори для фіксації ведучих натискних дисків; *в* – розміщення натискних дисків на циліндричних поверхнях ведучого вала

роз'єднання муфти, на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала 5 і корпусу 6 встановлені демпферні кільця 21 і 22. Муфта також закрита кожухом 23, що закріплений на блоку 24.

Особливості її принципу роботи такі. До вмикання двигуна, муфта знаходиться в роз'єднаному стані, як показано на рис. 4. Під час обертання ведучого вала з частотою обертів холостого ходу сили пружності кулькових фіксаторів, які контактують з канавками ведучого вала та корпусу, утримують відповідно лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення на ведучому валу і корпусі відповідно, в сторону веденого диска. Зі збільшенням обертів вала натискні диски під дією сил інерції їх мас, які стають більшими сил пружності кулькових фіксаторів, за допомогою косих шліцьових з'єднань, шліці яких направлені в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала і виготовлені на циліндричних поверхнях ведучого вала і корпусу, зміщуються в сторону веденого диска до контакту з його фрикційними накладками. При цьому, ведучі диски фіксуються в такому положенні фіксаторами, що попадають в канавки ведучого вала і корпусу, відповідно.

Між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в рух ведений диск, а через нього та шліцьове з'єднання - ведений вал. Збільшенням обертів ведучого вала досягають підвищення сили натискних дисків, а відповідно і сил тертя між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска, що і забезпечує передачу максимального обертового моменту з ведучого на ведений вал трансмісії транспортного засобу.

Для надійного роз'єднання муфти частота обертання ведучого вала раптово збільшується, а потім швидко зменшується. Відповідно, при цьому ведучі натискні диски отримують певне прискорення, а при зменшенні обертів ведучого вала, продовжують обертатись під дією сил інерції своїх мас, які стають більшими сил пружності кулькових фіксаторів, і за допомогою косих шліцьових з'єднань, відходять від веденого диска, упираючись боковими поверхнями в демпферні кільця, які обмежують хід ведучих дисків та зменшують їх удари в маховик та корпус і фіксуються кульковими фіксаторами в канавках ведучого вала та корпусу. Муфта переходить у початковий стан.

Виконання канавок на ведучому валу та корпусі радіусом більшим ніж радіус кульок фіксаторів забезпечує гарантований контакт натискних ведучих дисків з фрикційними накладками веденого диска. Однак, кулькові фіксатори не забезпечують гарантований контакт натискних ведучих дисків з фрикційними накладками веденого диска після деякого зношування фрикційних накладок. Це є істотним недоліком таких муфт, що спонукало розроблення покращених конструкцій муфт, що наведені в роботах [10, 11] і мають підвищену надійність вмикання.

У цих муфтах подібно до наведених на початку переміщення інерційного диска, а відповідно і ведучого натискного диска вибираються зазори, як у механізмі автоматичного керування, так і між боковими поверхнями натискного ведучого диска, маховика та фрикційними накладками веденого диска. Холостий хід відбувається упродовж, коли напівмуфти не зчеплені. Після проходження холостого ходу s_x починається процес зчеплення напівмуфт (рис. 6), при цьому швидкість від максимальної зменшується до мінімальної, чим забезпечується плавність вмикання муфти, причому час вмикання муфти $t_{вм}$ менший часу зчеплення $t_{зч}$ (рис. 5), що зменшує вплив негативних факторів, таких як нагрівання поверхонь тертя ведучого натискного диска, маховика і фрикційних накладок.

Тобто в процесі вмикання інерційних муфт відбувається три етапи: холостий хід, робочий хід і хід фіксування, в процесі яких час неусталеного режиму роботи муфти зменшується, чим забезпечується м'яке та плавне вмикання муфти при одночасному зменшенні нагрівання поверхонь тертя муфти. Це ще раз підтверджує їх актуальність і потребу для транспортних засобів.

У процесі роботи муфт [10,11] сили пружності силових пружин розтягу ще і компенсують спрацювання фрикційних накладок та забезпечують

передачу потрібної енергії двигуна, як при робочій частоті обертання, так і при обертах холостого ходу. Крім того, спрацювання фрикційних накладок можна компенсувати регулювальними гвинтами. Процес роз'єднання муфти здійснюється також подібно до попередніх муфт.

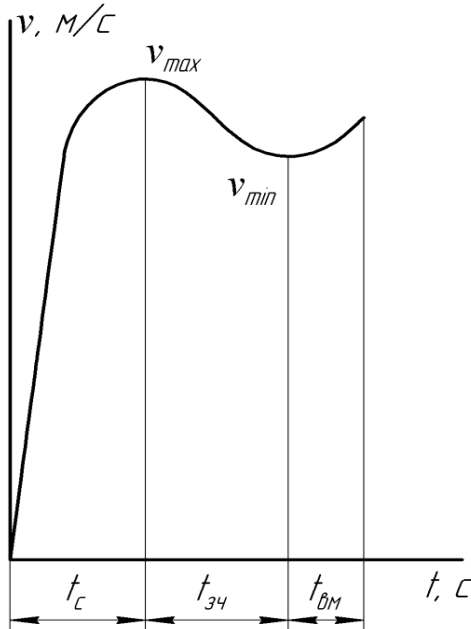


Рисунок 5 - Графічна залежність швидкості вмикавання муфти від часу вмикавання муфти: t_c — час холостого ходу; $t_{зч}$ — час зчеплення муфти; $t_{вм}$ — час вмикавання муфт

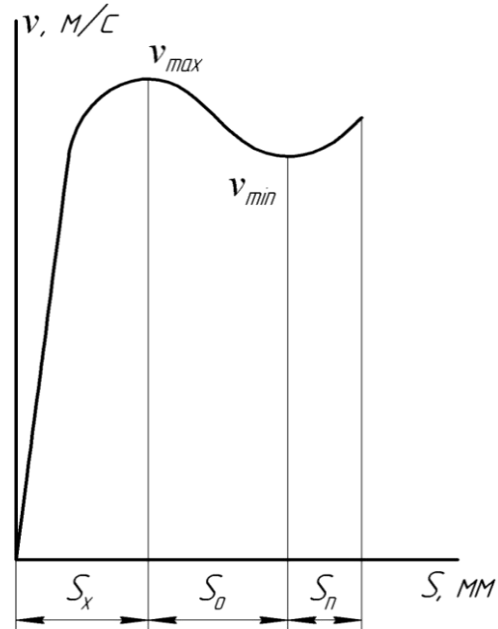


Рисунок 6 - Графічна залежність швидкості руху натискного диска від його ходу: s_x — холостий хід натискного диска; s_o — робочий хід натискного диска; s_n — хід фіксування муфти в робочому стані

Висновки

1. Розглянуто будову та принцип роботи нових запатентованих муфт автоматичного керування за рахунок використання інертності їх елементів. Проведено попередній аналіз часу вмикавання та величини переміщення інерційних дисків в залежності від швидкості обертання ведучого вала.

2. Запропоновані муфти є прогресивними та важливими частинами кінематичних ланцюгів приводів різноманітних транспортних засобів, що обладнані двигунами внутрішнього згоряння та є об'єктами подальших досліджень з метою їх застосування на практиці.

Напрямки подальших досліджень розроблених муфт

1. Динаміка транспортного засобу із трансмісією оснащеною інерційно-фрикційною муфтою.
2. Розподіл зусиль між робочими поверхнями муфт.
3. Зносостійкість робочих поверхонь муфт і вплив на неї режиму експлуатації транспортного засобу.
4. Точність спрацювання муфт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Румянцев Л.А. Проектирование автоматизированных автомобильных сцеплений. –М.: Машиностроение, 1975. -176с.
2. Пат.81687 Україна, МПК F16D13/00, F16D43/00. Спосіб передачі крутного моменту та фрикційна муфта для здійснення способу / Картузов А.О., Бутенко О.К., Старченко А.Г. 2008. Бюл. №4.
3. Пат.54454 Україна, МПК F16D13/00, F16D43/00. Спосіб передачі крутного моменту муфтою / Федорук В.А., Стрілець В.М., Федорук М.Л., Бондарчук Б.В., 2010. Бюл. №21
4. Пат.69505 Україна, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова /Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Гнатюк Д.Ю., 2012, Бюл. №8.
5. Рішення про видачу патенту України на корисну модель від 03.05.12 згідно заявки u201114477 від 07.12.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна конусна / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.
6. Рішення про видачу патенту України на корисну модель від 03.05.12 згідно заявки u201114474 від 07.12.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна торова / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.
7. Рішення про видачу патенту України на корисну модель від 03.05.12 згідно заявки u201114476 від 07.12.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна клинчаста / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р. Гнатюк Д.Ю.
8. Заявка на патент України на корисну модель u2012 01464 від 13.02.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.
9. Заявка на патент України на корисну модель u2012 01535 від 13.02.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.
10. Заявка на патент України на корисну модель u2012 01505 від 13.02.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна одноступенева / Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.
11. Заявка на патент України на корисну модель u2012 01536 від 13.02.12, МПК F16D13/00, F16D13/38, F16D13/52, F16D43/00. Муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна /Малащенко В.О., Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.

Малашенко В.А., Федорук В.А., Стрелец В.Н. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИНЕРЦИОННО-ФРИКЦИОННЫЕ МУФТЫ СЦЕПЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПРИНЦИП ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Рассмотрено устройство и принцип действия автоматических муфт транспортных средств повышенных технических характеристик, которые осуществляют свои включения и выключения за счет сил инерции масс их элементов. Применение этих устройств значительно упрощает процесс управления любым транспортирующим средством, которое укомплектовано двигателем внутреннего сгорания.

Ключевые слова: инерционные муфты, муфты, передача энергии.

Malashenko V.O., Fedoruk V.A., Strilets V.M. AUTOMATIC INERTIAL-FRICTION CLUTCH VEHICLE AND PRINCIPLE OF TRANSFER OF ENERGY

We consider the mechanism and operation of automatic couplings of vehicles increased performance, which shall exercise their power on and off due to the forces of inertia of the elements. The use of these devices greatly simplifies the management of any transporting vehicle, which is staffed with an internal combustion engine.

Keywords: inertial couplings, clutches, power transmission

Відомості про авторів:

Малашенко В.О. – д.т.н., професор кафедри деталей машин Національного Університету «Львівська політехніка» (м. Львів);

Федорук В.А. – інженер кафедри теплоенергетики та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

Стрілець В.М. – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).

УДК 530.18(03)

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
МІНІМАЛЬНОГО КВАНТА ПРОСТОРУ ВСЕСВІТУ****Настасенко В.А.***Херсонська державна морська академія*

У роботі обґрунтований новий концептуальний підхід для визначення параметрів мінімально можливих в матеріальному світі квантів простору і часу. Показано, що вони пов'язані з параметрами довжини і часу Планківського рівня, які отримані на базі 3-х фундаментальних фізичних констант: сталої Планка, гравітаційної сталої і швидкості світла у вакуумі. Виходячи з цього, строго обґрунтована просторова форма і кількісні параметри таких квантів.

Ключові слова: квантова фізика, фундаментальні фізичні константи, постійна Планка, граничні значення параметрів матеріальних величин.

Вступ, зв'язок роботи з основними науковими напрямками.

Робота відноситься до квантової фізики, основ матеріального світу та Всесвіту, і представляє великий інтерес для розвитку теорії пізнання в цілому, а також фізики елементарних часток, на базі яких можливий новий якісний стрибок у розвитку науки і техніки. Визначення параметрів мінімально можливих матеріальних утворень, їх форми і структури, має велике значення для створення систем, в яких вони грають основну роль, зокрема – для систем швидкодії і пам'яті комп'ютерів. Враховуючи, що їх розвиток відбувається дуже швидкими темпами, доцільне прогнозування цих можливостей на науковій основі, з урахуванням новітніх відкриттів і досягнень у сфері елементарних часток та їх взаємодій, на базі яких необхідно і можливе постійне оновлення електронних технічних систем і принципів їх дії.

Аналіз стану проблеми, вибір мети і завдань дослідження

Проведений аналіз джерел [1, 2] показав, що одним з головних шляхів розвитку електронно-обчислювальної техніки є мініатюризація обчислювальних елементів – від тригерів і електронних ламп в перших ЕОМ, створених в 40-і роки ХХ століття, в 60-і роки був здійснений перехід до напівпровідникових кристалів, а від них, в 70-і роки ХХ століття, до плівок багат шарових гігантських мікросхем, що мають все більш тонкі шари і все більш високі робочі частоти, що характеризують можливий потенціал швидкодії процесора. При цьому максимально можлива їх швидкодія визначається як тактова частота n , або величина, зворотна часу T проходження електронного імпульсу через товщину шару. Чим вона менша, тим вище тактова частота, а чим менші розміри елементів пам'яті – тим більша їх кількість може бути розміщена в одиниці об'єму системи. На початку ХХІ століття в плівках була досягнута товщина в 1 шар кристалічної решітки, що є природною межею їх можливостей. Тому виникла проблема прогнозування їх подальшого розвитку, яка була успішно вирішена в роботах [3-12]. Їх головною особливістю було те, що дана проблема була зведена до послідовного визначення мінімально можливої товщини шарів природних шаруватих структур [3], що забезпечило принципово вірний підхід до її вирішення. При цьому аналізувалися усі відомі теперішній час матеріальні шаруваті структури, до яких спочатку були віднесені: молекулярні плівки [13] і кристалічні решітки атомних шарів (сучасний рівень техніки в даній сфері). Далі, для майбутніх рівнів техніки – самі атоми, що мають шарувату структуру електронних

оболонки, а за ними – елементарні частки, (наприклад, нейтрони), у яких також була виявлена шарувата структура [14].

Проте на рівні елементарних часток виникли складнощі – яку з них можна вважати за гранично можливу, враховуючи гіпотетичні параметри кварка? Окрім цього, немає підстав і кварк вважати гранично можливим матеріальним утворенням, а у вітчизняній науці все ще є домінує думка, висловлена в 1909 р. В.І.Леніним – електрон також невичерпний, як і атом [15]. Враховуючи значимість фігури Леніна в колишньому СРСР, поставити під сумнів цю тезу – було рівносильно науковому самогубству (це в кращі часи) і лише з розвитком політичної демократії в пострадянських країнах виникла можливість наукової суперечки на цю тему в декількох передових закордонних [6] і вітчизняних наукових журналах [8-12, 23], і на наукових конференціях [3, 5, 7, 16-22, 24].

Метою виконуваної роботи є строге наукове обґрунтування принципів вибору гранично можливих матеріальних утворень Всесвіту і визначення параметрів і форми мінімально можливого в матеріальному світі кванту простору і пов'язаного з ним кванта часу. Наукова новизна роботи полягає в новому підході для цього обґрунтування.

Пошук шляхів досягнення поставленої мети і завдань роботи.

Складність вирішення поставленої проблеми полягає в тому, що вона практично зводиться до відповіді на питання – кінцевий або нескінченний матеріальний мікросвіт?

Однозначну відповідь на це питання дає Планківська фізика [3-9, 16-24], основи якої були закладені ще в 2000 р. [16]. У загальній ієрархії розділів фізики, які по рангу зменшення досліджуваних параметрів можна представити у вигляді ряду, представленого в таблиці, Планківська фізика має первинний рівень, а їй передують рівень елементарних частинок і квантова фізика. Враховуючи, що і для попереднього рівня – атомного, характерні принципи квантування параметрів, є підстави вважати, що і Планківський рівень повинен мати аналогічні властивості.

Таблиця – Структурна ієрархія матеріального світу і розділів фізики

Рівень матеріального світу і його характеристика		Розділ фізики
10	Глобальний рівень – весь Всесвіт	Космологія
9	Рівень суперметагалактик – скупчення метагалактик	Астрофізика
8	Мета галактичний рівень – скупчення галактик	Астрофізика
7	Галактичний рівень – скупчення зірок	Астрофізика
6	Зоряний рівень – зірки та їх планетарні системи	Астрофізика
5	Макрорівень – планетарний рівень	Класична фізика
4	Молекулярний рівень – нанорівень	Молекулярна фізика
3	Атомарний рівень – атоми та їх ядра	Фізика твердого тіла
2	Рівень елементарних часток	Квантова фізика
1	Планківський рівень – основи Всесвіту, створені на базі фундаментальних фізичних констант	Планківська фізика

Слід врахувати, що глобальний і Планківський рівні Всесвіту, в рамках принципу подвійності матеріального світу (його прикладом є пари, типу «тепло-холод» і подібні до них, в яких досягнення нескінченного, або максимально можливого значення одного з параметрів пари, автоматично зводить до нуля, або до мінімально можливого другий параметр і навпаки), є також подвійними. Їх подвійність відображають такі наглядні приклади: геометрична пряма і площа – уперек вони мають нульові параметри, а вздовж – нескінченні.

В рамках висунутих наукових гіпотез [16, 18] мікро- і глобальний рівні кінцеві, оскільки Всесвіт має матеріальний початок, поки що спірний, а все, що має початок, має і кінець. При цьому в роботі [16] було вперше запропоновано коректне вирішення проблеми визначення мінімально можливих величин, в основу якого був покладений аналіз сучасних знань про матеріальний світ, що привів до використання відкритих М.Планком ще в 1900 р. наступних величин [25]:

$$\text{– Планківської довжини} \quad l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,61621 \cdot 10^{-35} \text{ м}, \quad (1)$$

$$\text{– Планківського часу} \quad t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5,39109 \cdot 10^{-44} \text{ с}, \quad (2)$$

$$\text{– Планківської маси} \quad m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,17650 \cdot 10^{-8} \text{ кг}, \quad (3)$$

Головною особливістю l_p , t_p , m_p є те, що отримані вони не довільно, а по строгим залежностям на основі 3-х фундаментальних фізичних констант (4) – (6) [25], що робить їх абсолютними одиницями вимірювання, які однакові у всьому Всесвіті:

$$\text{– швидкості світла у вакуумі} \quad c = 0,299792458 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4)$$

$$\text{– гравітаційної сталої} \quad G = 6,67390 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \quad (5)$$

$$\text{– кругової сталої Планка} \quad \hbar = 1,05457266 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \quad (6)$$

При цьому слід врахувати, що введення кругової сталої Планка $\hbar$ обумовлене спрощенням ряду процесів і явищ у квантовій фізиці, у фізиці елементарних часток і в ядерній фізиці [25], а отримана вона зі «звичайної» сталої Планка h (7), пов'язаною зі сталою $\hbar$ співвідношенням:

$$\text{– стала Планка} \quad h = 6,62607544 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \quad (7)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6,62607544 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с})}{2\pi} = 1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}). \quad (8)$$

Проведений аналіз робіт [25, 26] показав, що строго обґрунтованих менших величин, чим довжина (1) і час (2), в рамках існуючих на сьогодні знань, не виявлено, а їх зв'язок з фундаментальними фізичними сталими $\hbar$, G , c зводить їх до основ Всесвіту. При цьому до того часу, поки не будуть знайдені інші фундаментальні фізичні сталі, які адекватні по рівню сталим $\hbar$, G , c у матеріальному світі, та інші строгі фізичні залежності, адекватні по рівню залежностям (1)...(3), для отримання з них менших величин, чим довжина $l_p = 1,61621 \cdot 10^{-35}$ м і час $t_p = 5,39109 \cdot 10^{-44}$ с, Планківські величини l_p , t_p слід вважати мінімально можливими у Всесвіті. Враховуючи, що в роботах [3, 9, 16, 18] доведена реальність Планківських величин за рахунок їх зв'язку зі сферичними шарами Планківської товщини (1), які пошарово охоплюють весь сферичний простір Всесвіту, який можна спостерігати, що строго витікає із закону Всесвітнього тяжіння [25, 26] і

фізичного змісту гравітаційної сталої (5) [18], тому можливе їх використання у будь-яких наукових дослідженнях.

Таким чином, принципову можливість вирішення вибраної в даній роботі мети: визначення мінімально можливих параметрів кванту простору Всесвіту на основі Планківських величин довжини (1), часу (2) і маси (3), можна вважати реально обґрунтованою. Подальше її рішення доцільно виконати у 2 етапи, на 1-му – знайти можливу форму такого кванта, на 2-му – остаточно визначити його параметри.

Визначення форми мінімального кванту простору

В рамках принципів квантування усіх величин для Планківського рівня Всесвіту, на базі доведеної вище мінімальності величин довжини l_p і часу t_p , можна припустити, що усі інші розміри і час в ньому мають бути кратними (квантовими) Планківській довжині (1) і часу (2). Виходячи із співвідношення між величиною h і величиною $\hbar$, як дуги кола до радіусу (8), можливе представлення кругових Планківських параметрів у вигляді кругових елементарних часток радіусу l_p , що забезпечує найкращі умови для термодинаміки і теплообміну. Проте кругова форма часток веде до зазорів D між ними, показаних на рис. 1.а, що неприпустимо в принципі, оскільки для мінімальних структур матеріального світу, з якими пов'язана Планківська величина $2l_p$, елементарні частки гранично можливих розмірів не можуть зменшуватися далі, тобто вони будуть абсолютно жорсткими, як мінімально можливі довжини або кванти простору у Всесвіті.

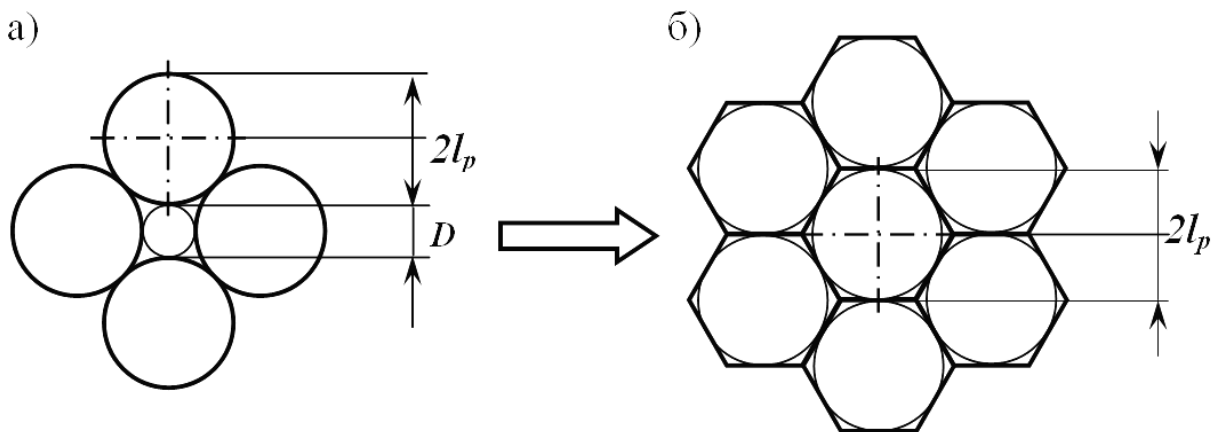


Рисунок 1 – Система звичайної (а) і щільної (б) упаковки елементарних часток з розмірами l_p Планківського рівня

Такими чином зазори D , що виникають в кругових структурах між такими частками, які є меншими, ніж величина $2l_p$, повинні бути вилучені з системи, а в зазорі D , що дорівнює величині $2l_p$, може розміститися сама частка таких же розмірів $2l_p$, що забезпечує можливість щільної упаковки з мінімально можливих квантових часток, які не деформуються, по простій схемі, показаній на рис. 1.б. За умовами законів термодинаміки і мінімізації теплообміну, найдоцільнішим є формування щільноупакованої структури часток Планківського рівня у вигляді правильних шестигранників.

При такій формі квантів можлива прив'язка мінімальної довжини l_p до радіусу кола, що вписане у шестигранник. Однак при цьому виникає суперечність, оскільки з радіусом вписаного кола, рівного величині l_p , не квантуються розміри бічних граней $l_{pб}$ (9) та діаметр $D_{pб}$ (10) описаного кола шестигранника:

$$\frac{l_{p\bar{o}}}{l_p} = \frac{2l_p \operatorname{tg} 30^\circ}{l_p} = \frac{2 \cdot 0,933119 \cdot 10^{-35} (м)}{1,61621 \cdot 10^{-35} (м)} = 1,15470$$

(9)

$$\frac{D_{p\bar{o}}}{l_p} = \frac{2l_{p\bar{o}}}{l_p} = \frac{4 \cdot 0,933119 \cdot 10^{-35} (м)}{1,61621 \cdot 10^{-35} (м)} = 2,30947$$

(10)

Усунути вказані недоліки дозволяє шестигранна структура, показана на рис. 2, у якої мінімальний розмір l_p пов'язаний з бічною гранню, а його величина строго квантується з висотою $2l_p$ шестигранника (діаметром його описаного кола).

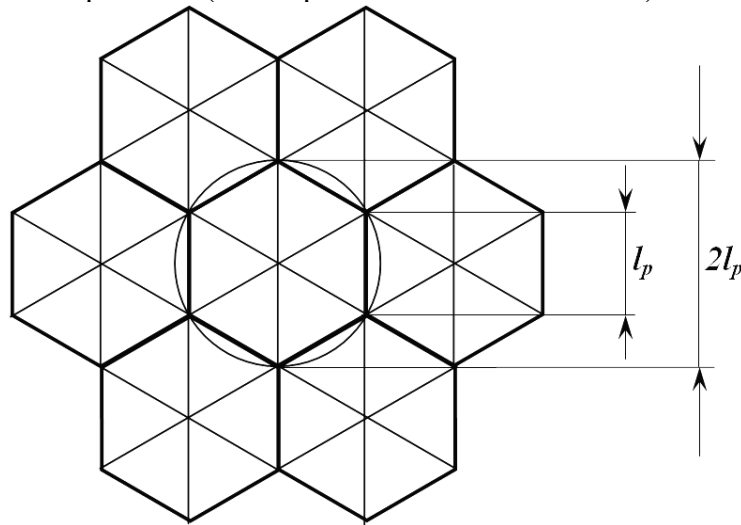


Рисунок 2 – Остаточний вид щільноупакованої квантової структури Планківського рівня.

У просторовому вигляді пропонований елементарний квант простору представляє пряму призму висотою l_p , що має правильні шестигранники зі стороною l_p у верхній та нижній основі.

Отримана структура Планківського кванта простору є найбільш близькою до ідеальної за формою і за умовами квантування. Виключення зменшення розміру ширини шестигранника (радіусу його вписаного кола) пояснюється тим, що на даному квантовому рівні неможливе втілення будь-яких інших розмірів, окрім Планківських l_p , що створює природну заборону на переміщення в квантовій структурі по інших шляхах, ніж грані правильних трикутників, на які може бути розкладена початкова форма шестигранної структури (рис.2). Підтвердження цього висновку забезпечується реальними законами квантової будови матеріального світу, а також законами Майкельсона з однакової швидкості ходу променя світла в прямому і поперечному напрямках, де його хід стає зигзагоподібним.

Вибір мінімальних параметрів простору і часу

Загальновідомі квантові принципи будови матеріального світу дозволяють логічно припустити можливість квантування Планківських параметрів l_p і t_p з іншими такими ж фізичними величинами, в т.ч. – на макрорівні, наприклад, з 1 метром (м), 1 секундою (с) і 1 кілограмом (кг). Проте їх кратність (квантування) не були виявлені (11).(13):

$$\frac{1(m)}{l_p} = \frac{1(m)}{1,61621 \cdot 10^{-35}(m)} = 6,16731 \cdot 10^{34}, \quad (11)$$

$$\frac{1(c)}{t_p} = \frac{1(c)}{5,39109 \cdot 10^{-44}(c)} = 1,85491 \cdot 10^{43}, \quad (12)$$

$$\frac{1(\kappa\epsilon)}{m_p} = \frac{1(\kappa\epsilon)}{2,17650 \cdot 10^{-8}(\kappa\epsilon)} = 4,59453 \cdot 10^7. \quad (13)$$

Враховуючи, що кругова стала Планка $\hbar$ є величиною, прийнятою умовно [25], а для опису реальних фізичних процесів у фізиці елементарних частинок та у фізиці атомів використовується величина сталої Планка h (7), тоді, по аналогії з Планківськими параметрами (1)...(3), для неї можуть бути визначені власні чисельні значення планківських параметрів довжини l_p' (14), часу t_p' (15) і маси m_p' (16):

$$l_p' = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{6,62607544 \cdot 10^{-34}(\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\kappa\epsilon^2 \cdot \text{с}^2} \right)}{\left(0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^3}} = 4,051231 \cdot 10^{-35}(\text{м}), \quad (14)$$

$$t_p' = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{6,62607544 \cdot 10^{-34}(\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\kappa\epsilon^2 \cdot \text{с}^2} \right)}{\left(0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^3}} = 13,51345 \cdot 10^{-44}(\text{с}), \quad (15)$$

$$m_p' = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{6,62607554 \cdot 10^{-34}(\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)}{6,67390 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^2}{\kappa\epsilon^2 \cdot \text{с}^2} \right)}} = 5,45568 \cdot 10^{-8}(\kappa\epsilon). \quad (16)$$

На відміну від кругових Планківських параметрів (1)...(3), нові Планківські параметри (14)...(16) можна віднести до «лінійних». В цьому випадку виникає питання, яким з величин Планківських параметрів – круговим (1)...(3), чи лінійним (14)...(16), треба віддати перевагу при квантуванні матеріального світу? Для відповіді на нього було також проведене порівняння лінійних Планківських параметрів (14)...(16) з 1 метром, 1 секундою і 1 кілограмом, яке дало наступні результати:

$$\frac{1(m)}{l_p'} = \frac{1(m)}{4,05123 \cdot 10^{-35}(\text{м})} = 2,46839 \cdot 10^{34}, \quad (17)$$

$$\frac{1(c)}{t_p'} = \frac{1(c)}{13,51345 \cdot 10^{-44}(\text{с})} = 7,40003 \cdot 10^{42}, \quad (18)$$

$$\frac{1(\kappa\epsilon)}{m_p'} = \frac{1(\kappa\epsilon)}{5,45568 \cdot 10^{-8}(\kappa\epsilon)} = 1,83295 \cdot 10^7. \quad (19)$$

Таким чином, була виявлена унікальність квантування величини часу 1 с і t_p' (18), співпадаючих в межах точності розрахункової величини t_p' , що становить 6 знаків, при

повному неспівпадінні інших величин (17), (19), що вимагає їх ретельного аналізу. Проведений аналіз початкових величин: 1 метра, 1 секунди і 1 кілограма показав, що 1 метр, як одиницю вимірювання [25], спочатку було обрано рівним 1/10000000 долі від ¼ Паризького меридіану, тобто він є умовною одиницею, яка потім виявилася визначеною неточно по відношенню до реальних розмірів Землі, тому 1 м можна вважати за довільно вибрану величину. Враховуючи, що 1 кг, як одиницю вимірювання, спочатку було обрано рівним масі дистильованої води, що заповнює кубічну ємність із стороною 0,1 м [25], то він також є довільно обраною величиною. А ось 1 секунду, як одиницю вимірювання, спочатку було обрано рівною 1/86400 долі Земної доби, що триває в період весняного рівнодення, 21 березня [25], тому вона є строго обґрунтованою астрономічною величиною, пов'язаною з річним рухом Землі навколо Сонця в зоні середнього радіусу еліптичної орбіти, та з добовим обертанням її навколо власної осі. В цьому випадку є всі підстави рахувати квантування величини 1 секунди з Планківським часом t_p' не випадковим явищем. Крім того, таке ж саме співвідношення (20) має Планківська довжина l_p' , з іншою реальною величиною – довжиною шляху $0,299792458 \cdot 10^9$ м, який світло проходить у вакуумі за 1 секунду, що виключає факт випадковості (18):

$$n = \frac{c}{l_p'} = \frac{0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{m}{c} \right) \cdot 1(c)}{4,05123 \cdot 10^{-35} (m)} = 7,40003 \cdot 10^{42} \quad (20)$$

Отже, строге квантування величин часу (18) і довжини (20), доводить необхідність використання саме лінійних Планківських величин (14), (16), як реальних параметрів матеріального світу і Всесвіту. Окрім цього, співвідношення (18) і (20) в черговий раз строго доводять реальність лінійних Планківських величин l_p' , t_p' , оскільки реальні фізичні величини: – час 1 секунда і швидкість c світла у вакуумі, не можуть бути складені з нереальних фізичних квантових величин.

Слід також врахувати, що на базі 3-х фундаментальних фізичних констант $\hbar$, G , c отримані усі відомі в даний час механічні величини [20], а додавання до них взаємозв'язаних фундаментальних фізичних констант – електричної ξ_0 і магнітної проникності μ_0 , дозволило отримати усі відомі в даний час електромагнітні [21], теплофізичні [22] та світлотехнічні [23] величини, а також забезпечило можливість їх об'єднання [24], що свідчить про достатність цих констант для визначення усіх відомих в даний час параметрів матеріального світу. Ці дані дозволяють зробити висновок, що відкриття нових фундаментальних фізичних констант, рівних значимості $\hbar$, G , c , і здатних змінити уявлення про Планківські величини l_p' , t_p' , як про реальні мінімально можливі величини на матеріальному світі, найближчим часом і в поміркованому майбутньому, викликає сумнів.

Таким чином, незважаючи на наявність в матеріальному світі менших, ніж l_p' (14) і t_p' (15) величин, а саме – кругових Планківських параметрів довжини (1) і часу (2), вибір l_p' і t_p' в роботах [10–12] для визначення гранично можливої швидкодії, пам'яті і швидкості передачі інформації в електронних системах, є принципово вірним. Потреба відмови від застосування кругових Планківських параметрів l_p , t_p для опису мінімального кванта простору Всесвіту, підтверджується тим, що вони не квантуються з лінійними Планківськими параметрами l_p' , t_p' (21), (22):

$$\frac{l_p'}{l_p} = \frac{4,051231 \cdot 10^{-35} (m)}{1,61621 \cdot 10^{-35} (m)} = 2,506623, \quad (21)$$

$$\frac{t_p'}{t_p} = \frac{13,51345 \cdot 10^{-44} (c)}{5,39109 \cdot 10^{-44}} = 2,506623, \quad (22)$$

$$\frac{m_p'}{m_p} = \frac{5,45568 \cdot 10^{-8}(\text{кг})}{2,17650 \cdot 10^{-8}(\text{кг})} = 2,506623. \quad (23)$$

Величина співвідношень (21)...(23) витікає із співвідношення (24) між постійними h і $\hbar$, тому вони принципово не можуть квантуватися одна з одною, що суперечить квантовим принципам будови матерії.

$$\sqrt{\frac{h}{\hbar}} = \sqrt{2\pi} = 2,506623.$$

(24)

Проте і кругові Планківські параметри l_p , t_p , не варто виключати з реальних – їх можна віднести до гравітаційного радіусу елементарних часток, рівних за розміром мінімальному кванту простору Всесвіту.

Сукупність отриманих даних розширює знання про матеріальний світ і про можливості їх застосування в наукових дослідженнях.

Загальні висновки по роботі

Проведені в роботі дослідження дозволяють укласти, що:

1. В рамках сучасних знань про матеріальний світ, які впливають з величин фундаментальних фізичних констант h , G , c , реальні можливості зменшення розмірів фізичних об'єктів (в т.ч. елементарних часток) та пов'язаних з ними величин часу, є кінцевими, визначеними Планківськими величинами l_p' , t_p' по залежностям (14) (15).

2. Для гранично-можливого рівня стану матеріального світу, до якого відносяться усі види Планківських величин, отриманих на базі фундаментальних фізичних констант, повинні виконуватися квантові принципи будови матерії.

3. Мінімально можливими у матеріальному світі величинами довжини і часу є: Планківська довжина l_p (1) і час t_p (2), які визначені з урахуванням кругової сталої Планка $\hbar$, проте вони не забезпечують квантових принципів побудови матеріального світу, тому вони можуть бути віднесені лише до внутрішніх параметрів мінімально можливих елементарних часток – до їх гравітаційного радіусу.

4. Мінімально можливою у матеріальному світі величиною часу, яка строго забезпечує принципи квантування з реальними фізичними величинами часу у рамках Всесвіту, є лінійна Планківська величина часу t_p' (15), що підтверджене її співвідношенням з 1 секундою, яка становить 1/86400 долю Земної доби, що триває в період весняного рівнодення, 21 березня і пов'язана з реальними умовами обертання Землі навколо власної осі і навколо Сонця, як космічних об'єктів Всесвіту, згідно залежності (18).

5. Мінімально можливою у матеріальному світі величиною довжини, яка строго забезпечує принципи квантування з реальними фізичними величинами довжини у рамках Всесвіту, є лінійна Планківська величина довжини l_p' (14), що підтверджене її співвідношенням з довжиною шляху, яку світло проходить за 1 секунду у вакуумі, згідно залежності (20).

6. Лінійні Планківські величини l_p' , t_p' характеризують зовнішні параметри мінімально можливих матеріальних об'єктів матеріального світу, тому вони можуть бути використані для визначення пов'язаних з ними характеристик, в т.ч. – гранично можливої швидкодії, пам'яті і швидкості передачі інформації в електронних системах.

7. На Планківському рівні формування матеріального світу, виходячи з квантових принципів його будови, мінімально можливі кванти простору мають бути щільноупакованими.

8. Кругові системи квантів простору Планківського рівня не можуть бути віднесені до щільноупакованих систем в рамках квантових принципів будови матеріального світу,

оскільки на даному рівні гранично можливі величини не можуть зменшуватися далі до величин, які формуються в зазорах між круговими елементами.

9. Системи щільноупакованих елементарних частинок Планківського рівня мають бути правильної шестигранної форми, оскільки для них забезпечується кратність (квантування) бічної сторони і максимального розміру - їх висоти, або діаметру описаного кола шестигранника.

10. У шестигранних щільноупакованих системах Планківського рівня прояв меншої, у порівнянні з висотою, величини ширини, з якою пов'язаний діаметр вписаного кола, виключено за рахунок принципів квантового руху (обходу) шестигранної фігури тільки по лініях мінімально можливих квантових розмірів – переходів.

11. Можливість обходу шестигранних просторових структур з параметрами Планківського рівня по лініям мінімальних квантових переходів, дозволяє виділити в них складові елементи – шість внутрішніх правильних трикутників із сторонами, які є рівними бічній грані шестигранника, або мінімальній квантовій довжині l_p' (14).

12. Мінімальний квант простору повинен бути призмою, що має висоту l_p' і правильними шестигранниками, із стороною l_p' в основі, які визначені по залежності (14).

Сукупність зроблених висновків про реальність кругоких (1)...(3) і лінійних (14)...(16)

Планківських величин довжини, часу і маси, а також про їх квантування з реальними параметрами Всесвіту (18), (20), є новим описом об'єктивно існуючих об'єктів, явищ і ефектів матеріального світу, що підтверджуються достовірними і широко відомими фундаментальними фізичними законами, які дають істотне розширення знань про основи матеріального світу, що відповідає усім критеріям наукових відкриттів.

Литература

1. Фигурнов В.Э. IBM PC для пользователя. –М.: Инфра-М, 1995. -464 с.
2. <http://daypic.ru/internet/43409> <http://sdo.uspi.ru/mathem&inform/lek9>.
3. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Быстродействие и память персональных компьютеров, предельные возможности // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VIII междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. –Донецк: ДонГТУ, Т2. 2001. - с. 47-54.
4. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Оценка предельных возможностей быстродействия и памяти персональных компьютеров // Вестник Херсонского государственного технич. ун-та. – Херсон: ХГТУ, Вып. 13. 2001. -с. 161-165.
5. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Открытие предельных возможностей быстродействия и памяти компьютеров. // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 6-й Междунар. науч.-техн. конф. –Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. –с. 205-207.
6. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Открытие физических основ предельного быстродействия и памяти компьютеров // Математические модели в образовании, науке и промышленности: Сб. науч. трудов. –С.-П.: Санкт-Петербургское отд. МАН ВШ, 2003. –с. 153-158.
7. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Анализ предельного быстродействия и памяти компьютеров /Фізика і технологія тонких плівок. Матеріали Ювілейної X Міжнародної конференції: У 2 т. – Т.2. –Івано-Франківськ, Гостинець 2005 с. 176-177.

8. Настасенко В.О., Настасенко О.В. Аналіз максимально можливої швидкодії та пам'яті комп'ютерів // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т, 2006. Т.7. №2 -с.381-385.
9. Настасенко В.О. Аналіз гранично можливих шаруватих структур. // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т, 2006. Т.7. №4. –с.793-797.
10. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Основы концепции определения предельного быстродействия и памяти систем искусственного интеллекта // Искусственный интеллект – Донецк: ИПИИ МОН и НАН Украины № 4. 2008. -с. 25-30.
11. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Определение максимально возможной памяти для систем искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – Донецк: ИПИИ МОН и НАН Украины. 2010. № 3. -с. 36-43.
12. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Определение максимально возможной скорости передачи информации для систем искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – Донецк: ИПИИ МОН и НАН Украины. 2011. № 3. -с. 67-78.
13. Carter F. Molecular Electronic Devices //Compсjn Spring '84; 28th IEE Comput. Soc. Int. Conf. –San-Francisco, DPC Los Alamos, 1984. -p 110-114.
14. Бор О., Моттельсон Б. Структура атомного ядра. Т.1. –М.: Мир. 1971.-456с.
15. Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм –М.: Издательство политической литературы. ПСС, Т.18. 1976. -525 с.
16. Настасенко В.А. Эталон массы в элементах квантовой физики // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. –Донецк: ДонГТУ, 2000, Т1. – с 95-100.
17. Настасенко В.А. Открытие предельно возможных величин волновых параметров // 10-я Юбилейная Международная конференция «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Сб. тезисов докладов. – Харьков: ХНУРЕ, 2004. Ч.1. - с.30-31.
18. Настасенко В.О. Нова модель Всесвіту /Всеукраїнський з'їзд «Фізика в Україні» Тези доповідей. –Одеса: ОНУ, «Астропринт», 2005. -с 77.
19. Настасенко В.А. Открытие волновых параметров гравитационного поля –V Всеукраїнська наук.-техн. конф. «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» Тези наук. доповідей. –Кременчук: КДПУ, 2006. -с.19-20.
20. Настасенко В.А. Определение естественных констант для производных механических единиц измерения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе.– Донецк, ДонНТУ, 2005, Т2. -с 299-305.
21. Настасенко В.А. Определение естественных констант для производных электрических и магнитных единиц измерения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XIII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонНТУ, 2006, Т3. –с 85-92.
22. Настасенко В.А. Определение естественных констант для основной и производных теплотехнических единиц измерения // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон, ХДМІ, Т.1. 2010. - с. 180-188.
23. Настасенко В.А. Естественные константы светотехнических величин / Науковий вісник ХДМІ. –Херсон, ХДМІ, №.2(3). 2010. -с.197-209.
24. Настасенко В.А. Открытие возможности объединения механических и электрических единиц измерения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XI-й Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, 2004, Т2. – с 261-266.
25. Политехнический словарь /Ред. кол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др., –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Сов. энциклопедия, 1989. -с. 638.
26. Физический энциклопедический словарь /Под общ. ред. А.М.Прохорова. //Д.М.Алексеев, А.М.Бонч-Бруевич, А.С.Воронов-Романов и др. –М.: Сов. Энциклопедия. 1983. –928 с.

Сведения об авторе

Настасенко Валентин Алексеевич.

Кандидат технических наук, доцент.

Доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок и общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии.

а/я 141, Почтамт, 73003, г.Херсон,

моб. т. 050-80-79-199, раб. Т. 26-22-59

Область профессиональных интересов – ПК, квантовая физика, основы строения материального мира

Реферат статьи
**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МИНИМАЛЬНОГО КВАНТА ПРОСТРАНСТВА ВСЕЛЕННОЙ**

Настасенко В.А.

Херсонская государственная морская академия

В работе обоснован новый концептуальный подход для определения параметров минимально возможных в материальном мире квантов пространства и времени. Показано, что они связаны с параметрами длины и времени Планковского уровня, полученными на базе 3-х фундаментальных физических констант: постоянной Планка, гравитационной постоянной и скорости света в вакууме. Исходя из этого, строго обоснована пространственная форма и количественные параметры таких квантов.

Ключевые слова: квантовая физика, фундаментальные физические константы, постоянная Планка, предельные значения параметров материальных величин.

Стр. 13, таб. 1, рис. 2, библ. 26.

Реферат статті
**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
МІНІМАЛЬНОГО КВАНТА ПРОСТОРУ ВСЕСВІТУ**

Настасенко В.А.

Херсонська державна морська академія

У роботі обґрунтований новий концептуальний підхід для визначення параметрів мінімально можливих в матеріальному світі квантів простору і часу. Показано, що вони пов'язані з параметрами довжини і часу Планківського рівня, які отримані на базі 3-х фундаментальних фізичних констант: сталої Планка, гравітаційної сталої і швидкості світла у вакуумі. Виходячи з цього, строго обґрунтована просторова форма і кількісні параметри таких квантів.

Ключові слова: квантова фізика, фундаментальні фізичні константи, постійна Планка, граничні значення параметрів матеріальних величин.

Стор. 13, таб. 1, мал. 2, бібл. 26.

Anitation of the paper
**GROUND OF PARAMETERS
MINIMUM QUANTUM OF SPACE OF UNIVERSE**

Nastasenko V.A.

Kherson state maritime academy

New conceptual approach is in-process grounded for determination of parameters minimum possible in the financial world quanta of space and time. It is rotined that they are related to the parameters of length and time of the Planck's level, got on the base of 3-th fundamental physical

constants: permanent Slat, gravity permanent and velocities of light in a vacuum. On this basis, a spatial form and quantitative parameters of such quanta is strictly grounded.

Keywords: *quantum physics, fundamental physical constants, constant of Plank, maximum values of parameters of financial sizes.*

Page 13, tab. 1, fig. 2, bibl. 26.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з НІР ХДМА

_____ А.П.Бень

«_____» _____ 2012 р.

Експертний висновок

Про можливість публікації матеріалів у друці та інших засобах масової інформації

Експертна комісія Херсонської державної морської академії, розглянувши статтю «Обґрунтування параметрів мінімального кванта простору Всесвіту» автора Настасенко Валентина Олексійовича, підтверджує, що в статті не міститься відомостей, які заборонені до відкритого опублікування розділом 3 Положення 92.

Висновок: матеріали статті автора Настасенко В.О., «Обґрунтування параметрів мінімального кванта простору Всесвіту» можуть бути опубліковані у відкритому друці.

Начальник відділу технічної інформації ХДМА _____ І.В. Блах

Рецензия на статью автора Настасенко В.А.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИНИМАЛЬНОГО КВАНТА ПРОСТРАНСТВА ВСЕЛЕННОЙ

Определение минимально возможных квантов пространства, их формы и строения, представляет большой интерес для развития науки в целом, а также для физики элементарных частиц, поэтому является важной и актуальной задачей, обуславливающей

перспективы развития многих сфер науки и техники. Ее решение затруднено дилеммой конечности или бесконечности микромира. Однако ряд используемых автором научных положений позволяет утверждать о его конечности.

Таким исходным положением принято представление минимально возможных параметров материального мира в Планковских величинах длины и времени, для которых возможны 2 варианта: 1) на базе круговой постоянной Планка (круговые); 2) на базе обычной постоянной Планка (линейные). В статье обоснована форма минимального кванта пространства Вселенной, который не может быть круговым, т.к. противоречит правилам квантования величин, а должен быть плотноупакованным шестигранным. Показано, что из 2-х вариантов связи шестигранников с Планковскими параметрами, реальной является структура из шестигранников, вписанных в окружность Планковского радиуса. Доказана также предпочтительность использования линейных Планковских величин длины, времени и массы, что вытекает из найденной, на уровне научного открытия, возможности квантования этих величин с реальными параметрами материального мира – секундой и скоростью света в вакууме.

Предложенное новое обоснование является корректным и строго обоснованным, в рамках связи линейных Планковских параметров длины и времени с фундаментальными физическими константами, составляющими основы мироздания: – постоянной Планка, гравитационной постоянной и скоростью света в вакууме. При этом выдвинутая автором в предыдущих работах идея связи Планковских параметров с минимально возможными элементами материального мира, получила новое научное подтверждение.

Статья написана на высоком научном уровне, технически грамотным языком и соответствует уровню работ, публикуемых в сборниках ВАК.

Учитывая новизну, актуальность, большую практическую значимость и оригинальность решенных в данной статье вопросов, она рекомендуется к печати.

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор кафедры физической
и биомедицинской электроники Херсонского
национального технического университета

В.Ф.Коваленко

И.В. Парсаданов, д.т.н., профессор, каф. «ДВС» НТУ «ХПИ», г. Харьков.

С.А. Кравченко, к.т.н., ст.научн.сотр. каф. «ДВС» НТУ «ХПИ», г. Харьков.

Н.А. Ткачук, д.т.н., профессор, зав. каф. «ТММиСАПР» НТУ «ХПИ», г. Харьков.

В. Н. Шеремет, аспирант каф. ТММиСАПР, НТУ «ХПИ», г. Харьков.

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Введение

Современные машины работают в условиях интенсивных механических нагрузок, что приводит к выходу из строя наиболее нагруженных деталей. Долговечность и надёжность работы этих деталей во многом определяется надёжностью работы поверхностей трения. Практика эксплуатации транспортных средств показывает, что выход их из строя происходит в 80 случаях из 100 именно по этой причине [1, 2].

Для повышения износостойкости рабочих поверхностей используют различные способы поверхностного упрочнения. Наряду с традиционными методами химико-термической обработки высоконагруженных поверхностей трения, электролитических покрытий, различных видов наплавки применяются новые технологии с высокой концентрацией энергии: ионноплазменные методы, лазерное упрочнение, детонационное напыление. Каждый из вышеупомянутых методов нанесения износостойких покрытий и упрочнения поверхности имеет свои достоинства, но у них у всех есть несколько общих недостатков:

- высокая стоимость технологического оборудования;
- большие капитальные вложения для организации производственных участков и изготовления технологической оснастки;
- сложность управления процессом нанесения износостойких покрытий;
- упрочняющие способы и традиционные методы нанесения износостойких покрытий, в большинстве своём, не обеспечивают требуемого уровня повышения износостойкости и усталостной прочности деталей одновременно;
- высокая энергоёмкость;
- наличие технологического концентратора напряжений [3, 4, 5].

Наиболее распространённым видом силовых установок транспортных средств являются двигатели внутреннего сгорания. Работая в жёстких условиях эксплуатации с частыми пусками и остановками, в условиях зимних и летних перепадов температур, трущиеся детали двигателей периодически попадают в условия сухого и полусухого трения, что в итоге приводит к повышенным износам трущихся поверхностей. Одной из наиболее трудоёмких и дорогостоящих деталей двигателя работающих в таких жестких условиях является коленчатый вал. В эксплуатации энергетических установок, оснащённых среднеоборотными двигателями применяется два вида ремонта коленчатых валов. В первом случае применяется перешлифовка коренных и шатунных шеек на ближайший ремонтный размер. Конструкторской документацией завода-изготовителя предусмотрено несколько ремонтных градаций, отличающихся одна от другой на 0,25 – 0,5 мм. Как показала практика эксплуатации и ремонта коленчатых валов, начиная уже со второго ремонтного размера при перешлифовке коренных и шатунных шеек на их рабочей поверхности практически отсутствует упрочнённый слой, что впоследствии ведёт к резкому износу пары шейка-вкладыш и резко сокращает ресурс двигателя [6]. Для устранения этого дефекта рекомендуется применять закалку ТВЧ или повторное азотирование. Исследования восстановленных таким способом коленчатых валов

показали, що при закалке токами високої частоти наряду с високою енергоємністю спостерігається обезуглероживание приповерхностного слоя, зниження усталостної міцності, наявність технологічного концентратора напружень, короблення, зниження ремонтпригодності. При повторному азотированні, наряду с високою енергоємністю і технологічною складністю процесу, відбувається ще і руйнування основного матеріалу колінчатого вала [7].

Во втором случае для восстановления размера коренных и шатунных шеек на их рабочую поверхность наносят слой металла с последующей обработкой в нужный размер. При ремонте коленчатых валов применяются газотермические методы нанесения покрытий: - электродуговая металлизация, газоплазменное, детонационное и плазменное напыление, электролитические (хромирование и железнение). Необходимо учитывать, что все газотермические способы нанесения покрытий не исключают коробления восстанавливаемого коленчатого вала. В настоящее время широкое применение при восстановлении рабочих поверхностей шеек коленчатых валов получило железнение. Несмотря на относительную технологическую простоту получения этого покрытия и ряд положительных свойств, недостатками процесса железнения является то, что покрытия, полученные этим методом очень чувствительны к изменению скорости скольжения поверхностей трения. Так, повышение скорости до 3 м/с вызывает рост коэффициента трения до 0,25 и температуры околослойной зоны до 200 °C и выше. Дальнейший рост скорости скольжения приводит к росту температур и к схватыванию поверхностей трения [8]. Таким образом, используемые при ремонте коленчатых валов известные технологии упрочнения и нанесения износостойких покрытий не позволяют получить удовлетворительные характеристики трибосистем с приемлемыми технологичностью, ремонтпригодностью и экономичностью процесса.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее приемлемой технологией восстановления работоспособности коренных и шатунных шеек коленчатых валов является технология, разработанная на базе электроискрового метода: - технология электроискрового упрочнения.

Постановка задачи и анализ путей решения

В ходе исследований рассматривалось решение двух типов задач. Во-первых, это лабораторно-технологическое обоснование технологии электроискрового упрочнения. Во-вторых, это численное моделирование напряженно-деформированного состояния фрагментов упрочненных таким способом деталей.

Совместный анализ результатов этих двух исследований даёт основу для научного обоснования параметров предлагаемого технологического процесса.

Как уже отмечалось, одной из наиболее напряжённых и сложных в конструктивном отношении деталей двигателя является коленчатый вал. Основной причиной ухудшения технического состояния коленчатого вала является повышенный износ трибосистемы шейки коленчатого вала – вкладыш подшипника скольжения. При износе шеек коленчатых валов увеличивается зазор между шейкой коленчатого вала и вкладышем подшипника скольжения. Это в свою очередь приводит к снижению давления масла и, по мере расширения зазора, – к возрастанию динамических нагрузок, которые постепенно приобретают ударный характер. В результате существенно повышается износ поршневых пальцев, верхних головок шатуна, поршня и т. д.

Неравномерный износ коренных и шатунных шеек коленчатого вала по его длине приводит к образованию завышенной ступенчатости между смежными шейками, что приводит к увеличению изгибающих нагрузок на коленчатый вал и может быть причиной его поломки.

Таким образом, долговечность и ресурс работы коленчатых валов определяются двумя параметрами – усталостной прочностью и износостойкостью. Если вопрос повышения усталостной прочности коленчатого вала и, в общем, всех элементов трибосистем двигателя решается в основном на стадии его проектирования, то

износостойкость деталей в целом зависит от многих факторов, начиная с конструкции коленчатого вала, методов упрочнения коренных и шатунных шеек и заканчивая режимами работы двигателя и качеством применяемых смазочных материалов.

В ходе исследования было проанализировано несколько наиболее распространённых методов упрочнения трущихся поверхностей [5]. Общим и наиболее существенным их недостатком является то, что все они сводятся к повышению лишь твёрдости материала поверхностного слоя детали, а, как известно, прямая зависимость между износостойкостью и твёрдостью отсутствует. Твёрдость не может однозначно характеризовать износостойкость материала, как известно, на неё оказывают влияние и другие характеристики механических свойств, например, пластичность и ударная вязкость.

Это объясняет тот факт, что ресурс двигателей до отправки в капитальный ремонт в реальных условиях эксплуатации оказывается существенно ниже нормативного.

Целью исследования, является обоснование и последующее внедрение в производство новых комплексных энергосберегающих технологий изготовления и ремонта высоконагруженных деталей машин и механизмов транспортных средств на базе технологий дискретного упрочнения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- дана экспериментальная оценка повышения ресурса, ремонтпригодности и работоспособности трибосистемы шейки коленчатого вала – вкладыш подшипника скольжения после дискретного упрочнения;
- проведены теоретические исследования и обоснован новый способ упрочнения трущихся поверхностей деталей методом дискретного упрочнения, как альтернатива наиболее распространённым стандартным технологиям нормализации, закалки ТВЧ, азотированию и др.

Решение поставленных задач нуждаются также в обосновании с точки зрения распределения компонент напряженно-деформированного состояния дискретно упрочненных деталей.

Результаты исследования триботехнических характеристик

Предложенная технология дискретного упрочнения высоконагруженных трущихся поверхностей деталей при существенном повышении твёрдости приповерхностного слоя не оказывает влияния на его пластичность. Суть технологии состоит в том, что на поверхность детали электроискровым способом с электрода, выполненного из легирующего материала, на катод (поверхность детали) переносятся легирующие частицы в виде островков или линий всевозможной конфигурации, которые при попадании на поверхность быстро остывают, что приводит к появлению каверн (углублений) [6]. В дальнейшем при шлифовании детали имеющиеся макро- и микродефекты удаляются, что исключает возможность появления концентраторов напряжений и улучшает качество поверхности.

Комплексный анализ результатов металлографического и микрорентгеноспектрального исследования образцов свидетельствует о том, что метод дискретного упрочнения повышает, физико-механические свойства поверхностных слоёв стали и чугуна. На поверхности детали после дискретного упрочнения возникают зоны, которые резко отличаются от основного материала. Условно их можно назвать «белым» слоем, толщина которого составляет 200 – 400 мкм, а микротвёрдость превышает микротвёрдость основного материала и находится в пределах 500 – 1000 МПа.

Данные фазового, микрорентгеноспектрального и металлографического анализа дают возможность утверждать, что «белым» слоем является смесь материалов электрода и образца, которые перемешались в момент разряда (в пламени дуги), а потом кристаллизовались при охлаждении с большой скоростью (рис. 1) [1 – 7].

Экспериментальные исследования показали, что дискретное упрочнение образцов выполненных из высокопрочного чугуна, обеспечивает повышение их износостойкости в

8 – 10 раз по сравнению со стандартной технологией нормализации и в 1,3 – 1,5 раза по сравнению с технологией закалки ТВЧ, а стальных образцов в 1,6 – 3,5 раза по сравнению с азотированием. Одновременно как у чугунного, так и у стального образцов улучшаются приработочные характеристики поверхностей, повышается износостойкость, снижаются коэффициент трения (рис. 2) [1 – 7].

Рисунок 1. Упрочнённые зоны:

а – чугунные образцы; в – стальные образцы (х 100)

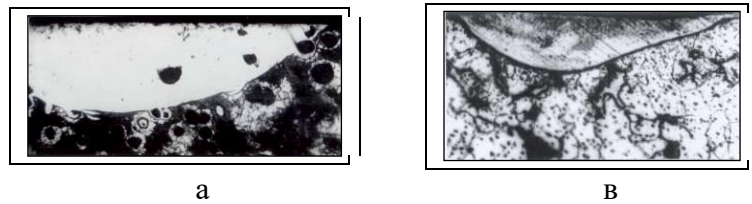
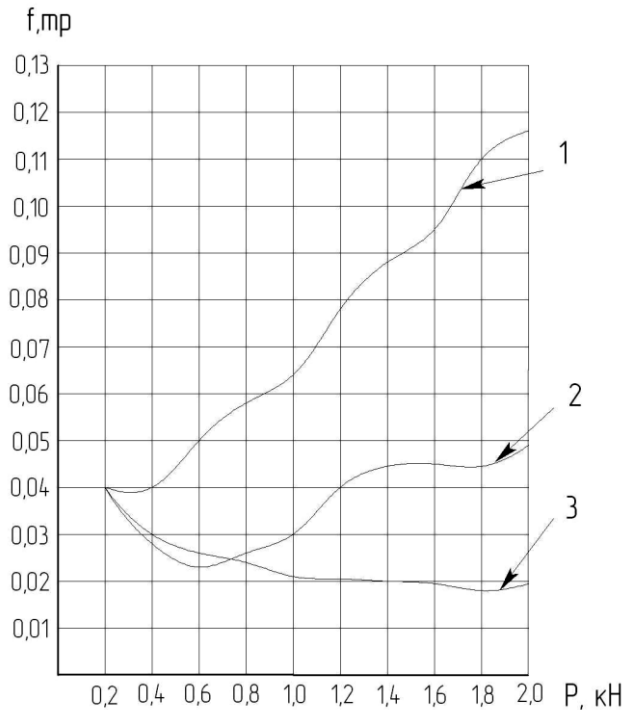


Рисунок 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки:
1 – образцы серии 1 (нормализация); 2 – образцы серии 2 (закалка ТВЧ);
3 – образцы серии 3 (дискретное упрочнение)



Одним из основных преимуществ разработанной технологии является то, что при нанесении дискретного упрочнения поверхность детали не подвергается большим температурным нагрузкам. Это позволяет при изготовлении коленчатых валов упрочнение коренных и шатунных шеек производить на последних операциях, а при ремонтах осуществлять повторное упрочнение восстановленной поверхности без опасности потери её геометрии или механических свойств.

В настоящее время технология дискретного упрочнения деталей находит широкое применение на многих предприятиях Украины. На ГП «Завод им. В.А. Малышева» упрочняются коренные и шатунные шейки коленчатых валов двигателей типа Д80, которые успешно эксплуатируются на предприятиях «Укрзалізниці». На ОАО «Ижумский тепловозоремонтный завод» технология дискретного упрочнения применяется при ремонте коленчатых валов двигателей типа Д49. При поступлении двигателя 5Д49 на капитальный ремонт установлено, что после шлифовки шеек коленчатого вала под второй ремонтный размер, а иногда и первый ремонтный размер, практически отсутствует упрочнённый (азотированный) слой. Поэтому для продления срока эксплуатации двигателя 5Д49 возникала необходимость повторного восстановления упрочнённого слоя трущихся поверхностей коренных и шатунных шеек [1 – 7].

Пробег тепловозов после ремонта двигателей с применением технологии дискретного упрочнения коренных и шатунных шеек коленчатых валов в настоящее время составляет 270 – 780 тыс. км, и все они находятся в эксплуатации, хотя гарантийный

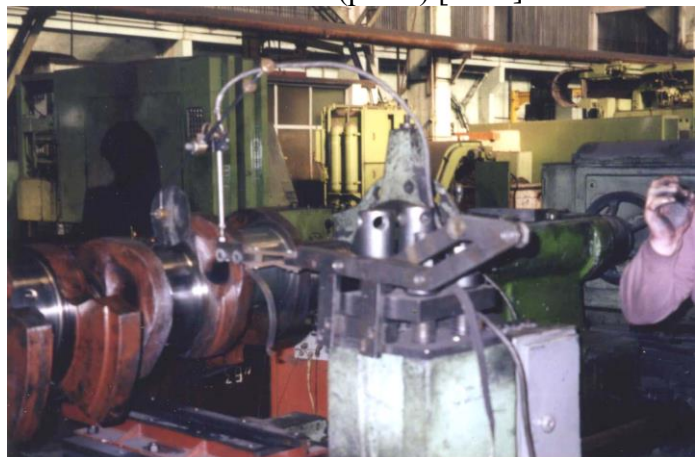
пробег после ремонта коленчатого вала по нормативно-технической документации составляет 240 тыс. км.

Таким образом, как показали результаты многолетней эксплуатации отремонтированных коленчатых валов двигателей типа Д49, их ресурс практически восстановлен и не уступает ресурсу новых двигателей.

Преимущество технологии дискретного упрочнения деталей двигателей является и то, что оборудование достаточно компактно и не требует дополнительных производственных площадей. Система регулирования и управления процессом обеспечивает стабильность режима упрочнения по всей поверхности детали, увеличивает или уменьшает кавернообразование на поверхности детали, что автоматически приводит к изменению глубины макролигированного слоя и припуска под его механическую обработку. Одновременно с этим регулируется диапазон разрядного тока (U_p) до 350 А. Так, при изготовлении или ремонте коленчатых валов двигателей упрочнение коренных и шатунных шеек выполняется на токарном станке. Для этого разработана технологическая оснастка, позволяющая выполнять операцию с одной установки. На суппорт станка устанавливается специальная штанга на которой крепится электрододержатель. Упрочнение шатунных шеек выполняется при наличии специального приспособления, которое позволяет производить смещение вала на величину радиуса кривошипа.

Размещение оборудования по упрочнению шеек коленчатого вала, которое эксплуатируется на ГП «Завод им. В.А. Малышева» показано на (рис 3) [1 – 7].

Рисунок 3. Оборудование нанесения дискретного упрочнения



Кроме выше названных, предприятий проведены производственные испытания двигателей транспортных средств, детали которых были упрочнены методом дискретного упрочнения на ОАО «Харьковский завод тракторных самоходных шасси» при ремонте коленчатых валов двигателей Д120, заводах Министерства обороны Украины и угольной промышленности.

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния дискретно упрочненных деталей машин

Рассмотрение триботехнических свойств дискретно упрочненных деталей в лабораторных и производственных условиях, требует анализа их прочностных и жесткостных характеристик с помощью аналитических или численных методов.

Аналитические методы вследствие сложности исследуемого объекта трудноприменимы, и поэтому было предложено использовать для этих целей метод конечных элементов (МКЭ) [3, 4].

Некоторые аспекты решаемой задачи исследования напряженно-деформированного состояния дискретно упрочненных деталей описаны в работах [3, 4]. В то же время более тщательного изучения требуют вопросы перераспределения контактных нагрузок и изменения профиля первоначально плоской или цилиндрической поверхности, упрочненной предложенным способом. Именно этот аспект и был предложен в работе.

Рассматривались две задачи: 1) о действии на поверхность фрагмента дискретно упрочненной детали равномерно распределенного давления $P = 100 \text{ МПа}$; 2) о контактном взаимодействии дискретно упрочненной детали с неупрочненной.

Материал зоны дискретного упрочнения имеет модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$, материал основы – $1,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$. Размеры зоны дискретного упрочнения в плане – 0,8 мм. Глубина фрагмента деталей 5 мм. На рис. 4 – расчетные схемы для задачи 1), на рис. 5 – для – 2). На упрочненной поверхности (и в случае 1), и в случае 2)) выделены 5 путей (см. рис. 4), по которым в дальнейшем исследуется профиль деформированной поверхности (рис. 6, 7). Кроме того, на рис. 8 – 10 приведены распределения эквивалентных напряжений по Мизесу, а также – для случая 2) – контактные давления.

Геометрическая модель (1/4 с учетом симметрии): на верхнюю грань детали действует равномерно распределенное давление

Конечно-элементная модель – 225 тыс. эл., симметрия на всех вертикальных плоскостях

Рисунок 4. – Расчетные схемы для задачи анализа НДС фрагмента детали с зоной дискретного упрочнения при действии на поверхность распределенного давления $p=100 \text{ МПа}$

Геометрическая модель (1/4 с учетом симметрии): на неконтактирующую горизонтальную грань детали действует равномерно распределенное давление

Конечно-элементная модель – 380 тыс. эл., симметрия на всех вертикальных плоскостях, по горизонтальной грани сопряжения – контактные условия

Рисунок 5. – Расчетные схемы для задачи анализа НДС фрагмента детали с зоной дискретного упрочнения при контактировании с сопряженной деталью, на поверхность которой действует равномерно распределенное давление $p=100 \text{ МПа}$

Анализ полученных распределений дает основание для следующих выводов.

1. Первоначально прямолинейная поверхность дискретно упрочненных деталей при нагружении приобретает бугристый профиль – проявляется так называемый « Δ – эффект» [3,4]. При этом учет контактного взаимодействия приводит к двукратному уменьшению Δ – бугристости, хотя характер ее остается таким же.

2. При контакте дискретно упрочненной детали с неупрочненной происходит резкое перераспределение давлений: на участке упрочнения они в 2 раза выше, чем на неупрочненном.

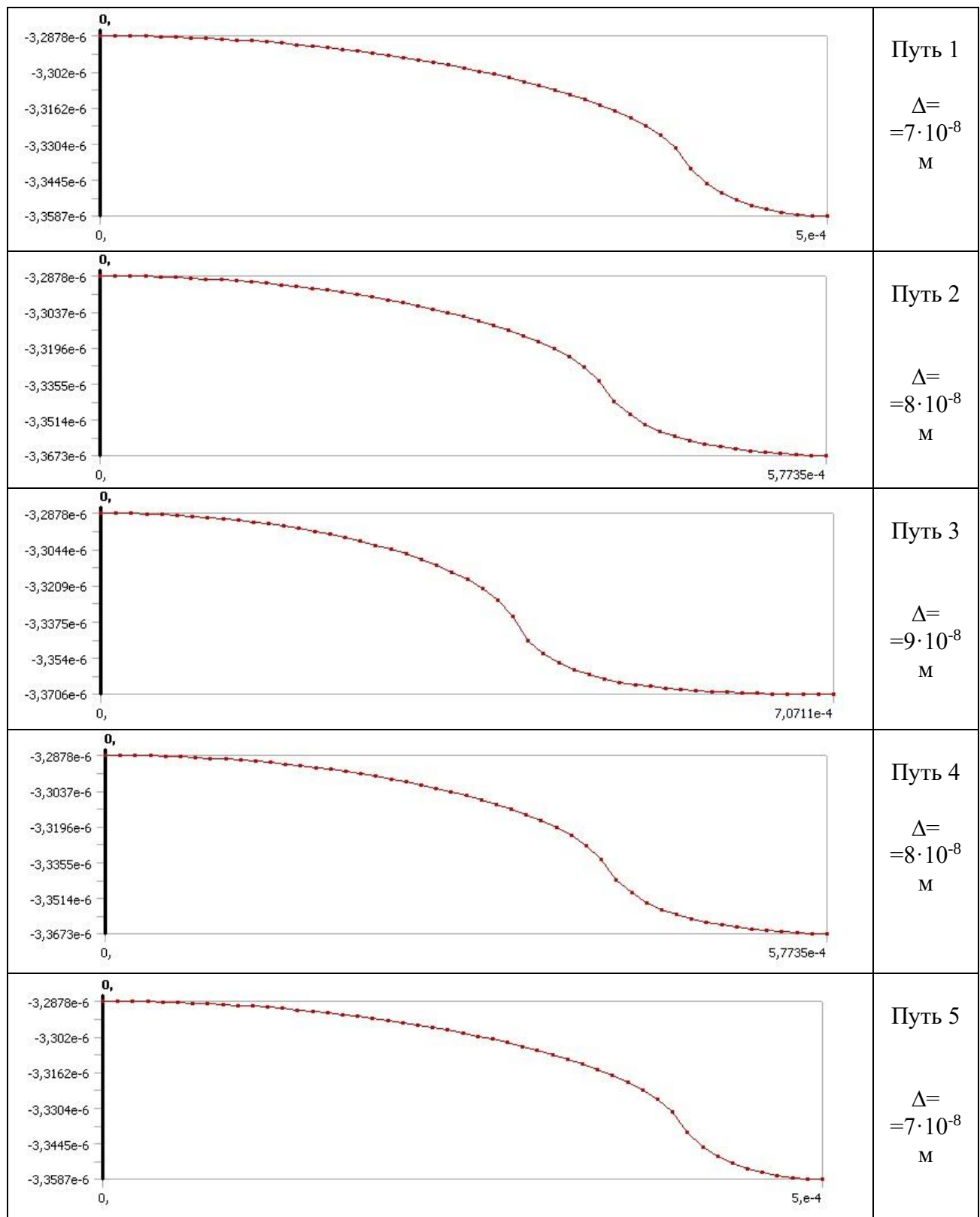


Рисунок 6. Распределение профилей деформированной поверхности (задача 1))
вдоль путей 1-5 (см. рис. 4)

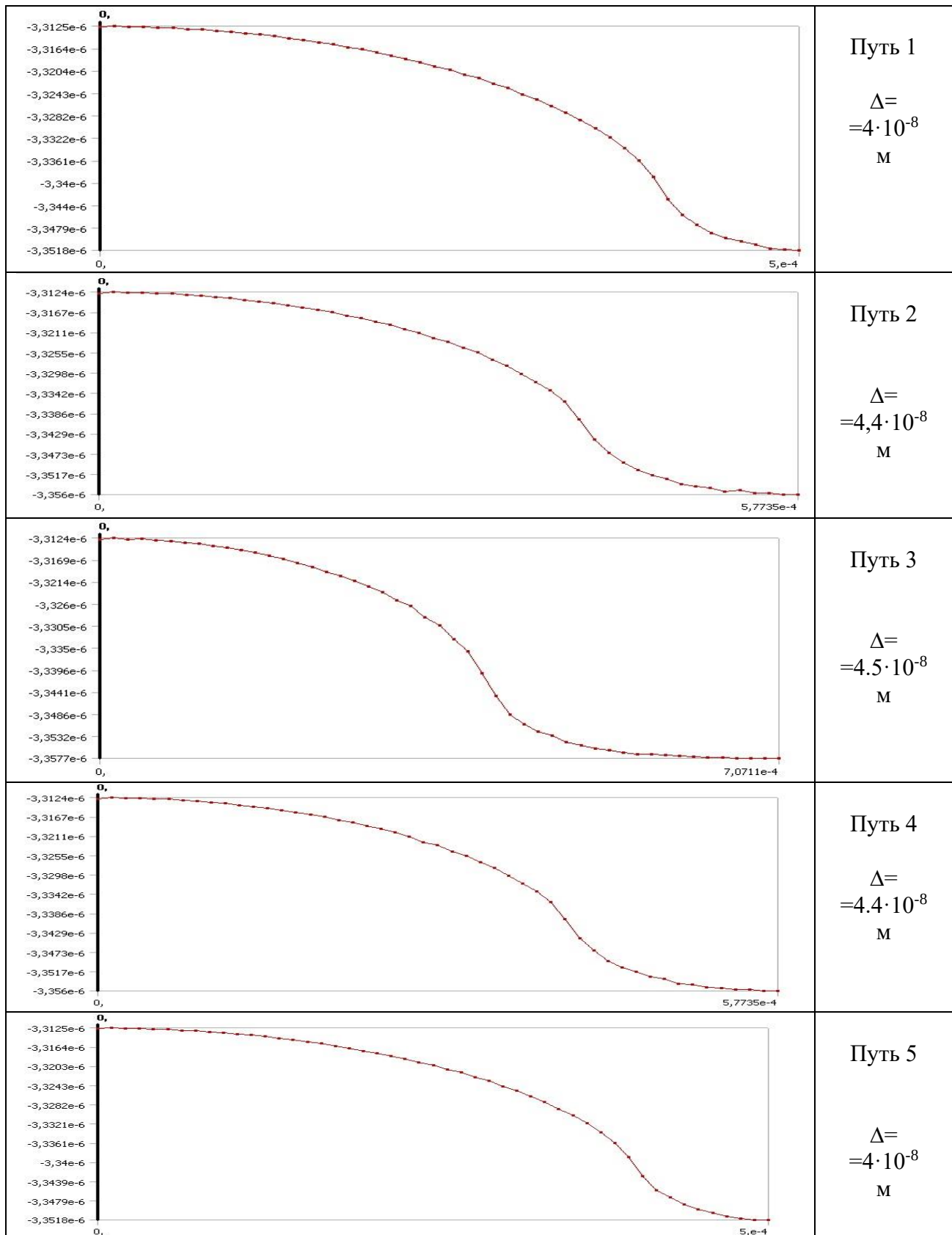


Рисунок 7. Распределение профилей деформированной поверхности (задача 2))
вдоль путей 1-5 (см. рис. 4)

3. Наличие зон дискретного упрочнения приводит к росту напряжений в них более чем в два раза по сравнению с неупрочненной деталью. Однако нужно учесть, что материал этих зон более прочен, и, соответственно, общий уровень прочности не ухудшается.



Рисунок 8. Распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (задача 1))

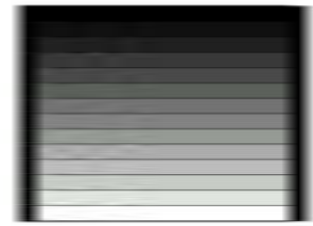


Рисунок 9. Распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (задача 2))

Рисунок 10. Распределение контактных давлений (задача 2))



Выводы

Ресурс деталей узлов и агрегатов, работающих в условиях больших динамических нагрузок, в основном определяется износом их рабочих поверхностей.

Широко распространённые способы повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей только за счёт увеличения их твёрдости не решают проблемы увеличения их моторесурса, а при их ремонте восстановление твёрдости трущихся поверхностей практически невозможно так как это требует высокого температурного воздействия на деталь, что ведёт к существенному снижению усталостной прочности и потере геометрии.

Предложенная технология дискретного упрочнения трущихся поверхностей высоконагруженных деталей не требует сложного специального оборудования и дополнительных производственных площадей. Восстанавливаемые детали не подвергаются большим термическим нагрузкам, что позволяет использовать их при восстановлении твёрдости трущихся поверхностей и снижает их коэффициент трения.

Упрочнённая зона состоит из «белого» слоя с повышенной твёрдостью HRC 50 – 60 единиц при твёрдости сердцевины HRC 20 – 30 единиц и подслоя зоны с изменённым химическим составом и промежуточным (между «белым» слоем и сердцевиной образца) значением твёрдости.

Дискретное упрочнение приводит к образованию бугристого профиля при нагружении деталей. Этим самым улучшаются условия работы пары сопряженных деталей. При этом данный «Δ – эффект» тем больше, чем выше нагрузка.

Таким образом, применение технологии дискретного упрочнения при изготовлении и ремонте поверхностей трения деталей транспортных средств позволяет существенно повысить их ресурс и снизить затраты на проведение внеочередных ремонтов.

Литература

1. Под ред. Чичинадзе А.В. Основы трибологии. Трение, износ, смазка. М., Центр «Науки и техники». 1995.- С. 400.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. – С. 328.: ил.
3. Шеремет В.Н. Повышение ресурса тяжело нагруженных элементов ДВС путём дискретного упрочнения деталей. Моделирование напряженно-деформированного состояния. / В.Н. Шеремет, Н.А. Ткачук, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. - №2. – С. 118- 123.
4. Посвятенко Е.К. Підвищення ресурсу тепловозів на базі технології дискретного зміцнення деталей форсованих дизелів / Е.К. Посвятенко, В.Г. Гончаров, С.С.

Д'яченко, М.А. Ткачук // Сучасні технології в машинобудуванні. Зб. Наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. Вип. №5. – С. 60-75. 5. Гончаров В.Г. Повышение надёжности деталей двигателя методом дискретного упрочнения / С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. - №1. – С. 97- 99. 6. Тартаковский Э.Д. Анализ эффективности существующих методов ремонта коленчатых валов дизеля 5Д49 / Э.Д. Тартаковский, В.Г. Гончаров, В.М. Сапожников // Зб. Наукових праць. – Харків: УДАЗТ, - 2009. Вип. №107. – С. 71-79. 7. Дьяченко С.С. Исследование ремонтпригодности тепловозного коленчатого вала / С.С. Дьяченко, Б.В. Савченков, В.Г. Гончаров, И.В. Понамаренко, С.И. Аксёнова, В.М. Сапожников // Локомотив-информ. – 2007. август.- С. 16-17. 8. Долговечность трущихся деталей машин. Сб. статей. Выпуск №2. – М.: Машиностроение. 1987. – С. 304.

Анотації

У роботі описана розробка науково-технічних основ підвищення ресурсу та забезпечення високої надійності, довговічності і технічних характеристик форсованих двигунів військової і цивільної техніки за рахунок дискретного способу зміцнення. Досліджено напружено-деформований стан зміцнених деталей.

В работе описана разработка научно-технических основ повышения ресурса и обеспечения высокой надежности, долговечности и технических характеристик форсированных двигателей военной и гражданской техники за счет дискретного способа упрочнения. Исследовано напряженно-деформированное состояние упрочненных деталей.

In the paper it is described the development of scientific and technical bases of increase of resource and providing of high reliability, longevity and technical descriptions of the forced engines of military and civil technique due to the discrete method of work-hardening. The stress-strained state of strengthened details is investigational.

Ключевые слова:

Дискретне зміцнення, напружено-деформований стан, ресурс
Дискретное упрочнение, напряженно-деформированное состояние, ресурс
Discrete work-hardening, stress-strained state, resource

Сведения об авторах.

Игорь Владимирович Парсаданов, д.т.н., профессор, каф. «ДВС» НТУ «ХПИ», г. Харьков, год рождения 1946. Вопросы – улучшение топливной и экологической эффективности ДВС.

Сергей Александрович Кравченко, к.т.н., ст.научн.сотр. каф. «ДВС» НТУ «ХПИ», г. Харьков, год рождения 1956. Вопросы – повышение надёжной работы ДВС путём применения новых технологий производства.

Николай Анатольевич Ткачук, д.т.н., профессор, зав. каф. «ТММиСАПР» НТУ «ХПИ», г. Харьков, год рождения 1960. Вопросы – механизм деформируемого твёрдого тела.

Владимир Николаевич Шеремет, аспирант каф. ТММиСАПР, НТУ «ХПИ», г. Харьков, год рождения 1958. Вопросы – механизм деформируемого твёрдого тела.

В.И. Свиридов

Херсонская Государственная морская академия

Проспект Ушакова, 20, г. Херсон, 73000

А. А. Абдулаев, к.т.н., доцент

Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова

ул. Дыбенко, 1А, г. Севастополь, 99028

Автоматизация вибродиагностирования энергетического оборудования

В настоящее время автоматизация вибродиагностирования различного оборудования сдерживается главным образом отсутствием соответствующего программного обеспечения. Отсутствие программ, в свою очередь, объясняется не столько сложностью программной реализации определенных методик и алгоритмов вибродиагностирования, сколько их несовершенством и обязательным участием оператора в анализе диагностической информации.

Подшипниковые узлы с подшипниками качения являются неотъемлемой частью большого числа различного оборудования. Спектр вибрации подшипниковых узлов лежит в широком диапазоне частот (от единиц до 20 000 Гц). В связи с этим при использовании прямого спектра вибрации или спектра огибающей (модуляционные характеристики) в диагностических целях приходится идентифицировать частоты их вибрации.

В прямом спектре вибрации всегда присутствуют гармонические составляющие и их гармоники от подшипников качения. В спектре огибающей вибрации подшипников качения наличие гармонических составляющих зависит от качества сборки подшипниковых узлов и глубины появившихся дефектов.

Наиболее сложно автоматизировать процесс идентификации частот вибрации подшипниковых узлов машин и механизмов. Поэтому, в настоящее время различные диагностические системы содержат огромную базу данных по типоразмерам подшипников, чтобы расчетным путем определять их информативные частоты вибрации. Однако в реальных условиях эксплуатации обслуживающему персоналу диагностической системы не всегда удастся иметь информацию о типоразмере подшипников, которые установлены на том или ином механизме.

Авторы [1] разрешили данную проблему путем введения понятия информативных коэффициентов K_i , которые находятся путем деления информативной частоты вибрации F_i на частоту вращения сепаратора F_c подшипника, на основании этих данных были рассмотрены все гармонические составляющие вибрации, причиной которых являются подшипники качения, имеют частоты, связанные с частотой вращения внутреннего кольца (ротора) $F_{вр}$ частотой вращения сепаратора F_c подшипника:

$$F_c = \frac{F_{вр}}{2} \left(1 - \frac{d_{тк}}{D_o} \cos \beta \right) \quad (1)$$

где:

 $F_{вр} = n/60$, Гц - частота вращения ротора; n - скорость вращения ротора, мин⁻¹; $d_{тк}(d_{ш})$ - диаметр тел качения, мм; D_o - диаметр сепаратора подшипника, т.е. диаметр окружности, проходящей через центры тел качения $D_o = (d + D)/2$, мм;

где:

d и **D** - диаметры внутреннего и внешнего колец подшипника, соответственно;
β- угол контакта тел и дорожек качения, град.

Частота контакта точки тела качения с кольцами, Гц:

наружным $F_{HK} = F_c(D_o/d_{TK} + \cos\beta)$ (2)

внутренним $F_{BK} = F_c(D_o/d_{TK} - \cos\beta)$ (3)

с наружным и внутренним $F_{TK} = 2F_c \times D_o/d_{TK}$ (4)

Частота перекачивания тел качения по **наружному кольцу** (частота изменения жесткости подшипника), Гц:

$$F_H = F_c \times Z \quad (5)$$

где **Z** - число тел качения.

Рис. 1. К определению частоты вибрации дефектного подшипника

Частота перекачивания тел качения по **внутреннему кольцу** подшипника, Гц:

$$F_B = (F_{BK} - F_c) \times Z \quad (6)$$

Как видно из формул (1) – (6), исходной базисной характеристикой для расчета информативных частот вибраций подшипников является частота вращения сепаратора F_c или частота вращения ротора $F_{вр}$. Для всех типов подшипников качения соотношения геометрических параметров лежат в довольно узких пределах. Так, например, отношение d_{TK}/D_o находится в пределах 0,17... 0,25, а число тел качения обычно $Z = 6 \dots 14$, редко до 22...24. Поэтому значение F_c с достаточной для практики точностью можно рассчитать по упрощенной формуле:

$$F_c = (0,39 \dots 0,42)F_{вр} \sim 0,4F_{вр} \quad (7)$$

Отсюда границы соотношений между информативными частотами и F_c можно представить в виде коэффициентов (значения коэффициентов уточнены с учетом результатов экспериментов):

$$\begin{aligned} K_{вр} &= F_{вр}/F_c = 2,38 - 2,63; & K_n &= F_n/F_c = 6 - 14; \\ K_v &= F_v/F_c = 9,31 - 22,4; & K_{тк} &= F_{тк}/F_c = 8 - 11,9; \\ K_{нк} &= F_{нк}/F_c = 5 - 6,9; & K_{вк} &= F_{вк}/F_c = 3 - 4,9. \end{aligned} \quad (8)$$

Области изменений значений коэффициентов, за исключением K_n , K_v и $K_{тк}$ не перекрывают друг друга, что позволяет сразу же определить принадлежность различных частот (полос частот) спектрограммы к интервалам изменения области существования соответствующих информативных частот. Для идентификации K_n , K_v и $K_{тк}$ целесообразно использовать устойчивую область изменения значений соотношения:

$$K_v/K_n = 1,3 \dots 1,6 \quad (9)$$

Алгоритм решения задачи выделения информативных частот в исследуемой спектрограмме при вибродиагностировании подшипниковых узлов показан на следующем примере:

При частоте вращения ротора $F_{вр} = 25$ Гц ($n = 1500$ мин⁻¹) снята спектрограмма (см. рис. 2) прямого спектра низкочастотной вибрации подшипника качения типа 8A32320B1Ш2.

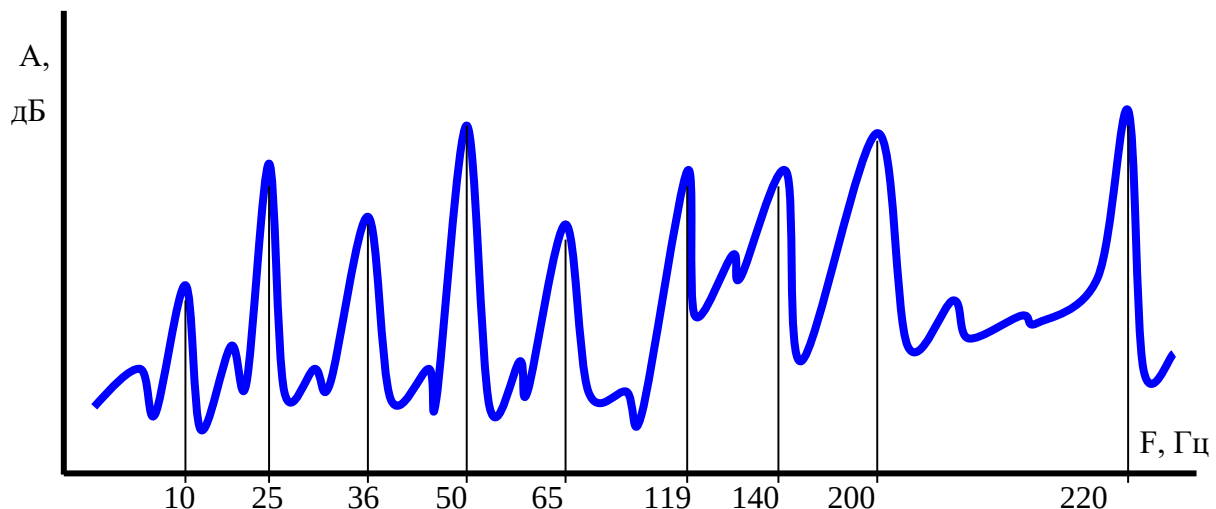


Рис. 2. Спектрограмма прямого спектра низкочастотной вибрации подшипника

Первый шаг. Определение частот дискретных составляющих вибрации: 10; 25; 36; 50; 65; 119; 140; 200; 220 Гц.

Второй шаг. Расчет частоты вращения сепаратора подшипника и уточнение ее значения по спектрограмме:

$$F_c = (0,39 - 0,42)F_{вр} = 9,75 - 10,5; \text{ по спектрограмме } F_c = 10 \text{ Гц.}$$

Третий шаг. Расчет коэффициентов выделенных частот дискретных составляющих вибрации с помощью зависимостей (8):

$$1; 2,5; 3,6; 5; 6,5; 11,9; 14; 20; 22.$$

Четвертый шаг. Сравнение полученных коэффициентов с интервалами их

значений, соответствующими областям существования информативных частот, удобно вести в форме таблицы.

Ki	Область существования	Информативная частота
1	1	F_c
2,5	2,38 - 2,63	$F_{вр}$
3,6	3 - 4,9	$F_{вк}$
5,0	-	$2F_{вр}$
6,5	5 - 6,9	$F_{нк}$
11,9	7 - 22,4	$F_n, F_v, F_{нк}$
14,0	9,31 - 22,4	F_n, F_v
20,0	9,31 - 22,4	F_v
22,0	9,31 - 22,4	F_v

Пятый шаг. Дополнительная идентификация коэффициентов 11,9 и 14 с помощью соотношения (9):

$$22 : 11,9 = 1,85 > 1,6; \quad 20 : 11,9 = 1,68 > 1,6, \text{ следовательно, } F_{тк} = 119 \text{ Гц.}$$

$$22 : 14 = 1,57, \quad 1,3 < 1,57 < 1,6;$$

$$20 : 14 = 1,43, \quad 1,3 < 1,43 < 1,6, \text{ следовательно, } F_n = 140 \text{ Гц.}$$

Реализация алгоритма требует постоянной исходной информации небольшого объема об интервалах значений коэффициентов, определяющих существование информативных частот, и переменной информации о частоте вращения $F_{вр}$. Такой подход к оценке информативных частот обеспечивает сокращение трудоемкости расчетов и объема исходной информации по сравнению с традиционным методом решения в 5 раз.

Использование интервалов значений полученных коэффициентов для известных типоразмеров подшипников, применяемых на данном оборудовании, и определение соответствующих им областей существования информативных частот позволяет разработать достаточно простые автоматические вибродиагностические устройства, единственным входным параметром которых будет частота вращения ротора. Схема такого устройства может предусматривать настройку его на определенный типоразмер подшипника. В этом случае точность оценки информативных частот существенно повысится. Желательно иметь следящий фильтр за частотой вращения ротора механизма, так как в реальных условиях эксплуатации оборудования наблюдается значительная ее флуктуация. Разработка таких диагностических устройств открывает широкие возможности для создания стационарных автоматизированных систем вибродиагностической оценки технического состояния подшипниковых узлов.

Усовершенствованный выше алгоритм автоматизированного диагностирования подшипниковых узлов с учетом диагностических признаков дефектов сборки и износа реализован автором в компьютерной программе «Подшипник».

Данный подход (по определению информативных коэффициентов K_i) позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Выводы:

1. Для идентификации частот вибраций требуется единственный входной параметр $F_{вр}$.
2. Данный подход (по определению информативных коэффициентов K_i) позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Перспективным дальнейшим продолжением в этом направлении является поиск алгоритмов по дополнительной идентификация, когда значения информативных коэффициентов лежат в одной области существования, для различных машин и механизмов.

РЕФЕРАТ

В.І. Свиридов, О.А. Абдулаєв

Автоматизація вібродіагностування енергетичного встаткування

Визначення інформативних коефіцієнтів K_i дозволяє повністю автоматизувати процес вібродіагностування будь-якого механізму.

Подальшим продовженням у цьому напрямку є пошук алгоритмів по додаткової ідентифікація, коли значення інформативних коефіцієнтів лежать в одній області існування, для різних машин і механізмів.

РЕФЕРАТ

В.И. Свиридов, А.А. Абдулаев

Автоматизация вибрации диагностирования энергетического оборудования

Определение информативных коэффициентов K_i позволяет полностью автоматизировать процесс вибродиагностирования любого механизма.

Дальнейшим продолжением в этом направлении является поиск алгоритмов по дополнительной идентификация, когда значения информативных коэффициентов лежат в одной области существования, для различных машин и механизмов.

ABSTRACT

V. Svirydov, A. Abdulaev

Automation of vibration diagnosing of the power equipment

Definition of informative factors K_i allows to automate completely process of vibration diagnosing any mechanism.

The further continuation in this direction is search of algorithms on additional identification when values of informative factors lie in one area of existence, for various cars and mechanisms.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулаев А.А., Маркитантов Б.С. Определение информативных частот при вибродиагностике подшипниковых узлов. Л.: Судоремонт флота рыбной промышленности, 1985, № 59, с. 35 - 37

2. Абдулаев В.А., Абдулаев А.А. Вибродиагностирование электрических машин. Сб. научных трудов, Вып. №3, Проблемные вопросы строительства ВМСУ, развития вооружения и войсковой техники. — Севастополь, СВМИ, 1998 г.

3. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / Александров А.А., Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А. -Л.: Судостроение, 1986. - 276 с.
4. Неразрушающий контроль: Справочник: Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика, - М.: Машиностроение, 2005. – 829с.
5. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин: - 2-е изд. исправл. - М.: Машиностроение, 2000 - 344 с.: ил.
6. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Рекомендации для пользователей систем диагностики. Издательство СПбГМТУ, Санкт-Петербург, 2000.
7. Абдулаев А.А. Вибродиагностика и мониторинг энергетических машин АЭС. - Учебное пособие. СИЯЭ и П., 1999. – 202 с.
8. Свиридов В.И. Вибродиагностический метод прогнозирования остаточного ресурса судовых машин и механизмов / В.И. Свиридов, Ю.М. Воробьев, А.А. Абдулаев // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матер. республ. научн.-практич. конф. ХГМИ -2010, Херсон. - С.109-111.

УДК 621.762.4

В.А.Сичук асистент, О.В.Заболотний к.т.н. доцент

Луцький національний технічний університет

НОВІ ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ СОПЕЛ ДЛЯ АБРАЗИВОСТРУМЕНЕВИХ МАШИН

В представленій роботі розроблене зносостійке сопло, нової конструкції, для його використання в абразивоструменевій машині. Показане математичне дослідження роботи сопла в реальних умовах. Висновки та результати спонукають до подальшого як наукового так і практичного дослідження з метою впровадження у промислове виробництво.

В.А. Сычук, О.В. Заболотный. Разработка новой конструкции порошковых сопел и его сборки для абразивоструйной машины.

В представленной работе разработано износостойкое сопло, новой конструкции, для его использования в абразивоструйной машине. Показано математическое исследование работы сопла в реальных условиях. Выводы и результаты побуждают к дальнейшему как научному, так и практическому исследованию с целью внедрения в промышленное производство.

V.A.Sychuk, O.V.Zabolotnyi. Development of new design of powder nozzles and assemblies for blastmachines.

It was designed an abrasion-resistant nozzle of new construction for use in blastmachines, in the presented work. It was presented computer modeling of the nozzles work in real conditions. Conclusions and results encourage further as a scientific and practical research to implementation in production.

Постановка проблеми. З аналізу існуючих видів сопел абразивоструменевих машин, що виготовляються вітчизняними та закордонними виробниками дійшли висновку, що основна тенденція по удосконаленню сопел – це використання нових, надтвердих і зносостійких матеріалів, таких як карбід бору, карбід вольфраму, карбід кремнію. Дані матеріали дозволяють дещо підвищити експлуатаційні характеристики сопла, а це відповідно продовжує довговічність його роботи. Але згадані нові матеріали є дуже вартісними, а отже і саме сопло також. Тому, виникла ідея винайти принципово новий підхід до процесу удосконалення сопел абразивоструменевих машин, який полягає в удосконаленні їх конструкції та подальшій розробці нової, відносно недорогої, проте ефективної технології їх отримання та експлуатації.

Мета роботи - удосконалення сопел абразивоструменевих машин, який полягає в удосконаленні їх конструкції та подальшій розробці нової, відносно недорогої, проте ефективної технології їх отримання та експлуатації.

Обговорення результатів. Нова технологія виготовлення та експлуатації сопел забезпечує досягнення високої довговічності їх роботи, причому вона суттєво не залежить від твердості чи зносостійкості матеріалу з якого вони виготовлені. Головний принцип (умова) – сопло має бути пористим, щоб могло пропускати через себе в потрібному напрямку повітря, яке буде створювати повітряну подушку на внутрішній робочій поверхні сопла (рисунок 1). Така повітряна подушка буде відтісняти основний потік повітря з абразивом для зменшення контакту із внутрішньою робочою поверхнею сопла. Це призведе до зміни умов зношування і відповідно забезпечить суттєве зниження зношення робочої поверхні сопла.

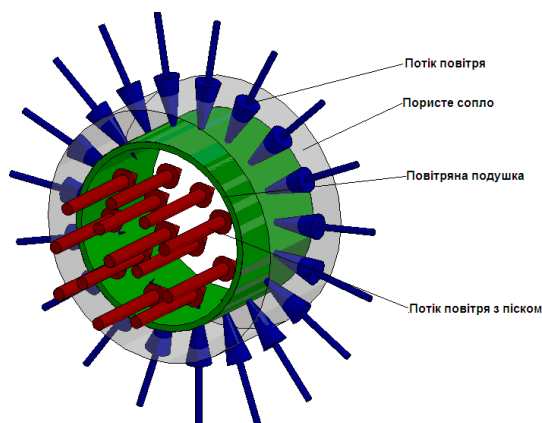


Рисунок 1. Схема утворення повітряної подушки на внутрішній поверхні частини сопла.

Може виникнути питання – чому потрібно створювати подушку тільки в частині сопла, а не на всій його внутрішній поверхні? Відповідь полягає в тому, що так звана «шийка» сопла (рисунок 2) зношується найбільше і збереження її геометричних розмірів (в даному випадку діаметр отвору) є найбільш актуальним питанням.

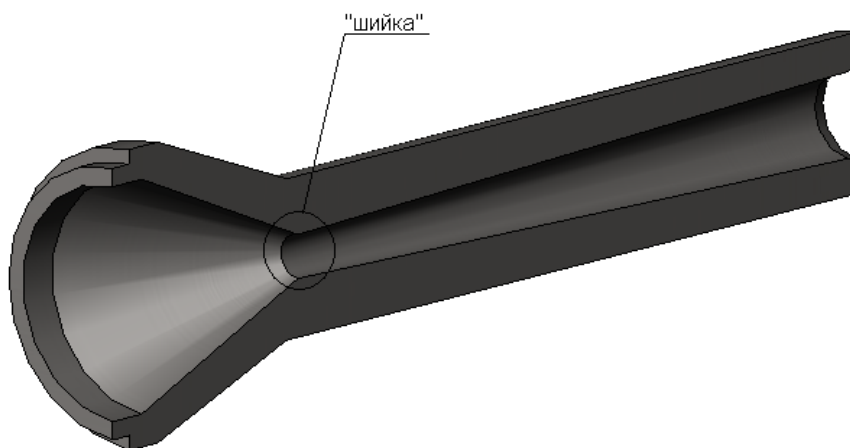
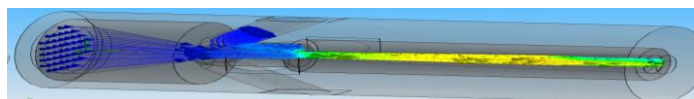
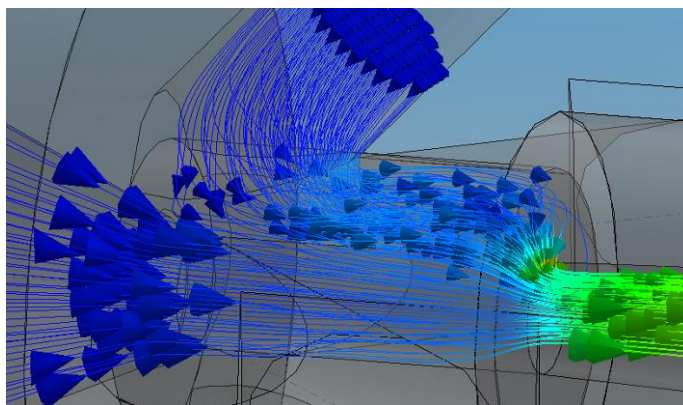


Рисунок 2. Розріз сопла форми Вентурі абразивоструменевої машини.

Для зменшення спрацювання шийки сопла було вирішено змінити його конструкцію з суцільної на збірну. Сопло буде складатися з трьох основних частин: широкий конічний вхід, пориста циліндрична трубчаста вставка, вузький довгий конічний вихід. Щоб перевірити нашу гіпотезу, дану конструкцію було спроектовано в САПР системі SolidWorks для проведення віртуальних випробувань. Вхідні параметри тестування підбиралися такими ж як при роботі реальної абразивоструменевої машини. Результати випробування зображено на рисунку 3.



а



б

Рисунок 3. Моделювання потоків повітря які протікають в соплі під час роботи абразивоструменевої машини. а – загальна конструкція; б – збільшений вигляд змішування потоків в зоні пористої вставки.

Після моделювання конструкції сопла ми виготовили його складові частини в металі (рисунок 4).

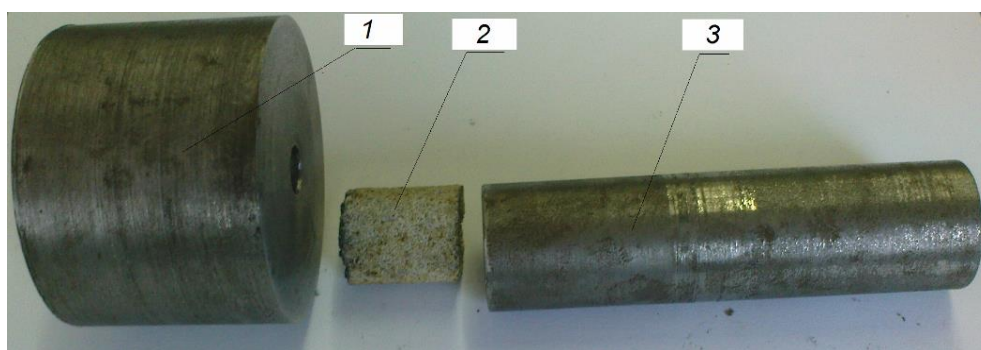
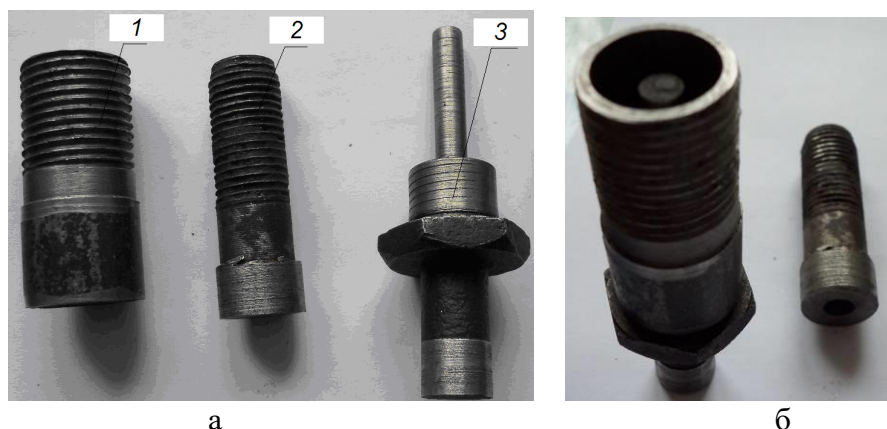


Рисунок 4. Складові сопла.

1 - широкий конічний вхід; 2 - пориста циліндрична трубчаста вставка; 3 - вузький довгий конічний вихід.

Пориста циліндрична трубчаста вставка була виготовлена з металічного порошку на основі титану марки ПТС з розміром фракції $+0,3...-0,4$ методом сухого осьового пресування на вертикальному гвинтовому пресі. Оснастка, яка використовувалась для формування деталі зображена на рисунку 4.



а

б

Рисунок 5. Оснастка для пресування. а – елементи оснастки; б – оснастка в зборі.

1 – ємність для засипки; 2 – пуансон; 3 – матриця.

В порожнину, яка утворюється при зборці матриці 3 і ємності для засипки 1 поміщаємо металічний порошок. Розміщуємо пристосування на пресі і надаємо осьового навантаження на пуансон 2, який передає тиск на порошок, що знаходиться в порожнині. Таким чином було

отримано пористу циліндричну трубчасту вставку з відносною густиною 0,6. Для забезпечення міцності виробу – його було спечено методом СВС (самопротікаючий високотемпературний синтез). Готовий виріб та його геометричні розміри показано на рисунку 5.

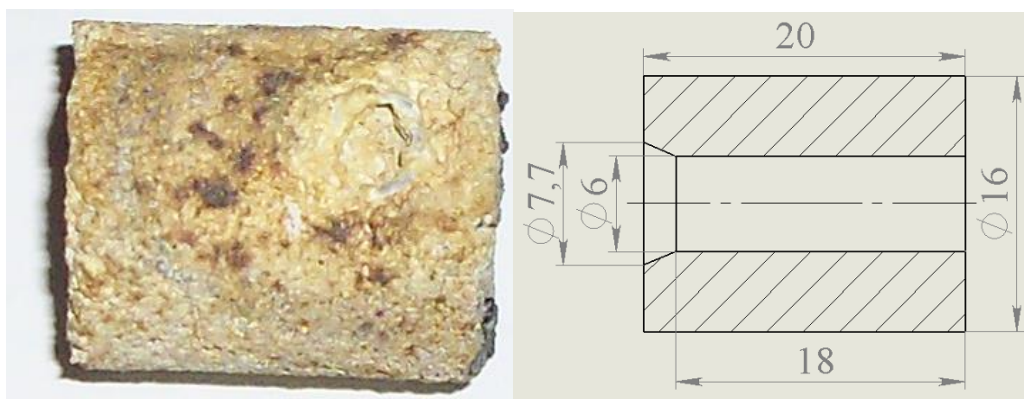


Рисунок 6. Готова пориста циліндрична трубчаста вставка та її геометричні розміри.

Для створення готової збірної одиниці в САПР програмі був спроектований спеціальний корпус з складовими частинами (рисунок 7).

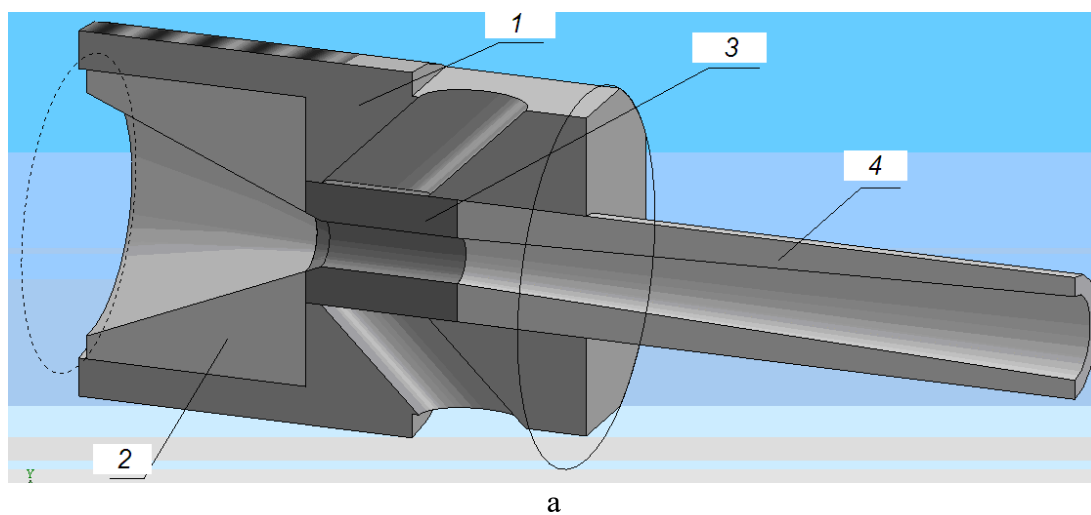


Рисунок 7. Готова збірна одиниця сопла нової конструкції. а – САПР модель збірної одиниці сопла (1 – корпус; 2 - широкий конічний вхід; 3 - пориста циліндрична трубчаста вставка; 4 - вузький довгий конічний вихід); б – реально виготовлена збірна одиниця сопла.

Наступний етап – реальний експеримент який буде проводитися на обладнанні абразивоструменевої машини промислового призначення оскільки розроблена нова конструкція сопла розрахована для обладнання такого виду.

Висновки. В представленій роботі розроблене зносостійке сопло, нової конструкції, для його використання в абразивоструменевій машині. Показано математичне дослідження роботи сопла в реальних умовах. Висновки та результати спонукають до подальшого як наукового так і практичного дослідження з метою впровадження у промислове виробництво. Слід зазначити, що нова конструкція і спосіб виготовлення сопла є реальним хоча й потребує певного доопрацювання з точки зору практичного впровадження.

1. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Минск: Дзбор, 1998. – 258с.
2. Патент Республіки Беларусь на полезную модель № 2252U МПК В 22F 3/00. Устройство для прессования изделий из порошков/ Саранцев В.В. Богинский Л.С., Повстяной А.Ю., Заболотный О.В., Сомов Д.А. – 2005г.
3. Сичук В.А., Заболотний О.В. Технологія отримання зносостійкого сопла піскоструменевої машини методом сухого радіально-ізостатичного пресування. // Науковий журнал «Технологічні комплекси». - №1. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – с. 124-129.
4. Сичук В.А., Заболотний О.В. Нова технологія виготовлення та особливості використання зносостійкого сопла піскоструменевої машини // Наукові нотатки. – Випуск 29. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – с. 179-184.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУДОСТРОЕНИИ

Тригуб С.Н.,

Херсонская государственная морская академия

В работе показано, что решение проблемы оценки показателей пожарной опасности – воспламеняемости полимерных композиционных материалов существенно затруднено сложностью комплекса взаимосвязанных физико-химических процессов, протекающих в материалах при нагревании до высоких температур. В рассмотренных условиях образования пор, например, в стеклопластике, в результате выгорания полимерного связующего, диффузии летучих и окислителя в возникших порах, окисления летучих с выделением большого количества теплоты определены основные показатели воспламеняемости стеклопластика – температура воспламенения и период индукции.

Ключевые слова: стеклопластик, пожарная опасность, воспламеняемость, температура воспламенения, период индукции.

Введение. До сих пор развившиеся пожары в зданиях и сооружениях или на судах приносят огромный материальный ущерб, исчисляемый десятками миллиардов долларов в год, в них гибнут десятки тысяч людей. Роль современных полимерных материалов (ПМ) в этом особенно существенна, поэтому актуальной народно-хозяйственной проблемой является возможность прогнозирования пожарной опасности – воспламеняемости ПМ в начальной стадии пожара.

Важнейшими показателями характеризующими воспламеняемость являются температура воспламенения и период задержки (индукции) воспламенения ПМ, поскольку при любом механизме процесса воспламенения появлению пламени предшествует период относительно медленного нарастания скорости реакции, соответствующей разогреванию материала в условиях медленного повышения температуры при тепловом воспламенении.

Однако обе эти величины не являются физическими константами, так как зависят от свойств ПМ, условий теплообмена, а также мощности источника зажигания (при принудительном воспламенении).

Одной из наиболее перспективных областей применения пластических масс и других синтетических полимерных материалов несомненно является судостроение. Пожалуй, нет такого вида пластиков, который не мог бы найти применения при постройке судов. Одним из распространенных видов пластиков нашедших широкое применение в судостроении являются стеклопластики. Поскольку стеклопластики обладают прекрасной прочностью, легкостью и стойкостью к водной среде он активно применяется в изготовлении крупногабаритных деталей корпусных конструкций из них строят целые корпуса мелких судов, спасательные плоты, пластмассовые

рубки и надстройки металлических судов, изготавливают переборки и палубные настилы, трапы, лестницы, ступени, багажные отсеки, ящики, сидения из стеклопластика для яхт и катеров. Стеклопластики является одним из основных материалов для изготовления панели управления, электронavigационного и радиотехнического оборудования судов, средств судовой автоматики, связи и т.п. Наконец, стеклопластики с успехом используется как декоративно-отделочный материал и материал для изготовления деталей оборудования судовых помещений, дельных вещей, мебели, кухонных гарнитуров, раковин и т.д.

Однако наряду с многочисленными достоинствами и зачастую уникальными свойствами стеклопластики обладают большим недостатком – сравнительно высокой пожарной опасностью. Поэтому оценка пожарной опасности – воспламеняемости стеклопластика, как полимерного композиционного материала, в частности при совместном тепловом воздействии потока нагретого воздуха и лазерного излучения является актуальной задачей.

Цель данной работы – рассмотреть процессы, протекающие в образце стеклопластика на эпоксидной основе при совместном тепловом воздействии на него потока нагретого воздуха и лазерного излучения, определить основные показатели воспламеняемости стеклопластика – температуру воспламенения и период индукции.

Изложение основного материала. Для достижения поставленной цели возьмем образец стеклопластика в форме пластины толщиной d с площадью S и поместим его в перпендикулярный поток нагретого воздуха с температурой T и скоростью движения w в направлении оси x , кроме того, в это же время, подвергнем пластину воздействию лазерного излучения с плотностью потока I в том же направлении x (рис. 1, а).

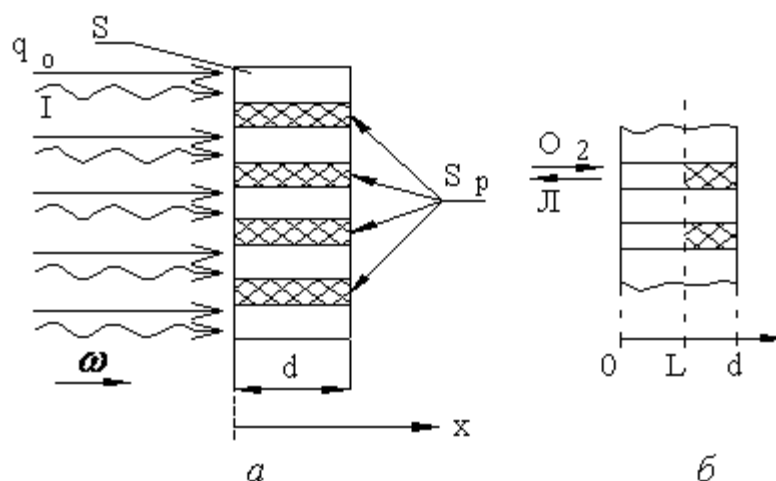


Рисунок 1 – Схемы процесса, протекающие в образце материала

При малой толщине пластины ее нагрев можно считать равномерным по объему и охарактеризовать ее температуру усредненным значением $\bar{T}$.

Структуру стеклопластика представим упрощенной моделью в виде сквозных цилиндрических волокон связующего, параллельных оси x , в матрице наполнителя; сечения волокон занимают общую площадь S_p на всей площади образца S . В этой модели имеют место соотношения:

$$C = \frac{m_c}{m} = \frac{m_{c0}}{m_0} = \frac{\rho_c S_p d}{\rho_0 S d} = \frac{\rho_c}{\rho_0} \frac{S_p}{S} = \frac{\rho_c}{\rho_0} \Pi, \quad (1)$$

где C – массовое содержание связующего с плотностью ρ_c в материале с плотностью ρ_0 ,

m_c – масса связующего,

m_{c0} – первоначальная масса связующего,

m_0 – масса образца,

Π – «пористость» образца, характеризующая относительный объем пор, образовавшихся после полного выгорания связующего в образце.

Введем далее концентрацию c_c связующего в образце (моль/м³) как

$$c_c = \frac{M_c}{V} = \frac{m_c}{\mu_c V}, \quad (2)$$

где V – объем образца ($V = S \cdot d$),

M_c – число молей связующего в образце,

μ_c – молекулярная масса связующего (кг/моль).

Первоначальная концентрация связующего равна $c_{c0} = \frac{m_{c0}}{\mu_c V} = \frac{cm_0}{\mu_c V}$.

Экспериментальные исследования в [1] показали, что при нагревании до температур $\bar{T} \approx 600$ К и выше в образце композиционного материала интенсивно протекает пиролиз связующего с образованием летучих продуктов реакции, в результате чего в образце образуются поры, растущие перпендикулярно поверхности нагрева (рис. 1, б). Длина пор $0 \leq L \leq d$ возрастает со временем ($L = L(\tau)$); в некоторый момент времени τ_1 величина L становится равной d , т.е. поры становятся сквозными. После этого момента картина процессов, протекающих в образце, становится качественно иной и требует особого рассмотрения; в настоящей работе предполагается, что $\tau < \tau_1$ и $L < d$.

Кинетическое уравнение реакции пиролиза связующего – реакции 1-го порядка – имеет вид:

$$\frac{dc_c}{d\tau} = k' c_c, \quad (3)$$

где константа реакции k' описывается уравнением Аррениуса:

$$k' = k'_0 \exp\left(-\frac{E_{\pi}}{RT}\right), \quad (4)$$

где k'_o – предэкспоненциальный множитель, E_{Π} – энергия активации реакции пиролиза. Решение дифференциального уравнения (3) при начальном условии $c_c(\tau = 0) = c_{c_o}$ имеет вид:

$$c_c = c_{c_o} \exp(-k' \tau). \quad (5)$$

Поскольку, в соответствии с (2), масса связующего m_c пропорциональна c_c , а масса образца m , в соответствии с (1), пропорциональна m_c , то из (5) следует, что масса образца уменьшается со временем по экспоненциальному закону:

$$m = m_o \exp(-k' \tau). \quad (6)$$

При продвижении реакции вглубь образца (т.е. при удлинении пор) на величину dL за время $d\tau$ уносится (с продуктами реакции пиролиза) масса $(-dm) = \rho_c S_p dL = k' m d\tau$ (в соответствии с (6)), откуда следует:

$$dL = \frac{k' m}{\rho_c S_p} d\tau = k' \frac{\rho_o S d}{\rho_c S_p} \exp(-k' \tau) d\tau = \frac{k' d}{C} \exp(-k' \tau) d\tau.$$

Решение этого дифференциального уравнения при начальном условии $L(\tau = 0) = 0$ дается выражением:

$$L = \frac{d}{C} [1 - \exp(-k' \tau)]. \quad (7)$$

Условие полного выгорания связующего имеет вид: $L = d$ при $\tau = \tau_1$. Отсюда находим:

$$\tau_1 = \frac{1}{k'} \ln \frac{1}{1 - C} \approx \frac{C}{k'}, \text{ при } (C \ll 1). \quad (8)$$

Количественная оценка τ_1 при $k'_o \approx 10^{15} \text{ с}^{-1}$, $E_{\Pi} \approx 50$ ккал/моль, $\bar{T} \approx 600 \text{ К}$, $C \approx 0,3$ дает: $\tau_1 \approx 500 \text{ с}$ (≈ 8 мин). Эта оценка показывает, что выгорание связующего является медленным процессом и может потребовать значительного времени.

Исходя из этого, диффузию летучих продуктов пиролиза из пор к поверхности образца (см. рис. 1, б) можно считать квазистационарным процессом. Это означает, что в любой момент времени τ в порах успевает установиться некоторое распределение концентрации летучих по длине поры $c_L(x)$, параметры которого медленно изменяются со временем. Это распределение можно в принципе описать решением уравнения стационарной диффузии при соответствующих граничных условиях (значениях c_L при $x = 0$ и $x = L$).

Для упрощения дальнейшего рассмотрения приближенно заменим указанное распределение $c_L(x)$ усредненным постоянным значением концентрации летучих $\bar{c}_L$.

При температурах $\bar{T} \approx 700\text{ K}$ и выше имеет место диффузия окислителя (атмосферного кислорода) в поры образца с интенсивным протеканием реакции окисления летучих (см. рис. 1, б) [107]. Эта реакция – 2-го порядка – описывается кинетическим уравнением:

$$\frac{dc_{02}}{d\tau} = -k'' \bar{c}_l \cdot c_{02}, \quad (9)$$

где c_{02} – концентрация окислителя (моль/м³), k'' – константа реакции, описываемая уравнением типа (4):

$$k'' = k_o'' \exp\left(-\frac{E_o}{R\bar{T}}\right), \quad (10)$$

где k_o'' – предэкспоненциальный множитель,

E_o – энергия активации реакции окисления.

Ввиду отмеченного выше медленного характера роста пор уравнение диффузии окислителя в поры можно представить в виде:

$$D_{02} \frac{d^2 c_{02}}{dx^2} = k'' \bar{c}_l c_{02}, \quad (11)$$

где D_{02} – коэффициент диффузии кислорода в порах (изменение знака в правой части (11) по сравнению с (9) обусловлено тем фактом, что вследствие диффузии в поры входит дополнительное количество окислителя). Граничные условия для дифференциального уравнения (11) даются выражениями:

$$\left. \frac{dc_{02}}{dx} \right|_{x=L} = 0, \quad c_{02}|_{x=0} = c_o, \quad (12)$$

где c_o – концентрация кислорода в атмосферном воздухе при соответствующей температуре. Решение уравнения (11) при граничных условиях (12) имеет вид:

$$c_{02} = c_o \frac{\cosh[\eta(L-x)]}{\cosh(\eta L)}, \quad (13)$$

где введено обозначение:

$$\eta = \left(\frac{k'' \cdot \bar{c}_l}{D_{02}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (14)$$

где величина η характеризует глубину реагирования в порах образца при $L < d$.

Поток окислителя J_{02} (моль/с) через устья всех пор на поверхности образца определяется, с учетом (13), выражением:

$$J_{0_2} = -D_{0_2} \left. \frac{dc_{0_2}}{dx} \right|_{x=0} \cdot S_p = D_{0_2} c_o \eta S_p th(\eta L). \quad (15)$$

Произведение J_{0_2} на тепловой эффект реакции окисления q_o (Дж/моль) определяет тепловую мощность, выделяемую в порах вследствие протекания указанной реакции.

Теперь можно составить уравнение теплового баланса для образца с учетом теплового эффекта реакции окисления летучих в порах, дополнительного теплового воздействия лазерного облучения на поверхность образца и теплоотдачи от фронтальной поверхности образца в окружающую среду, возникающей вследствие саморазогрева образца $(\bar{T} - T)$ при приближении к температуре воспламенения материала (около 800 К для стеклопластиков). Заметим, что в уравнении теплового баланса можно в принципе учесть также и тепловой эффект, обусловленный протеканием экзотермической реакции на поверхности образца; этот вопрос требует специального рассмотрения и здесь не затрагивается.

Величина теплового эффекта реакции окисления в порах была указана выше (она равна $q_o \cdot J_{0_2}$). Тепловой эффект лазерного облучения, при условии полного поглощения излучения лазера равномерно во всем объеме образца, равен $I \cdot S$. Мощность теплоотдачи с коэффициентом α от фронтальной поверхности образца, согласно закону Ньютона-Рихмана, равна $\alpha S(\bar{T} - T)$. С учетом всего изложенного уравнение теплового баланса образца записывается в виде (с учетом (14)):

$$cV \frac{d\bar{T}}{d\tau} = q_o D_{0_2} c_o S_p th(\eta L) \left[\frac{k'' \bar{c}_l \exp(-\frac{E_o}{RT})}{D_{0_2}} \right]^{\frac{1}{2}} - \alpha S(\bar{T} - T) + IS, \quad (16)$$

где $c \approx \rho_o c_m$ – объемная (c_m – массовая) теплоемкость образца (величина c , как V , приближенно принимается постоянной).

Введя безразмерную величину относительного разогрева $\theta = \frac{E_o}{RT^2} (\bar{T} - T)$ и используя известное приближение Д.А. Франк-Каменецкого [2], после некоторых преобразований приводим уравнение (16) к виду:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{\tau_\sigma} \exp\left(\frac{\theta}{2}\right) - \frac{\theta}{\tau_e} + \frac{1}{\tau_r}, \quad (17)$$

В этом уравнении введены следующие характерные времена:

$$\tau_\sigma = \frac{cVRT^2 \exp\left(\frac{E_o}{2RT}\right)}{E_o q_o c_o S_p th(\eta L) (k'' \bar{c}_l D_{0_2})^{1/2}}, \quad \tau_e = \frac{cV}{\alpha S}, \quad \tau_r = \frac{cVRT^2}{E_o IS}, \quad (18)$$

где τ_σ – имеет смысл характерного времени внутреннего реагирования,
 τ_e – время тепловой релаксации (прогрева или охлаждения) образца,
 τ_r – время теплового «отклика» образца на лазерное облучение.

Заметим, что $\frac{V}{S} = d$, $\frac{V}{S_p} = \frac{V}{\Pi S} = \frac{d}{\Pi}$, где d – толщина, Π – «пористость» образца).

На основании уравнения (17) определяются основные показатели воспламеняемости композиционного материала – температура воспламенения $\bar{T}_O$ (которой соответствует безразмерная величина $\theta_o = \frac{E_o}{RT^2}(\bar{T}_O - T)$) и период индукции τ_i (время саморазогрева образца от $\theta = 0$ до $\theta = \theta_o$). Для определения θ_o используем условия воспламенения из теории Н.Н. Семенова [3, 4]

$$\left. \frac{d\theta}{d\tau} \right|_{\theta_o} = 0, \quad \left. \frac{d}{d\theta} \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right) \right|_{\theta_o} = 0. \quad (19)$$

Применительно к уравнению (17) эти условия дают:

$$\frac{1}{\tau_\sigma} \exp\left(\frac{\theta_o}{2}\right) - \frac{\theta_o}{\tau_e} + \frac{1}{\tau_r} = 0, \quad \frac{1}{2\tau_\sigma} \exp\left(\frac{\theta_o}{2}\right) - \frac{1}{\tau_e} = 0. \quad (20)$$

Решение этой системы приводит к простому выражению для θ_o вида:

$$\theta_o = 2 + \frac{\tau_e}{\tau_r} = 2 + \frac{E_o I}{\alpha R T^2}. \quad (21)$$

Период индукции определяется общим выражением:

$$\tau_i = \int_0^{\theta_o} \frac{d\theta}{(d\theta/d\tau)} = \int_0^{\theta_o} \frac{d\theta}{\frac{1}{\tau_\sigma} \exp\left(\frac{\theta}{2}\right) - \frac{\theta}{\tau_e} + \frac{1}{\tau_r}}. \quad (22)$$

При известных значениях параметров (18) интеграл в (22) сравнительно просто определяется численными методами. Формулы (21) и (22) решают поставленную задачу теоретической оценки показателей воспламеняемости материалов рассмотренного типа.

Приведем иллюстративный пример определения θ_o и τ_i по формулам (21) и (22) с учетом (18). Примем для $(k_o'' \cdot \bar{c}_L)$ типичное значение константы скорости реакции 1-го порядка $k_o' \approx 10^{15} \text{ c}^{-1}$ [111]. Для реакции окисления летучих примем значения $E_o = 50 \text{ ккал/моль}$ и $q_o \approx 50 \text{ ккал/моль}$ и положим $T = 800 \text{ К}$. Тогда $\frac{E_o}{2RT} \approx 15,6$ и $\exp\left(\frac{E_o}{2RT}\right) \approx 6 \cdot 10^6$. Для образца ПКМ с

толщиной $d = 0,01\text{ м}$ и пористостью $\Pi \approx 0,4$ примем $c \approx 1500\text{ кг/м}^3 \cdot 1500\text{ Дж/кг} \cdot \text{К} = 2,25 \cdot 10^6\text{ Дж/м}^3 \cdot \text{К}$. Для такого образца $V/S = 0,01$ и $V/S_p = 0,01/0,4 = 0,025$. Для D_{02} принимаем типичное значение коэффициента диффузии газов: $D_{02} \approx 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$. Тогда по полученным формулам (2.31) и (2.35) получим оценку: $\eta \approx 1,6 \cdot 10^3\text{ м}^{-1}$. В этом случае даже при небольшой длине пор $th(\eta L) \approx 1$ (например, при $L = 1\text{ мм}$ $th(\eta L) \approx 0,92$). Для c_0 при 800 К находим: $c_0 \approx 3\text{ моль/м}^3$. Плотность потока лазерного излучения положим равной $I \approx 10^4\text{ Вт/м}^2$. Для оценки коэффициента теплоотдачи α при рассматриваемой геометрии задачи (см. рис. 1, а) используем критериальное уравнение теплоотдачи [5]

$$Nu = 0,232 Pr^{0,35} Re^{0,731},$$

где $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$, $Re = \frac{wl}{\nu}$, w – скорость потока, l – характерный размер образца; значения числа Прандтля Pr , коэффициента теплопроводности λ и кинематической вязкости ν для воздуха при 800 К составляют, соответственно: $Pr \approx 0,69$, $\lambda \approx 5,9 \cdot 10^{-2}\text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\nu \approx 8,5 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ [6]. При $w = 2\text{ м/с}$ и $l \approx 0,01\text{ м}$ после соответствующих расчетов получим: $\alpha \approx 65\text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ($Nu \approx 11$).

Используя формулы (18), находим следующие значения:

$$\tau_\sigma \approx 135\text{ с}, \quad \tau_e \approx 350\text{ с}, \quad \tau_r \approx 58\text{ с}.$$

Формула (21) дает: $\theta_0 \approx 8$. Тогда, согласно формуле (22):

$$\tau_i \approx \int_0^8 \frac{d\theta}{\exp\left(\frac{\theta}{2}\right) \frac{1}{135} - \frac{\theta}{350} + \frac{1}{58}} \approx 150\text{ с}.$$

Приближенный расчет интеграла проведен графическим способом.

Используя формулу $\theta_0 = \frac{E_0}{RT^2}(\bar{T}_0 - T)$ при известных значениях

входящих в нее значениях определили температуру воспламенения ПМ $T_0 \approx 730^\circ\text{С}$ (с учетом выше принятых значений).

Выводы. Предложена идеализированная математическая модель процесса нагрева стеклопластика тепловым потоком нагретого воздуха и лазерным излучением при этом рассмотрено воспламенение стеклопластика, проведена оценка основных показателей пожарной безопасности – воспламеняемости стеклопластика – температуры воспламенения и периода индукции.

В заключении отметим, что при известных значениях физических и структурных параметров, кинетических параметров соответствующих химических реакций протекающих в ПКМ при их нагревании, возможно в

дальнейшем расчетным путем, по полученным формулам, определить показатели воспламеняемости реальных ПКМ в комбинированном нагретом потоке и лазерном излучении или совместно в нагретом потоке и лазерном излучении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов С.Е., Курятников В.В. Воспламенение пористых образцов композиционных материалов // Физика аэродисперсных систем. – Киев–Одесса: Выща школа. – 1987. – Вып. 32. – С. 133–136.
2. Глушков В.Е., Селиванов С.Е., Федосеев В.А., Тодес О.М. Тепловое воспламенение частиц металла // Физика аэродисперсных систем. – Киев: Изд. КГУ. – 1971. – Вып.5. – С. 65–70.
3. Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. – М.: АН СССР, 1954. – 350 с.
4. Семенов Н.Н. Развитие теории цепных реакций и теплового воспламенения. – М.: Знание, 1967. – 96 с.
5. Кулинченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – Киев: Техника, 1990. – 165 с.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

Тригуб С.Н. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛО В СУДНОБУДУВАННІ

У роботі показано, що розв'язок проблеми оцінки показників пожежної небезпеки – займистості полімерних композиційних матеріалів суттєво утруднене складністю комплексу взаємозалежних фізико-хімічних процесів, що протікають у матеріалах при нагріванні до високих температур. У розглянутих умовах утвору пор, наприклад, у склопластику, у результаті вигорання полімерного сполучного, дифузії летучих і окиснювача у виниклих порах, окиснення летучих з виділенням великої кількості теплоти визначені основні показники займистості склопластику – температура запалення й період індукції.

Ключові слова: склопластик, пожежна небезпека, займистість, температура запалення, період індукції.

Тригуб С.Н. THE ESTIMATION OF INDICATORS OF FIRE DANGER POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS IN SHIPBUILDING

In work it is shown, that the decision of a problem of an estimation of indicators of fire danger – ignition polymeric composite materials is essentially complicated by complexity of a complex of the interconnected physical and chemical processes proceeding in materials at heating to heats. In the considered conditions of formation of a time, for example, in fibreglass, as a result of burning out polymeric binding, diffusions flying and an oxidizer in the arisen time, oxidations flying with allocation of a considerable quantity of warmth are defined the basic indicators ignition fibreglass – temperature of ignition and the induction period.

Keywords: fibreglass, fire danger, ignition, temperature of ignition, the induction period.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Фурс В.В., Рудь В.Д., Сичук В.А.

Луцький національний технічний університет

Розроблена конструкція пристрою для вимірювання вібраційних коливань вібраційно-обертального модуля та експериментального обґрунтування його працездатності і достовірності отриманих результатів.

Ключові слова: віброколювання, вібромодуль, п'єзоелемент, тензодатчик, тензорезистор, енкодер, підсилювач.

Постановка проблеми. У галузі порошкової металургії велику нішу займає утилізація порошкових матеріалів із відходів промислового виробництва. Саме тому, для дослідження даних процесів, їх удосконалення і зменшення енерговитрат, в Луцькому національному технічному університеті створено вібраційний обертальний барабанний млин (рис. 1) [1]. Дана дослідна установка використовується для подрібнення порошкових матеріалів та змішування компонентів шихти при отриманні композиційних матеріалів та ін.

З метою пошуку оптимальних режимів подрібнення необхідно мати відомості відносно технологічних режимів – значеннями амплітуди, частоти і т.п. На даний час для виміру амплітудно-частотних характеристик коливань використовують різноманітні датчики: енкодери кутових переміщень, резистори, дрові тензорезистори, п'єзоелектричні претворювачі та багато інших, які за певними схемами підключаються до персональних комп'ютерів.

Для можливості фіксації вібраційних коливань за допомогою кутових переміщень було запропоновано схему установки, показану на рис. 1. Вібраційний обертальний барабанний млин встановлюється з одного боку на шарнірі 5, а з іншого – на пружини 4, що дає можливість здійснювати обертальні коливання. Дана схема дозволяє вирішити задачу вимірювання амплітуди і частоти вібрації із наступними реєстрацією, обробкою і збереженням цієї інформації на ПЕОМ.

Мета роботи – розробка конструкції пристрою для вимірювання вібраційних коливань вібраційно-обертального модуля та експериментального обґрунтування його працездатності і достовірності отриманих результатів.

Обговорення результатів експерименту. Згідно з даними праці [2] для виконання вищевказаної задачі першопочатково було вирішено використати датчик (енкодер) фотоелектричний перетворювач кутових переміщень BE178A (рис. 2).

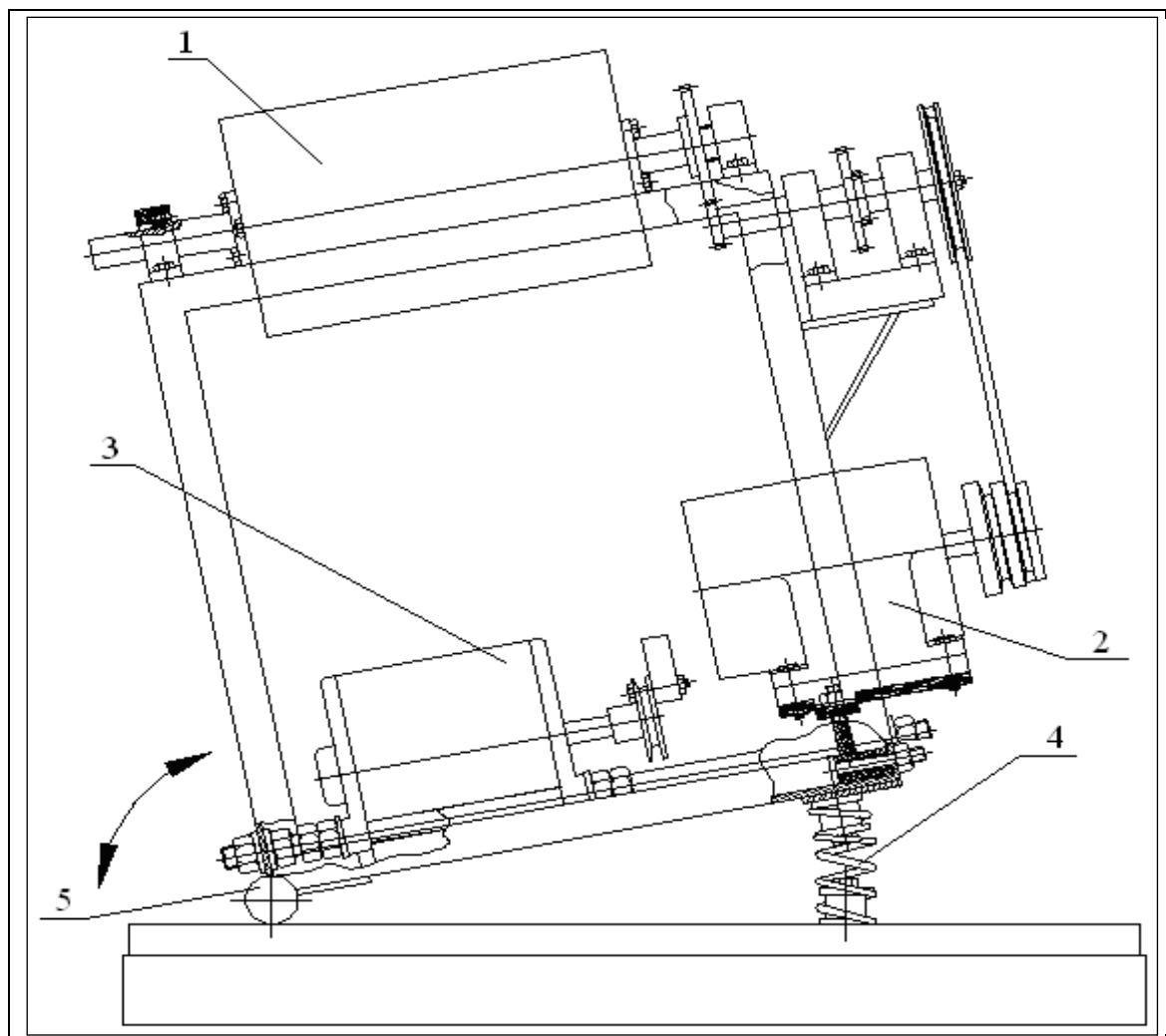


Рисунок 1. Схема дослідної установки: 1 – барабан, 2 – електродвигун, 3 – віброзбудник, 4 – пружини, 5 - шарнір.



Рисунок 2. Датчик фотоелектричний перетворювач кутових переміщень VE178A.

Вищевказаний датчик працює від живлення напругою 15 В та видає імпульсний сигнал із частотою 1024 сигнали за один оберт шківів даного

енкодера. Для поєднання перетворювача кутових переміщень із ПЕОМ необхідно було підключити його через дільник частоти сигналу і стабілізатор напруги до лічильника імпульсів, а усю цю систему до плати АЦП (аналогово-цифровий перетворювач), а потім уже, через аналогово-цифровий перетворювач до комп'ютера. Для реєстрації і обробки даних було запропоновано програму-осцилограф.

Для можливості фіксації вібраційних коливань за допомогою кутових переміщень було запропоновано схему установки, показану на рис. 1. Вібраційний обертальний барабанний млин встановлюється з одного боку на шарніри, а з іншого – на пружини, що дає можливість здійснювати обертальні коливання.

Шків датчика фотоелектричного перетворювача кутових переміщень BE178A кріпиться до шарніра, таким чином, щоб відбувалася передача крутного моменту шарніра – енкодеру, а також так, щоб вісь обертання вищезгаданого шків лежала на осі обертання шарніра.

Основним недоліком даного методу була його висока вартість, оскільки сам датчик коштує 500-800 грн., лічильник імпульсів – 600-2000 грн., а плата АЦП – 1000-3000 грн.

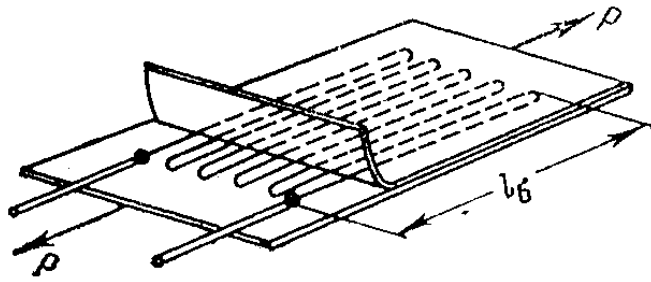


Рисунок 3. Резистор-валкодер (енкодер регулятора гучності).

Переглянувши матеріали [3], варіант із датчиком кутових переміщень було відкинуто і запропоновано використати як датчик резистор-валкодер (рис. 3) із наступним підключенням через USB-порт комп'ютера. Незважаючи на низьку вартість резистора і простоту підключення, даний спосіб також було визнано невдалим, оскільки не було необхідного програмного забезпечення, а написання програми займає багато часу.

Найбільш поширеним методом вимірювання різних фізико-механічних характеристик, в тому числі і параметрів вібрації, є використання різного роду тензодатчиків резистивної дії та п'єзоелектричних елементів [4]. Тому запропоновано, як датчик для вимірювання параметрів вібраційних коливань, використати перетворювачі механічних величин у електричні резистивної дії.

Найбільш вдалимими із усього переліку були дротові тензорезистори і п'єзоелектричні перетворювачі (рис. 4).



а)



б)

Рисунок 4. Перетворювачі механічних величин у електричні резистивної дії: а) дротовий тензорезистор, б) п'єзоелектричний перетворювач.

Обидва, вищезгадані, перетворювачі працюють на розтяг/стиск і згин/кручення, тобто при найменшій зміні їхньої форми вони реагують, посилаючи сигнал. Дротовий тензорезистор працює за рахунок зміни опору тонкої дротової решітки під час зміни форми енкодера, а п'єзоелектричний перетворювач – за рахунок того, що нанесений на датчик кварцовий монокристал під час зміни форми утворює електричний заряд – так званий п'єзоелектричний ефект, що був відкритий професором П.Кюрі у 1880 році [5]. Оскільки дані перетворювачі працюють завдяки зміні форми, то було вирішено здійснити схему підключення датчика до дослідної установки, показану на рис. 5.



Рисунок 5. Балка, що працює на згин під час коливального руху установки.

До рами барабанного млина кріпиться балка, таким чином, щоб під час коливань рами один кінець коливався, а інший залишався нерухомим, тоді буде забезпечуватися згин балки, а разом із нею датчика, приклеєного у центрі балки.

Під час вивчення вибраних перетворювачів було з'ясовано наступне [4].

- До недоліків напівпровідникових тензорезисторів слід віднести їх малі механічну міцність і гнучкість (в даний час ведуться роботи зі створення гнучких плівкових тензорезисторів).

- Велику тензочутливість цих тензорезисторів реалізувати виявляється досить складно через нелінійну характеристику, високу чутливість до впливу зовнішніх умов (температури, освітлення і т.д.) і значну різницю характеристик від зразка до зразка.

- Кварц п'єзоелемента має надзвичайно високу стабільність. Зміна п'єзомодуля від температури (аж до 250-300 °С) дуже мала і не перевищує – $10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Лише при температурі вище 300 °С він зменшується значно різкіше, а при температурі 573 – 576 °С п'єзоефект зникає.

- Іншою перевагою кварцу є лінійність його характеристики при навантаженні аж до руйнування.

- Унаслідок великої жорсткості перетворювачі мають високу власну частоту (до 50 кГц і вище) і можуть бути використані для вимірювання динамічних сил. Однак у той час як за допомогою магнітопружних перетворювачів можуть бути виміряні і статичні сили, п'єзоелектричні перетворювачі практично використовуються тільки для змінних сил з мінімальною частотою першої гармоніки 5-10 Гц.

- Перевагою таких перетворювачів є підвищена чутливість. На жаль, механічно вони недостатньо міцні і це є їхнім недоліком. Для збільшення міцності в останніх конструкціях датчиків п'єзокерамічні шайби наклеюють на жорсткі металеві основи. В цьому випадку величина прогину визначається товщиною основи і інерційною масою.

Зважаючи на вищевказане було вибрано п'єзоелектричний перетворювач як датчик для знімання показників вібраційних коливань. П'єзоелектричні прилади отримали широке поширення в електроакустичній та вимірювальній техніці за останній час. П'єзоелектричний телефон, п'єзоелектричний мікрофон, п'єзоелектричний динамік, п'єзоелектричний адаптер міцно увійшли в практику електроакустики. У всіх цих приладах використовується п'єзоелектричний ефект кристалів.

Необхідною умовою правильної роботи п'єзоелемента є достатня механічна міцність шару клею. Модуль пружності клею повинен бути більше модуля пружності самого кристалу або дорівнювати йому, бо в противному випадку чутливість п'єзоелемента сильно зменшиться. Для зменшення похибки отриманих даних було використано мостову схему з'єднання

кількох датчиків при підключенні їх до звукової плати ПЕОМ, а наклеювання здійснювалося по обидві сторони балки, як показано на рис. 6.



Рисунок 6. Зображення наклеювання п'єзoeлементів на балку та підключення датчика до звукової плати комп'ютера.

Після складання датчика і під'єднання його до комп'ютера виникло питання тарування перетворювача. Для виконання поставленої задачі балку закріпили аналогічно, як на дослідній установці – один кінець нерухомо, а інший із можливістю коливальних рухів, які обмежувалися певними розмірами (рис. 7).



а)



б)

Рисунок 7. Тарування датчика для вимірювання вібраційних коливань: а) закріплення балки під час дослідів; б) допоміжний інструмент – щуп та штангенциркуль.

Величину коливальних рухів вільного кінця балки контролювали за допомогою щупа. До балки прикладається сила, що створює коливання. Покази датчика фіксуються за допомогою програми. Таким чином проводили 15-20 замірів із певним кроком у висхідному порядку зміни розмірів коливального руху та 15-20 – у спадаючому порядку. Знаючи розміри відхилень і покази датчика будували графік і з нього визначали залежність між розміром відхилення балки та напругою, яку фіксує програма від п'єзоелектричного перетворювача.

Для фіксації, збереження і обробки показів датчика використовували програму російських розробників PowerGraph (рис. 8), при вході у програму можна вибирати параметри, звідки буде поступати сигнал, у нашому випадку – це звукова плата ПК. Даний програмний продукт дозволяє у режимі реального часу, як осцилограф, спостерігати за показами датчика, а також зберігати отримані дані, проводити їх обробку і обрахунки над ними.

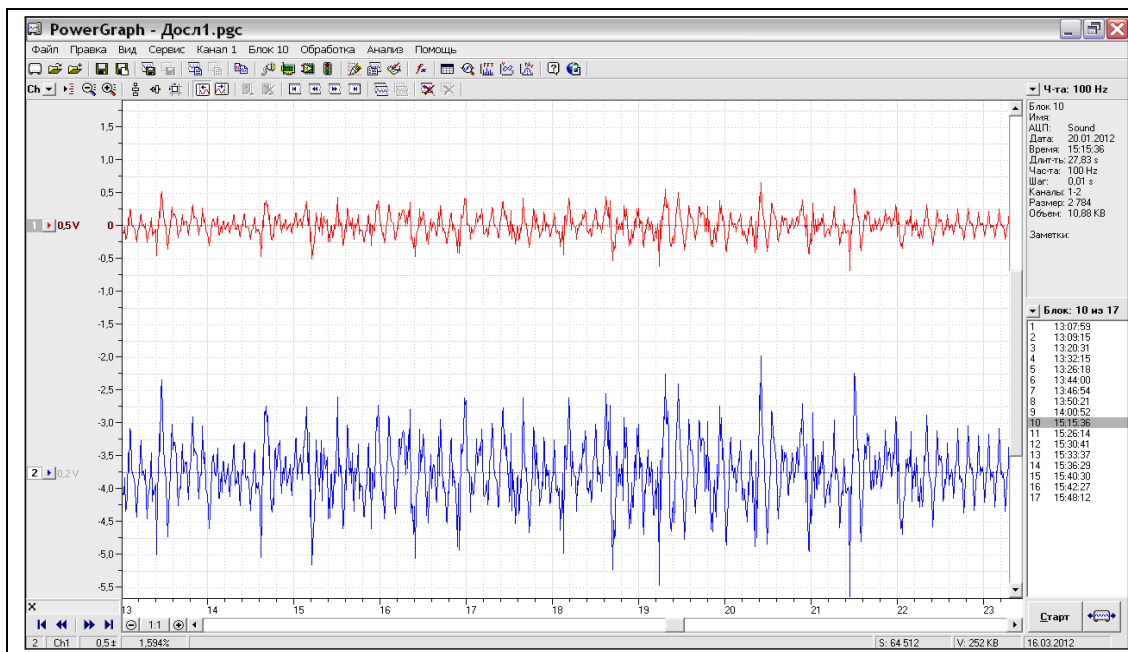


Рисунок 8. Вікно програмного продукту для фіксації, збереження та обробки сигналу, що поступає від датчика – PowerGraph.

Висновки. Отже у роботі розглянуто конструкцію і принцип роботи пристрою для вимірювання коливань вібраційно-обертального модуля. Експериментально обґрунтовано його працездатність і достовірність отриманих результатів. У подальшому заплановано проведення експериментів при різноманітних критичних умовах експлуатації пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рудь В.Д. Експериментальний модуль для переробки вихідної сировини із відходів машинобудівного виробництва / В.Д. Рудь, В.В. Фурс // Технологічні комплекси.- 2011.-№ 1(3).- С. 69-74.

2. <http://ve178.narod.ru/>.
3. <http://easyelectronics.ru/enkoder-iz-peremennogo-rezistora.html>.
4. Логинов В. Н. Электрические измерения механических величин / В.Н. Логинов.-М.: Энергия, 1976.-104 с.
5. <http://uk.wikipedia.org/wiki/П'єзоефект>.

Фурс В.В., Рудь В.Д., Сычук В.А.

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Разработана конструкция устройства для измерения вибрационных колебаний вибрационно-вращательного модуля и экспериментального обоснования его работоспособности и достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: виброколебания, вибромодуль, пьезоэлемент, тензодатчик, тензорезистор, энкодер, усилитель.

Furs W.W., Rud W.D., Sychuk W.A.

**METHOD FOR DETERMINING THE VIBRATION PARAMETERS OF
EXPERIMENTAL MODULE FOR GRINDING POWDER MATERIALS**

Design development device for measuring vibration oscillations vibration-rotation module and experimental grounding of its efficiency and reliability of the received results.

Key words: vibrating oscillations, vibration module, piezo-sensor, strain-sensor, strain-gauge, encoder, amplifier.

федоров

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.31

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Врублевский Р.Е., аспирант, начальник редакционно-издательского
отдела,
Херсонский государственный морской институт
printdep@kmi.kherson.ua

В статье описана структура интеллектуальной системы управления магнитно-импульсной обработкой (МИО) стальных изделий. Предложена модель интеллектуальной системы управления выбора оптимальных режимов МИО.

Ключевые слова: интеллектуальная система, нейросети, математическая модель.

Введение. В настоящее время является актуальной проблема повышения ресурса узлов механизмов и машин, которые находятся под воздействием сил трения (узлы трения, кинематические пары, и т.д.). Решение этой задачи требует разработки экономически выгодных и технологически простых технологий упрочнения таких узлов механизмов. Одной из наиболее перспективных технологий решения указанной проблемы является магнитно-импульсная обработка (МИО), представляющая собой

последовательность циклически повторяющихся процессов воздействия на изделие электромагнитных полей с изменяемой направленностью и напряженностью. [1; 2; 3]

Суть процесса МИО состоит в обработке изделий за счет электромагнитной индукции в неподвижных проводниках или в ускоренно-движущихся в магнитном поле соленоида. В деталях возникает вихревое электрическое поле, величина которого пропорциональна индукции внешнего поля, но характер перераспределения силовых линий магнитного потока в значительной степени зависит от магнитных характеристик изделия. [5]

Актуальность. Важным аспектом эффективного практического использования технологии МИО становится определение необходимого для конкретного изделия набора управляющих параметров обработки, к которым относятся: магнитная энергия W_M ; напряженность магнитного поля H ; магнитный поток Φ ; время импульса τ ; число импульсов в серии n ; интервалы повторения импульсов t , количество серий импульсов N . Сочетание воздействия этих параметров определяет вид влияния магнитного поля на деталь, а следовательно улучшение ее физико-механических характеристик. Определение требуемых значений параметров обработки требует решения многокритериальной оптимизационной задачи, которое дополнительно осложняется существенным влиянием на процессы МИО геометрической формы изделий и физических свойств материалов, из которых изготовлена деталь.

Основная часть. В этой связи перспективным направлением является создание интеллектуальной системы управления процессом МИО.

Для создания модели интеллектуальной системы управления процесса МИО и расчета оптимальных параметров магнитного упрочнения применяется модель стохастического самобаланса энергии в веществе [2], при которой изделие не претерпевает перемагничивания. Величина предельного намагничивания материала при магнитоупрочнении не превышает 0,3...0,8 величины магнитного насыщения конкретной стали.

Для построения модели применим условие энергетического завершения микрогистерезисных процессов в стали [3,5]. Кроме того, при выборе исходных данных принимаем следующее:

1) при МИО импульсное поглощение энергии веществом «работает» по схеме синфазных затухающих колебаний:

$$W \rightarrow W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3 \dots \rightarrow W_n;$$

$$W_n = \text{const}; \Delta W_i = 0$$

где $W_1, W_2, \dots, W_n$ - порции электромагнитной энергии, поглощенные заготовкой за каждый импульс 1, 2, 3...n.

В связи с тем, что процесс улучшения свойств материала зависит от магнитной индукции $B_1, B_2, B_3...B$, то функция $\psi = \varphi(n)$ имеет конечную величину ($W' = \text{const},$);

2) обратная связь при стабилизации механических свойств изделия вследствие намагничивания определяется автоматически после первого импульса;

$\tau \leq 1$ с; $W_1 = W_{\text{max}}$ – что определяется постановкой задачи, требованием технологии и решается при помощи конструкции соленоида;

3) декремент затухания импульсов зависит от массы заготовки (M) и магнитных свойств стали (μ с);

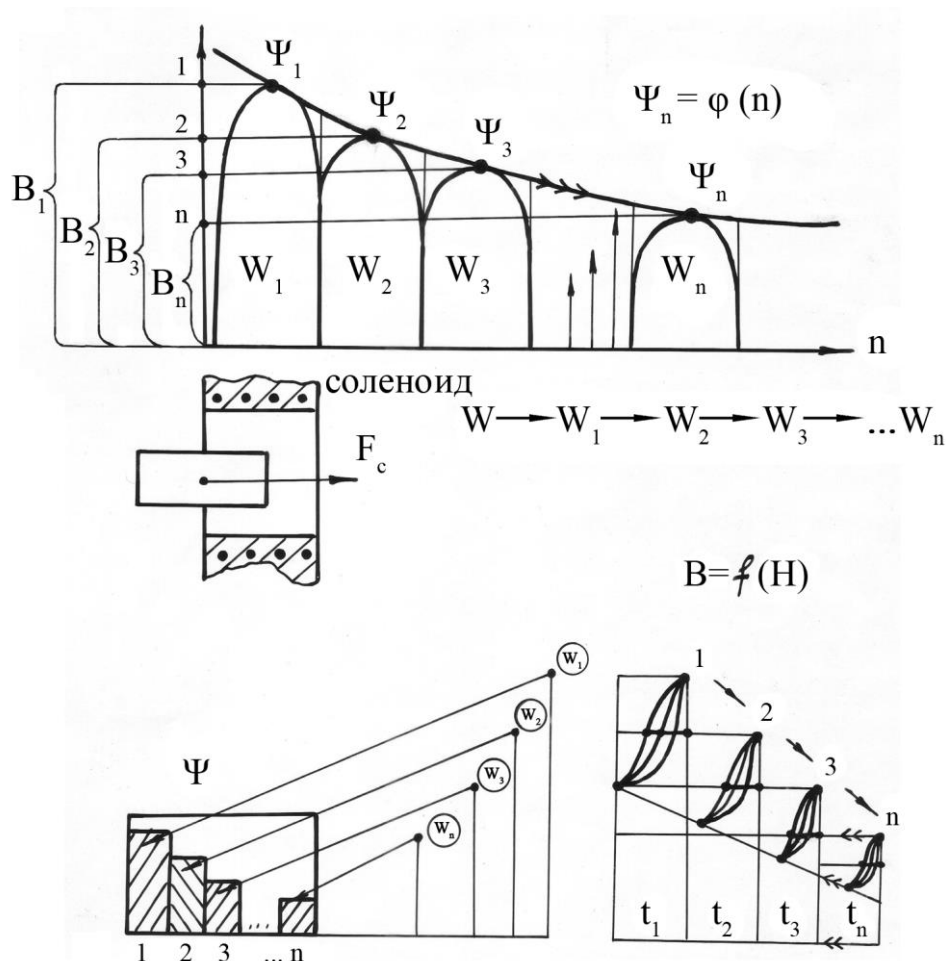
4) после МИО микрогистерезисные процессы в стали завершаются в течение

$$10...12 \text{ часов, т.е. } \nu' = \frac{W}{M} \approx 0;$$

5) избыточная энергия в изделии контролируется по скорости изменения магнитного сопротивления, а ее устранение считается оптимальным при достижении постоянной величины $\Delta\mu / V\mu = \text{const}$ [6];

6) потери магнитной энергии в соленоиде не превышают 50 % [4];

Базис модели понятен из рис. 1, из которого следует, что выбор модели и оптимизация режима МИО возможна только при тензорной оценке изменения свойств заготовки.



n_1 , W_1 , τ_1 – контроль маси магнітних свойств деталі;
при $\Delta W = \text{const}$ обробка припиняється

Рисунок 1 – Схема «компенсації» напружень і мікростерезисних процесів

Складність процесів МІО, протікаючих в металічних изделиях, їх залежність, як геометричної форми изделия, його маси, так і від фізических параметрів структури матеріала конкретного образця потребує розробки інтелектуальних систем управління МІО, забезпечуючих адаптивну настройку параметрів обробки конкретного изделия з метою збереження його характеристик.

Проведений аналіз процесу МІО дозволяє визначити набір управляємих параметрів і структуру інтелектуальної системи управління МІО металічних изделий.

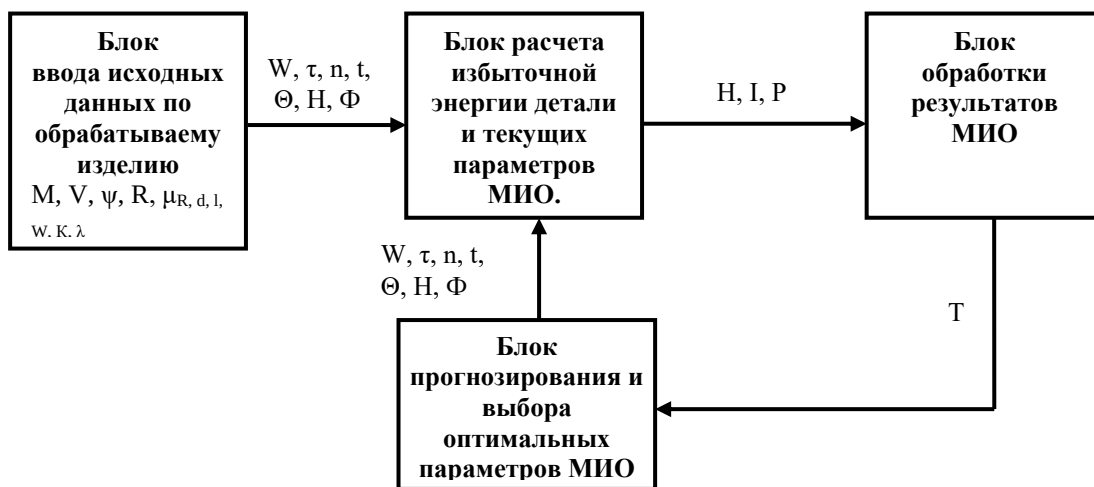


Рисунок 2 – Структура интеллектуальной системы управления процессом МІО

1. Блок ввода предварительных данных обработки.

На начальном этапе работы в систему вводятся исходные данные процесса МІО: масса заготовки (детали), объем V , концентрации напряжений ψ , определяемые по электрическому R и магнитному сопротивлению μ_R , диаметр d и длина l образца, величина электромагнитной

енергии, поглощаемая перлитной сталью W за время полного цикла намагничивания поправочный коэффициент (корректировка) K , который учитывает использование магнитного потока ($\Phi \leq 2000$ Вб), взаимоиндукцию и тензорные свойства материала λ .

2. Блок определения избыточной энергии детали.

Определяет избыточную энергию и переводит величины на математическую модель по «расходу» магнитной энергии на компенсацию избыточных напряжений в стали. По значению максимальной энергии и массе заготовки M определяются скорости диспергирования энергии по массе D_m и по объему D_v . При этом исходим из предпосылок, что при $D_m \sim D_v$, получаем оптимальную стойкость изделия ($T \rightarrow T_{\text{опт}}$) и исходные значения напряженности H , силы тока в соленоиде I и мощности P для первого цикла упрочнения.

3. Блок обработка результатов МИО. Осуществляется оценка достигнутых в процессе МИО параметров обработки (стойкость изделия).

4. Блок прогнозирования и выбора оптимальных параметров режимов МИО. Блок состоит из двух модулей: модуль выбора оптимальных параметров режимов МИО, и модуль прогнозирования результатов МИО. В первом модуле использован эволюционный алгоритм, решающий многокритериальную задачу выбора оптимальных параметров МИО. Второй модуль использует нейросетевую технологию для прогнозирования начальных параметров обработки изделия на основе имеющихся данных по проводившейся ранее обработке подобных изделий.

Интеллектуальная система имеет единую базу данных по режимам обработки для изделий различной геометрической формы и материалов, что позволяет осуществлять выбор наиболее эффективных режимов обработки для новых образцов произвольной формы.

В настоящее время изготовлен опытный образец установки «Магнитрон» и программный продукт для расчета оптимальных режимов МИО. Их использование позволит сократить время испытаний для обработки образцов и улучшить качество полученных результатов.

Выводы. Использование предложенной интеллектуальной системы управления процессом МИО позволяет выбрать оптимальные режимы магнитоупрочнения для сложнопрофильных изделий с учетом разброса физических характеристик материала конкретного образца.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дистлер Г.И., Каневский В.Н. О влиянии слабого импульсного магнитного поля на реальную структуру твердых тел. – М.: АН СССР, 1983. – Т.268. – № 3. – С. 591–593.

2. Магнитные материалы и элементы : справочник. – М.: Высшая школа, 1976. – 335 с.
3. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение изделий (Теория и практика) / Малыгин Б.В., Бень А.П. – Херсон: Издательство Херсонского государственного морского института, 2009. – 352 с.: Ил.
4. Постников С.Н. и др. Некоторые физические аспекты магнитной обработки инструмента : труды Горьковского политехн. ин-та. – 1976. – № 4. – С. 27–35.
5. Пустовойт В.Н. Алгоритмизация и программа расчета параметров магнитного упрочнения. – Минск: ФТИ АН БССР, 1990. – 115 с.
6. Пустовойт В.Н., Блиновский В.А. О методе исследования напряженного микросостояния после термической обработки в магнитном поле. – М.: Технические науки, 1975. – С. 68–70.
7. V.P. Bulatov. THE EFFECT OF MAGNETIC PULSE TREATMENT ON THE TRIBOENGINEERING FEATURES OF THE PLASMA TITANIUM NITRIDE COATING / V.P. Bulatov, Yu.P. Kozыrev, V.G. Kuznetsov, A.I. Oreshenkov, S.I. Rybnikov, E.B. Sedakova // Трение и износ.– 2000. – Т.2,– С. 640–643.
8. Люгер, Джордж, Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864с. : ил. – Парал. тит. англ.
9. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: Учебное пособие / Под ред. д.э.н., проф. Н.П. Тихомирова. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 496 с.

Врублевський Р.Є. МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЮ ОБРОБКОЮ.. У статті описана структура інтелектуальної системи управління магнітно-імпульсною обробкою (МІО) сталевих виробів. Запропоновано модель інтелектуальної системи управління вибору оптимальних режимів МІО.

Vrublevsky R.E. MODEL OF INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT MAGNETIC-PULSE RENDERED. The article describes the structure of intellectual control systems magnetic-pulse processing (MPT) of steel products. The model smart choice of the optimal modes MPT.

Врублевский Роман Евгеньевич, аспирант, начальник редакционно-издательского отдела.

Научные интересы: информационные системы, системы поддержки принятия решений, магнитно-импульсная обработка изделий.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ЕЛЕКТРОННІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ АВІАЦІЙНИМИ ГАЗОТУРБІННИМИ ДВИГУНАМИ

Єнчев С.В., к.т.н., доцент

Товкач С.С., аспірант

Національний авіаційний університет, Україна

Вступ.

Нелінійність характеристик газотурбінних двигунів (ГТД) як об'єкта керування [1] потребує застосування більш складних законів керування для отримання оптимальних значень вихідних параметрів при зміні великого числа зовнішніх дій. Таку можливість надають електронні (цифрові) систем керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постановка задачі дослідження.

Основною вимогою, що пред'являється до електронних систем автоматичного керування ГТД, є вимога високої надійності і працездатності елементів системи в широкому діапазоні зміни експлуатаційних умов. Важливість проблеми забезпечення надійності систем автоматичного керування ГТД пояснюється збільшеним впливом відмов системи керування на функціонування силової установки. Так, аналіз статистичних даних, проведених зарубіжними фірмами [1], показує, що приблизно 30% аварій літаків з ГТД відбувається з причини відмов систем керування.

Забезпечення необхідного рівня надійності електронних систем автоматичного керування ГТД повинно бути на всіх етапах від початку проектування до введення в експлуатацію. Поряд з відомими методами підвищення надійності – зменшенням інтенсивності відмов, безпосереднім резервуванням основних електронних блоків і використанням резервною гідромеханічною системою автоматичного керування – все більшого поширення набувають алгоритмічні методи підвищення надійності [1]. Подібні методи передбачають синтез алгоритму керування, що забезпечує нормальне функціонування системи не тільки у справному стані, але і при відмові ряду підсистем.

Інший аспект проблеми забезпечення надійності електронних систем автоматичного керування ГТД пов'язаний з такою організацією процесу керування, при якій відмови окремих підсистем не будуть призводити до виходу з ладу всієї системи. Подібна властивість може бути досягнута за рахунок правильного розподілу функцій між підсистемами та забезпечення умов, за яких підсистеми керування виявляться здатними брати на себе функції підсистем, які відмовили.

Закони керування системи керування двигунами ПС-90А.

Прикладом використання електронних систем автоматичного керування для двигунів цивільної авіації є система керування двигунами ПС-90А, призначеними для літаків Ту-204 і Іл-96-300. Електронна система автоматичного керування цими двигунами включає цифровий електронний регулятор з двома мікропроцесорами – бортовими обчислювальними машинами ЕОМ-90. Для додаткового резервування в систему керування включений гідромеханічний регулятор [2].

Електронний регулятор цього двигуна РЕД-90 забезпечує підтримку тяги двигуна на постійному рівні в досить широкому діапазоні зміни температури і тиску повітря на вході в двигун при роботі двигуна на максимальному режимі. При цьому частота обертання ротора ВТ n_{BT} , виміряна в оборотах на хвилину, що є керованим параметром двигуна, змінюється у відповідності із наступною залежністю:

$$n_{BT} = f(\alpha_{PKD}, T_n^{\dot{c}}, p_n^{\dot{c}}, C_{відб})$$

де n_{BT} – частота обертання ротора ВТ; α_{PKD} – кутове положення РКД; $T_n^{\dot{c}}$ – повна температура повітря на вході в двигун; $p_n^{\dot{c}}$ – повний тиск повітря на вході в двигун; $C_{відб}$ – коефіцієнт, залежний від кількості повітря, що відбирається від компресора на потреби літака.

Електронний регулятор РЕД-90 формує керуючі впливи на двигун при його роботі на перехідних режимах при запуску двигуна по залежності

$$\dot{n}_{BT} / p_n^{\dot{c}} = f(n_{BT});$$

при прийомистості:

$$\dot{n}_{BT} = f(\alpha_{PKD}, T_n^{\dot{c}}, n_{BTнав})$$

де $\dot{n}_{BT}$ – прискорення ротора компресора ВТ; $n_{BTнав}$ – наведена частота обертання ротора [3].

Крім того, електронна система автоматичного керування забезпечує формування команд на спрацювання ряду обмежувачів подачі палива, на керування положенням лопаток регулюючих направляючих апаратів (НА) компресора ВТ і заслонок перепуску повітря за підпірними ступенями, а також на видачу ряду діагностичних повідомлень типу: «Високі обороти вентилятора», «Помпаж», «Небезпечна температура» і т.д. Загальна кількість аналогових і дискретних керуючих впливів і сигналів, що формуються електронним багатопроцесорним регулятором РЕД-90, становить близько двадцяти.

Дослідження інформаційної структури системи САК-90.

Основними структурними елементами системи автоматичного керування двигуном ПС-90А (рис.1) є:

- об'єкт керування ТРДД;
- датчики внутрішньодвигунових сигналів Д1
- датчики позадвигунових сигналів (сигналів, що йдуть із літака) Д2;
- аналого-цифрові перетворювачі сигналів;

- електронний регулятор РЕД-90 двоканальний з двома БЦОМ ЕОМ-90;
- цифро-аналогові перетворювачі сигналів;
- група електрогідравлічних перетворювачів сигналів ПС-7;
- паливний насос-регулятор НР-90 з ВП, виконаним у вигляді ДГ;
- механізм керування регульованими НА компресора;
- механізм керування заслонками перепуску повітря за підпорними ступенями компресора з відповідними ВП.

Як видно зі схеми, САК-90 реалізує принцип керування по відхиленню керованих параметрів, в ній регулятори включені по замкнутій схемі по відношенню до об'єкта керування. У відповідності з цим принципом керування керовані параметри робочого процесу, що відбувається в двигуні, вимірюються, порівнюються із заданими їх значеннями, і при наявності неузгодженості між виміряними і заданими значеннями цих параметрів система керування формує керуючий вплив, який передається на об'єкт керування за допомогою відповідного ВП [3].

Група датчиків внутрішньодвигунних параметрів Д1 забезпечує вимірювання таких параметрів роботи двигуна, як частоти обертання ротора низького тиску $n_{нт}$ і ротора ВТ $n_{вт}$ тиску повітря на вході в двигун P_n^{ϵ} і за компресором P_k^{ϵ} , температури лопаток турбіни T_l і газу за турбіною T_T^{ϵ} і ряду інших параметрів двигуна. Група датчиків параметрів літака Д2 забезпечує вимірювання ряду параметрів режиму польоту – числа Маха M_n , температури навколишнього повітря T_n , параметрів, що характеризують етап польоту літака (режим зльоту або режим посадки, наприклад, по куту відхилення закрилок α_z).

Відмітною особливістю функціонування замкнутих електронних систем автоматичного керування з БЦОМ від аналогових є те, що в цифрових системах автоматичного керування реалізуються наступні нові операції:

- перетворення аналогових сигналів, що надходять від датчиків, в дискретні (цифрові) сигнали;
- обчислення по заданим законам керування значень керованих і обмежуваних параметрів, відповідних поточним умовам польоту;
- обчислення значень неузгодженості між виміряними і розрахованими значеннями керованих і обмежуваних параметрів;
- обчислення за значеннями неузгодженості параметрів у відповідності до заданого алгоритму регулювання значень керуючих впливів;
- перетворення цифрових значень керуючих впливів в аналогові електричні сигнали;
- перетворення аналогових електричних сигналів у гідравлічні сигнали.

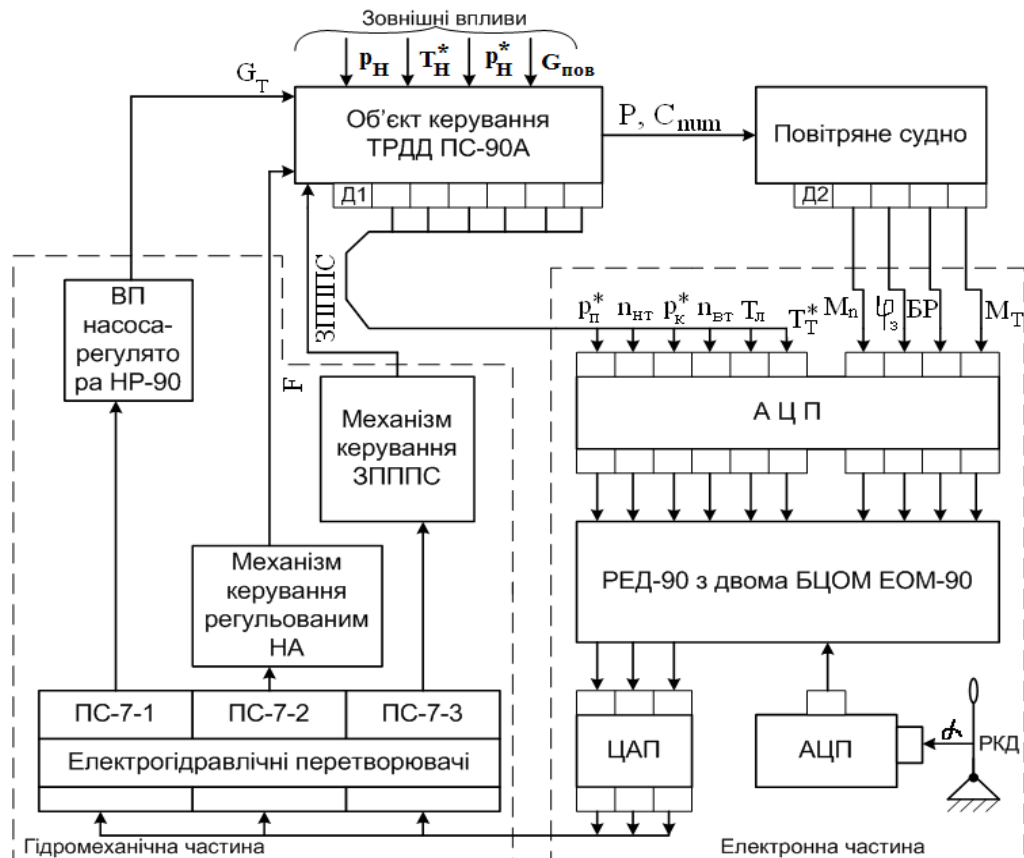


Рис. 1. Узагальнена структурна схема електронної системи автоматичного керування двигуном ПС-90А: АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

Аналогово-цифрове та цифро-аналогове перетворення сигналів у БЦОМ.

Для виконання кожної з перерахованих операцій в електронній системі автоматичного керування передбачено відповідний пристрій. Так, для перетворення аналогових сигналів, що надходять від датчиків двигуна і літака, використовуються аналого-цифрові перетворювачі, в яких проводиться квантування аналогових сигналів за часом і за рівнем, їх перетворення в цифровий (наприклад, двійковий) код, який може бути сприйнятий БЦОМ.

Принципова схема перетворення сигналів в аналого-цифрових перетворювачах показана на рис.2, де аналогова вхідна величина A перетворюється в еквівалентний цифровий код D . Цифровий код D частіше за все є двійковим N -розрядним числовим сигналом, пов'язаним з величиною A наступним відношенням:

$$D = A(B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N}),$$

де $B_1, B_2, B_3 \dots B_N$ – розрядні коефіцієнти, що приймають значення 1 або 0



Рис.2. Вхідні і вихідні сигнали аналого-цифрового перетворювача (АЦП)

Цифрові сигнали D від аналого-цифрових перетворювачів надходять далі в електронний регулятор РЕД-90.

Для підвищення надійності системи автоматичного керування в РЕД-90 застосовані дві БЦОМ, які працюють одночасно по одним і тим же алгоритмам. Кожна з БЦОМ обчислює програмні значення керованих або обмежуваних параметрів, порівнює їх з поточними значеннями цих параметрів, які надходять від аналого-цифрових перетворювачів, формує керуючий вплив для передачі на цифроаналогові перетворювачі. Але проходять до цифроаналогових перетворювачів керуючі впливи лише від одної БЦОМ, яка в даний момент часу пов'язана з робочим каналом електронного регулятора двигуна. У разі відмови цієї БЦОМ автоматично здійснюється підключення до робочого каналу електронного регулятора двигуна дублюючої БЦОМ. Якщо відбувається: відмова обох БЦОМ, то керування автоматично передається гідromеханічній системі автоматичного керування, що працює за більш простими алгоритмами керування.

В цифроаналогових перетворювачах здійснюється перетворення цифрового сигналу (коду) в електричні імпульси прямокутної форми із змінними значеннями напруги в імпульсі. Схема перетворення сигналів в цифроаналогових перетворювачах показана на рис.3. Цифроаналоговий перетворювач представляє собою пристрій, за допомогою якого формується вихідний аналоговий сигнал A при впливі на його входи цифрового коду і зразкового сигналу P , тобто $A = PD$.

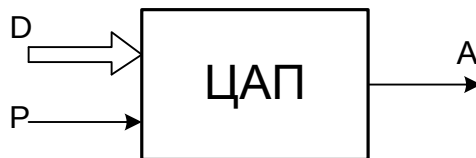


Рис.3. Вхідні і вихідні сигнали цифро-аналогового перетворювача (АЦП)

Так, як код D зазвичай є N -розрядне двійкове слово $(B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N})$, то вихідний сигнал A дорівнює:

$$A = P (B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N}),$$

де коефіцієнти $B_1, B_2, B_3 \dots B_N$ рівні 0 або 1 в залежності від необхідного значення A .

Для перетворення електричних імпульсів в гідравлічні сигнали, які тільки і можуть бути використані для керування положенням ДІ, що переміщається гідравлічним сервопоршнем, змінюючи подачу палива в двигун і є ВП в системі автоматичного керування, використовуються електрогідравлічні перетворювачі сигналів ПС-7.

Вхідним сигналом для зазначеного перетворювача є електричні сигнали змінної напруги. Зміна напруги відбувається як за знаком, так і за величиною, обумовлюючи зміну сили струму в обмотках перетворювача від -30 мкА до $+30$ мкА [4].

Висновок. Гідромеханічна система керування, що реалізує більш прості закони керування, не дозволяє повною мірою використовувати тягові характеристики двигуна. Внаслідок цього максимальна тяга двигуна ПС-90 при переході від основної (електронної) САК на резервну САК знижується із 160 до 130 кН [4].

Основним недоліком сучасних електронних систем автоматичного керування є їх невисока надійність. Але, в подальшому, по мірі накопичення досвіду експлуатації таких систем і модернізації елементної бази, надійність цих систем буде зростати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ефанов В. Н., Ефанова Т.С., Крымский В.Г. Электронные системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов: Учебное пособие / В.Н. Ефанов, Т.С. Ефанова, В.Г. Крымский. – Уфа.: УАИ, 2002. – 120 с.
2. Климентовский Ю.А. Системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов / Учебное пособие // Под ред. д.т.н. Митраховича М.М. – К.: КВІЩ, 2001. – 400 с.
3. Березлев В. Ф., Гвоздецкий І.І., Карпов Е.Н., Лаврухин С.Н. Системы автоматического управления ГТД. Ч.1: Учебное пособие / В.Ф. Березлев, І.І. Гвоздецкий, Е.Н. Карпов, С.Н. Лаврухин. – К.: КМУЦА, 2000. – 140 с.
4. Березлев В. Ф., Гвоздецкий І.І., Карпов Е.Н., Лаврухин С.Н. Системы автоматического управления ГТД. Ч.2: Учебное пособие / В.Ф. Березлев, І.І. Гвоздецкий, Е.Н. Карпов, С.Н. Лаврухин. – Киев: КИИГА, 1992. – 100 с.

С.В. Єнчев, С.С. Товкач

Дослідження структури та інформаційних потоків в електронних системах керування авіаційними газотурбінними двигунами

Розглянута структура електронних систем автоматичного керування авіаційними газотурбінними двигунами. Електронні системи керування можуть забезпечити реалізацію складних законів керування, враховуючи вплив великого числа зовнішніх збурюючих дій; здійснювати процеси перетворення аналогових вхідних сигналів в дискретні цифрові коди, а також зворотні перетворення дискретних вихідних сигналів в аналогові електричні сигнали.

С.В. Єнчев, С.С. Товкач

Исследование структуры и информационных потоков в электронных системах управления авиационными газотурбинными двигателями

Рассмотрена структура электронных систем автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями. Электронные системы управления могут обеспечить реализацию сложных законов управления, учитывая влияние большого числа внешних возмущающих воздействий; осуществлять процессы преобразования аналоговых входных сигналов в дискретные цифровые коды, а также обратные преобразования дискретных выходных сигналов в аналоговые электрические сигналы.

S. V. Enchev, S. S. Tovkach

Investigation of structure and information flow in electronic control systems of aviation gas turbine engines

Considered is the structure of automatic control systems of aviation gas turbine engines. Electronic control systems can ensure the realization of complex control laws, including the impact of a large number of external disturbing actions; to carry out the processes of converting analog input signals into discrete digital codes, and the reverse transformation of discrete output signals into analog electrical signals.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В АЕРОПОРТАХ

Запорожець О.І., Синило К.В.

*Національний авіаційний університет
м. Київ*

В статті наведено концептуальні положення і практичне значення застосування ГІС-технологій до забезпечення безпеки і природоохоронної діяльності в аеропортах. На прикладі задачі оцінки локального забруднення атмосферного повітря в районі аеропорту наведені структури баз даних, алгоритми обчислення та елементи шарів представлення картографічної інформації формування поля концентрації забруднюючих речовин, що викидаються основними джерелами аеропорту.

Ключові слова: аеропорт, безпека, природоохоронна діяльність, карти екологічні, ГІС-технології, бази даних, екологічні карти, інвентаризація викидів

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки в аеропортах було істотно переглянute в останні роки завдяки запровадженню геоінформаційних систем (ГІС). З'явилися ГІС-розробки управління природоохоронною діяльністю, безпекою польотів, авіаційною безпекою, кризовими ситуаціям, тощо. ГІС надають потужні аналітичні можливості для розуміння уразливості існуючих об'єктів, а також шляхи інтеграції розрізнених засобів інформаційної безпеки в єдине середовище. Наприклад, адміністрації аеропортів вже усвідомили, що ГІС є невід'ємною частиною добре продуманої інфраструктури забезпечення безпеки по периметру – від керування терміналом контролю і управління доступом.

Корпоративна ГІС об'єднує потужність баз даних і розвинуті можливості візуалізації на основі електронних карт. Важливою особливістю ГІС в таких застосуваннях є те, що вони всі використовують єдину програмну і інформаційну основу та відносно мало залежать від апаратних засобів. Причому на різних видах транспорту є свої специфічні задачі, які можуть ефективно вирішуватися за допомогою ГІС. Ось тільки деякі з них для аеропортів: управління майном аеропортів; управління територією; вибір місць і будівництво нових об'єктів інфраструктури аеропорту; моніторинг і планування повітряних коридорів; оцінка і планування пропускної спроможності; оптимізація паркування літаків; екологічна оцінка; моделювання і моніторинг шумового забруднення; управління орендними площами; інформування пасажирів про плани розвитку аеропорту і найближчого його оточення.

Мета дослідження

Основні результати досліджень. Аеропорт використовує ГІС-застосування для відображення впливу його об'єктів на довкілля: концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, поверхневих

водах і ґрунті; рівнів шумового або електромагнітного забруднення; ризиків третьої сторони; утворення і розміщення відходів; розміщення та споживання паливних і енергетичних ресурсів, т.д.

ГІС-карти складають основу документів, потрібних для фінансування робіт по захисту від шуму та інших екологічних чинників населення, що проживає поблизу цього аеропорту, де рівень шуму (концентрацій забруднення повітря, ризиків третьої сторони та інших чинників) перевищує встановлені стандартами норми. Крім того, ГІС використовується при плануванні розширення аеропорту, а саме для аналізу можливої дії екологічних чинників на населені пункти при різних варіантах розміщення злітно-посадочних смуг. Крім накладання на карту ізоліній (контурів) шуму (інших чинників), ГІС має необмежений потенціал для широкого використання в службах наземного і повітряного забезпечення: підтримка нормативно-законодавчої бази діяльності аеропорту; ідентифікація і документування подій шуму (концентрацій забруднення повітря, ризику третьої сторони), пов'язаних з повітряними суднами (ПС); виявлення ПС, які порушують правила польотів (коридорів уздовж маршрутів польоту); створення і опублікування звітів про події шуму і інших чинників впливу на оточуюче середовище; зниження (мінімізація) впливу шуму, створюваного ПС в поточні і прогнозні періоди; ефективна обробка скарг населення на вплив шуму, з прив'язкою до реальної статистики, виявлення типу і місця ПС; створення *енвайроментального іміджу* аеропорту; прогноз і оптимізація графіків руху ПС з інтеграцією даних підсистем ГІС з розрахунковими моделями. Таким чином підсистема «ГІС-шум» є очевидним рішенням в підготовці документів «Програми зменшення впливу шуму літаків в околиці аеропорту. Щоб визначити, які будинки і землеволодіння потрапляють в області з рівнями шуму понад нормативні значення, наприклад 65 дБА еквівалентного рівня шуму в денний період доби, аеропорт повинен створити відповідну базу даних. ГІС створює карти окремих земельних ділянок, де відображаються дані про використання земель, адреси, вулиці, магістралі, юридичні межі, зонування і загальні планові позначення, а також супутня інформація.

«ГІС-забруднення атмосферного повітря» – це, в першу чергу, моделювання емісії, розповсюдження і впливів забруднюючих речовин (ЗР) від точкових, лінійних та просторових джерел в атмосферному повітрі, оцінка найближчих та майбутніх наслідків екстремальних ситуацій забруднення. Сучасні системи дозволяють розглядати сценарії, які включають джерела емісії ЗР [5]: повітряні судна до 500 типів літаків і вертольотів; дорожній рух - понад 70000 дорожніх ділянок (1500 джерел на кожній ділянці); індустриальні джерела до 1500 точкових, лінійних, площинних і об'ємних джерел (сховища паливно-мастильних матеріалів, бойлерні або котельні, тренувальні майданчики протипожежного захисту, тощо); агреговані джерела (сіткові джерела) – до 3000 вузлів розрахункової

сітки для джерел малої інтенсивності, наприклад, засобів обслуговування ПС в аеропорту.

Методичні основи функціонування підсистеми «ГІС-забруднення атмосферного повітря». Сценарій повітряного руху в районі досліджуваного аеропорту включає злітно-посадковий цикл (ЗПЦ) руху ПС, роботу аеродромного транспорту, аеродромного устаткування та установок, що використовуються для обслуговування ПС перед зльотом та після посадки, в процесі технічного обслуговування і ремонту ПС та/або авіаційних двигунів (АД), і операції випробування АД. Методика [1] направлена, в першу чергу, на оцінку поля концентрацій забруднення атмосферного повітря від ЗПЦ руху ПС в районі досліджуваного аеропорту і від випробування АД. Решта характерних джерел забруднення розраховується з використанням інших методик, в першу чергу на основі нормативної методики ОНД-86 [2].

Поля концентрацій ЗР в повітрі розраховуються для переліку, що використовуються для оцінки екологічної досконалості авіаційних двигунів [4] та отримуються відповідно до методики оцінки валових викидів від ПС і окремих АД під час їх обслуговування [3]. З метою єдиного підходу до нормування викидів ЗР ІКАО було введено поняття стандартного ЗПЦ, який включає всі операції ПС з моменту запуску двигунів до набору висоти 915 м, а також з моменту заходу на посадку з висоти 915 м до зупинки двигуна після посадки літака. Значення відносної тяги двигунів на етапах (режимах роботи), що їх характеризують, є середньостатистичними для світового парку ПС цивільної авіації, а значення тривалості етапів ЗПЦ ІКАО зорієнтовані на крупні міжнародні аеропорти. Параметри ЗПЦ ІКАО наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри злітно-посадкового циклу ІКАО

Етап ЗПЦ	Відносна тяга двигуна, %	Тривалість етапу ЗПЦ, хв.
Зліт	100	0,7
Набір висоти 915м	85	2,2
Зниження та заходження на посадку з висоти 915м	30	4,0
Руління (режим малого газу)	7	26,0

Основними чинниками, що визначають забруднення атмосферного повітря в результаті викиду ЗР від двигунів ПС в районі авіапідприємства є: тип ПС і тип двигуна в силовій установці ПС; режим роботи двигуна та режим польоту (рух на аеродромі) ПС на досліджуваному етапі ЗПЦ; схеми розміщення і руху ПС на аеродромі; метеорологічні умови; топографічні умови – вид поверхні, її шорсткість.

Для оцінки миттєвого значення концентрації ЗР в атмосферному повітрі від ПС використовується модель точкового джерела, що рухається, на основі рішення нестационарного рівняння турбулентної дифузії [1]. На окремих етапах ЗПЦ методика дозволяє розраховувати концентрації ЗР від нерухомих точкових, лінійних і площинних джерел. Інтегрування модельних рішень для

усіх джерел протягом характерного інтервалу усереднення (20хв., 24 год. або рік) з подальшим нормуванням на величину інтервалу усереднення дозволяє оцінити характерні усереднені значення концентрації ЗР для порівняння з ГДК досліджуваних ЗР.

Вираз для оцінки миттєвого значення концентрації c домішки ЗР в точці (x,y,z) у момент часу t з урахуванням попереднього розбавлення домішок ЗР струменем відпрацьованих газів двигуна (визначається значеннями дисперсій меж струменя σ_{x0} , σ_{y0} , σ_{z0}) та з урахуванням спливання струменя на висоту H має вигляд:

$$c(x,y,z,t) = \int_0^{T_0} \frac{M \times \exp \left[-\frac{(x-x')^2}{2\sigma_{x0}^2 + 4k_x(t+t')} - \frac{(y-y')^2}{2\sigma_{y0}^2 + 4k_y(t+t')} \right]}{\{8\pi^3 [\sigma_{x0}^2 + 2k_x(t+t')] [\sigma_{y0}^2 + 2k_y(t+t')]\}^{1/2}} \times \quad (1)$$

$$\times \left\{ \frac{\exp \left[-\frac{(z-z'-H)^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4k_z(t+t')} \right] + \exp \left[-\frac{(z+z'+H)^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4k_z(t+t')} \right]}{[\sigma_{z0}^2 + 2k_z(t+t')]^{1/2}} dt' \right\}$$

де T_0 – час дії джерела (інтервал залпу) викиду, M (г/с) – залповий викид маси ЗР за одиницю часу роботи двигунів ПС; k_x, k_y, k_z – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії, t' – змінна інтегрування; поточні значення координат джерела викиду ЗР x', y', z' (вісь ОХ направлена по вітру) визначаються як:

$$\begin{aligned} x' &= x_0 + u_{ПС} t' + 0,5 a t'^2 + u_e(t+t'); \\ y' &= y_0 + v_{ПС} t' + 0,5 b t'^2; \\ z' &= z_0 + w_{ПС} t' + 0,5 c t'^2, \end{aligned}$$

де x_0, y_0, z_0 – початкові значення координат джерела викиду (ПС); $u_{ПС}, v_{ПС}, w_{ПС}$ – складові вектора швидкості руху джерела; a, b, c – складові вектора прискорення руху джерела, u_e – швидкість вітру.

Максимальне миттєве значення концентрації $c_{мм}$ в досліджуваній точці утворюється у момент часу t_{max} :

$$t_{max} = \Delta x / u_e + \sqrt{\Delta x k_x / u_e}, \quad (2)$$

де Δx – відстань між досліджуваною точкою і точкою початку процесу атмосферної дифузії та перенесення домішок ЗР вітром.

Значення максимально разової $c_{мр}$ (усередненої протягом 20-30 хв.) концентрації в досліджуваній точці (x,y,z) в результаті викиду забруднюючих речовин двигунами ПС можна визначити використовуючи співвідношення:

$$c_{мр} = \frac{c_{мм}}{K_{30}}, \quad (3)$$

де c_{mm} – максимальне значення миттєвої концентрації ЗР, мг/м^3 (визначене за формулою (1) для моменту часу t_{max} за формулою (2)); K_{30} – коефіцієнт перерахунку [1].

Послідовність розрахунку викидів і концентрацій ЗР. Розроблене програмне забезпечення PolEmitCa [11] дозволяє обчислювати викиди і концентрації ЗР в атмосферному повітрі аеропорту:

1. За даними служб аеропорту будуються масиви точок простору, в яких знаходилося ПС під час ЗПЦ. Кількість масивів визначається кількістю сценаріїв руху ПС.

2. В першу чергу за методикою [3] визначаються валові викиди ПС основних ЗР (інвентаризація ЗР).

3. Маса викидів для кожного виду ЗР від даного типу ПС визначається як сума значень мас ЗР в результаті кожного залпу. Формули (1-3) використовуються для визначення поля концентрації ЗР в межах усієї розрахункової області від одного залпового викиду.

4. Кількість залпів від ПС задається вибраною дискретизацією в просторі. Для визначення сумарної концентрації ЗР від одного ЗПЦ підсумовуються відповідні усереднені концентрації від усіх залпів, ці ж концентрації створюють повну картину поля концентрацій на даній території. За наявності двох або більше ПС концентрації підсумовуються шляхом складання відповідних компонент забруднення.

5. При здійсненні операцій випробування двигуна додатково (як точкові джерела) враховується розташування стоянок АД випробування на території аеродрому.

6. Залежно від того, які концентрації визначаються (залежно від усереднення ГДК), моделювання проводиться для відповідних сценаріїв з використанням відповідних усереднень.

7. За результатами отриманих значень концентрацій у вузлах сітки будуються ізолінії концентрацій ЗР (у частках ГДК або в абсолютних значеннях – залежно від потреб) та формуються відповідні зображення. Також визначаються значення концентрацій ЗР в окремих точках.

Архітектура системи. Для виконання інвентаризації викидів та моделювання їх розсіювання, програмне забезпечення PolEmitCa (як будь-яке інше програмне забезпечення обчислення локальної якості повітря в аеропорту [5]) функціонально складається з декількох шарів взаємодії. На рівні інтерфейсу користувач виконує введення даних (з можливістю перевірки параметрів), виконує команди і отримує візуальний зворотний зв'язок стосовно введених даних та отриманих результатів.

Ця архітектура є типовою для сучасних багаторівневих прикладних розробок і забезпечує модульність компонентів шляхом розподілу функцій між управлінням базами даних, розрахунковою логікою та графічним інтерфейсом користувача. Забезпечення модульності є важливою перевагою, особливо у зв'язку переходу в майбутньому комплексу PolEmitCa у більш

широке середовище екологічних рішень (наприклад, як комплекс EDMS в середовищі AEDT).

Зовнішні інтерфейси для PolEmitCa включають в себе програмні комплекси: AERMAP, AERMET, AERMOD і MOBILE, які підтримуються Агенством з охорони навколишнього середовища США (EPA). PolEmitCa генерує файли вхідних даних для використання моделлю оцінки розсіювання AERMOD, в тому числі від процесора метеорологічних даних AERMET та процесора територіальних даних AERMAP. Процесор обчислення емісії використовує комбінацію моделей EPA і найкращих наявних моделей з інших джерел, таких як комітету з охорони довкілля від впливу авіації CAEP для розрахунку викидів повітряних суден, викидів дорожніх і позашляхових транспортних засобів та викидів від стаціонарних джерел. Зокрема викиди дорожніх транспортних засобів розраховуються за алгоритмами моделі MOBILE (визнана і підтримується EPA, а також CAEP). Модуль моделювання розсіювання ЗР генерує вхідні дані для моделі розсіювання EPA AERMOD. PolEmitCa містить компонент звітності отриманих результатів інвентаризації викидів.

Схема аеропорту визначає фізичні компоненти інфраструктури аеропорту, за допомогою яких визначаються робочі параметри джерел викидів в аеропорту. Компоненти інфраструктурної мережі включають злітно-посадкові смуги, руліжні доріжки і місця стоянки, вони рекомендуються для виконання інвентаризації викидів, але є обов'язковими при вимозі точних розрахунків інвентаризації викидів і необхідні для обчислення розсіювання викидів ЗР. Будинки не впливають на викиди, але можуть впливати на характеристики розсіювання, особливо від точкових джерел викидів. Користувачі PolEmitCa також мають можливість наочно побачити схему розташування аеропорту і взаємодіючи безпосередньо з графічним представленням аеропорту розміщувати, переміщати і змінювати різні джерела.

Крім того, шляхи руління (ШР) ПС вказують ланцюжки тих РД, якими ПС мають пересуватися від злітно-посадкової смуги (ЗПС) до місця стоянки, а конфігурації ЗПС повинні вказувати – які саме злітно-посадкові смуги будуть активними протягом певного часу доби відповідно до характерних погодних (метеорологічних) умов. Іншими словами, ШР – це масив тих РД, які зв'язують місця стоянки ПС з відповідними торцями ЗПС (для ШР «відправлення») або виходу зі ЗПС з місцем стоянки окремого типу ПС (для ШР «прибуття»). Така модель ланцюжка окремих РД визначає миттєві координати місця розташування ПС протягом його руху уздовж РД, що визначаються відповідним ШР. Миттєві координати місця розташування використовуються для призначення викидів ПС джерелам, які представляють окремі РД. Ці елементи також необхідні для моделювання затримки і послідовності зльотів ПС та визначають час, що ПС витрачає на кожній ділянці наземного руху для того, щоб більш чітко виділити викиди на цих ділянках з метою більш точного обчислення розсіювання викидів. Ці

компоненти не є обов'язковими, якщо необхідна тільки інвентаризація викидів, але потрібні для обчислення розсіювання викидів.

Місце стоянки (МС або гейт) є фізичною кінцевою або початковою точкою циклів прибуття і відправлення ПС відповідно. Розташування МС може впливати на загальну річну інвентаризацію викидів за рахунок зміни відстані (і пов'язаних з цим викидів), яку потрібно подолати ПС між гейтами і ЗПС. Місця розташування гейтів також використовуються для визначення розміщення таких джерел викидів як допоміжні силові установки (APU) і наземне обладнання обслуговування ПС (GSE).

Обсяг даних, що необхідний для виконання аналізу розсіювання викидів значно більший, ніж дані, які необхідні тільки для інвентаризації викидів. Всі необхідні дані для інвентаризації викидів є також необхідними для моделювання розсіювання. Крім того, деякі варіанти моделі, які не є обов'язковими для інвентаризації викидів, є необхідними при обчисленні розсіювання, у тому числі:

1. точні профілі експлуатації або графіки руху ПС,
2. моделювання льотно-технічних характеристик ПС,
3. моделювання затримки і послідовності відправлення ПС,
4. погодинні погодні дані,
5. розміщення точок визначення концентрацій забруднення.

Інвентаризація викидів виконується наперед від оцінки розсіювання. Алгоритми оцінки розсіювання використовують вибрані експлуатаційні графіки руху (профілі) ПС, активні джерела змінюються залежно від часу. Важливо використовувати точні профілі, бо зміни індивідуальних джерел можуть істотно вплинути на результат оцінки розсіювання. Для забезпечення кращої точності моделювання послідовності ПС використовуються по-чверть-годинні інтервали.

Методологічний підхід реалізації моделі інвентаризації викидів в околиці аеропорту складається з двох етапів. Перший етап полягає в оцінці типових профілів польоту для ПС, що розглядаються, уздовж встановлених в районі аеропорту маршрутів зльоту/посадки. На другому етапі здійснюється оцінка емісії АД для розрахованих режимів і часу польоту на етапах траєкторії. Зокрема в табл. 2 наведені дані коефіцієнтів для оцінки профілю польоту (*Aerodynamic coefficients table* на рис. 1) літака Ил-86 у форматі методик [5,6].

Таблиця 2 – Коефіцієнти для оцінки профілю польоту літака Ил-86

ACFT_ID	Op type	Flap_ID	B	C	D	R
И86	A	D-40			0.075518	0.173462
И86	A	D-25			0.085047	0.158049
И86	A	U-5			0.101404	0.134474
И86	D	40	0.001214	0.069709		0.173462
И86	D	25	0.001561	0.078505		0.158049
И86	D	5	0.002385	0.093603		0.134474

П86	D	2	0.002682	0.096712		0.145382
П86	D	ZERO	0.002722	0.098964		0.154109

Типовий профіль зльоту/набору висоти, наприклад до висоти 3000 м (при дослідженні шуму) може включати до 10 і більше характерних відрізків. Взагалі кінцевий відрізок траєкторії визначається умовою досягнення висоти 915 м для емісії або закриття контуру шуму досліджуваного задачею значення. Профіль повинен розпочинатися з розгону літака уздовж ЗПС. Відрізки прискорення польоту (до значень швидкості або висоти ухвалення рішення, наприклад, прибирання закрилків і переведення двигунів на номінальний режим) і стаціонарного набору висоти слідує один за іншим до висоти 3000 м. Тому база даних повинна включати всі необхідні коефіцієнти (табл. 2 і рис. 1) для розрахунку траєкторій.

Розрахунковий приклад. Наведена вище система обчислення впливу емісії авіадвигунів на стан атмосферного повітря в районі аеропорту застосована для задачі верифікації обчислювальних систем CAEP (CAEPort) [10,11]. Основні джерела викидів забруднюючих речовин включають: злітно-посадковий цикл (LTO) руху ПС; авіаційні пускові установки, бортові і наземні (APU/GPU); наземну техніку обслуговування повітряних суден (GSE); стаціонарні джерела викидів – бойлерні/котельні (**Power plants**), сховища паливно-мастильних матеріалів (**Fuel farms**); наземний транспорт в околиці аеропорту (**Roadways and Parking**).

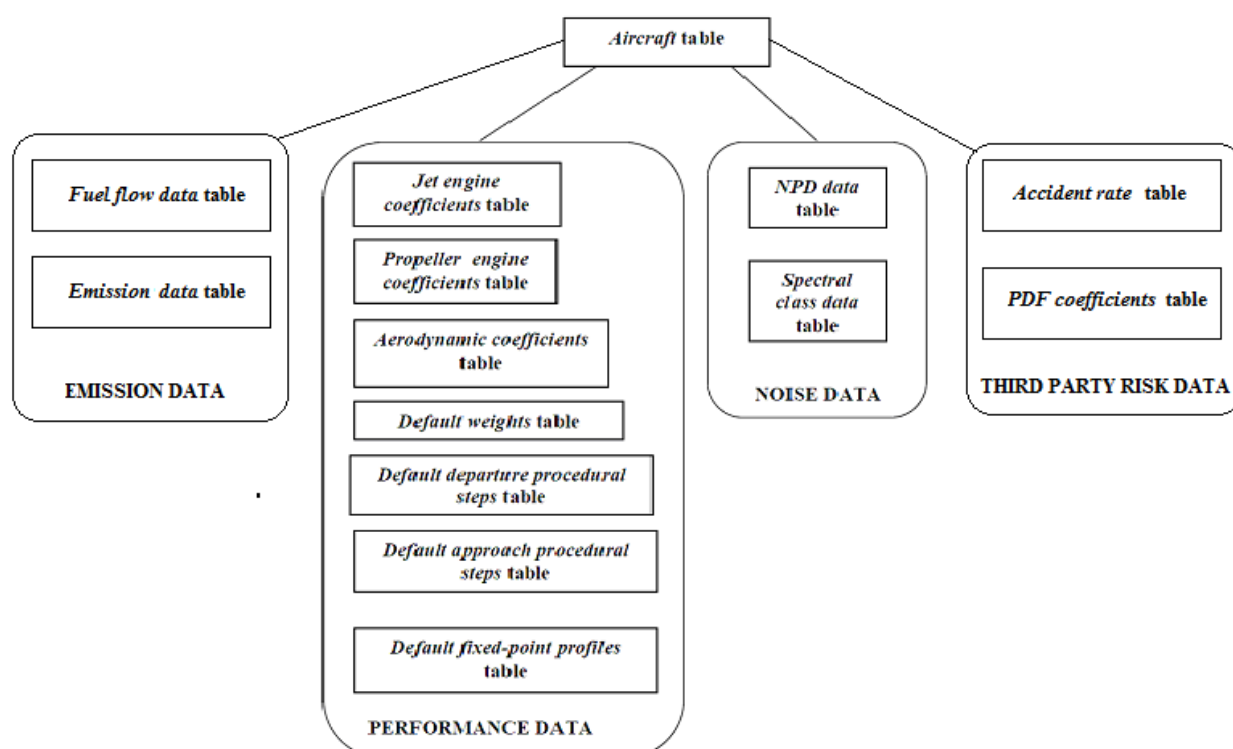


Рисунок 1. Структура баз даних розрахунку профілів польоту літаків та їх екологічних чинників в районі аеропорту: емісії АД; шуму ПС; ризику третьої сторони

В таблиці 3 наведені дані обчислення викидів основних забруднюючих речовин для злітно-посадкових циклів руху повітряних суден разом із запуском двигунів (**Startup**). Час етапів руління перед зльотом (**Taxi Out**) та після посадки (**Taxi In**) використаний за даними диспетчерської служби аеропорту. Час повітряних етапів – зльоту (**Take Off**), набору висоту (**Climb Out**) і зниження перед посадкою (**Approach**) обчислений за вище наведеним алгоритмом ICAO Doc 9911. Для порівняння у таблиці 4 наведені дані обчислення для тривалості етапів за циклом ICAO (таблиця 1) – для всіх видів емісії та для пального (**Fuel**) реальні дані тривалості етапів обумовлюють суттєво нижчі значення інвентаризації.

Інвентаризація викидів від АПУ (APU/GPU) та наземної техніки обслуговування повітряних суден (GSE) виконана за вимогами керівництва ICAO Doc 9889 [5], наприклад, питомі дані викидів GSE наведені у таблиці 5.

Інвентаризація емісії від АПУ комплексом PolEmiCa виконана в залежності від витрат пального на роботу АПУ, питомі показники якого для 6-ти характерних груп АПУ наведені у таблиці 6. Інвентаризація викидів від стаціонарних джерел комплексом PolEmiCa виконується за стандартними методиками, узгодженими Міністерством охорони довкілля України [6,7], а від пересувних джерел за стандартними методиками, узгодженими Держкомстатом України і Міністерством транспорту України [8,9]. Зведені дані обчислення наведені у таблиці 7.

Таблиця 3 – Викиди основних забруднюючих речовин для злітно-посадкових циклів руху повітряних суден (дані наведені у кг)

Вид ЗР	Startup	Take Off	Climb Out	Approach	Taxi In	Taxi Out	Разом
CO	0	4312,28	3973,13	17306,70	68080,37	135094,50	228767,0
HC	9473,8	428,94	298,17	1483,88	14612,35	24963,62	41786,96
NOx	0	149876,06	94733,97	50205,95	13242,71	25685,51	333744,2
SOx	0	27084,03	22230,21	26078,33	13176,07	26440,19	115008,8
Fuel	0	5416805,5	4446042,5	5215666,5	2635217,0	5287988,5	23001720

Таблиця 4 – Викиди основних забруднюючих речовин для злітно-посадкових циклів руху повітряних суден для тривалості етапів за циклом ICAO (дані наведені у кг)

Вид ЗР	Take Off	Climb Out	Approach	Taxi In	Taxi Out	Разом
CO	2691,72	7683,41	17834,30	68080,37	135094,50	231384,30
HC	266,08	658,30	1654,50	14612,35	24963,62	42154,84
NOx	94428,18	189885,86	56853,30	13242,71	25685,51	380095,56

SOx	17393,46	44286,82	28865,23	13176,07	26440,19	130161,77
Fuel	3478317,25	8857684,00	5774003,50	2635217,00	5287988,50	26 033 210,0

Таблиця 5 – Питомі дані викидів від наземної техніки обслуговування повітряних суден (кг)

Вид ЗР	Широкофюзеляжний літак	Літак з фюзеляжем звичайного діаметру
NOx	0.900	0.400
HC	0.070	0.040
CO	0.300	0.150
PM10	0.055	0.025
CO2	58	19

Висновки. Розроблені сьогодні моделі та розрахункові програми визначення впливів цивільної авіації на довкілля все більше знаходять застосування в ГІС. Корпоративні ГІС аеропорту все більше включають аналітичні моделі екологічної безпеки, безпеки польотів та авіаційної безпеки. В статті наведений приклад розроблення окремого елементу корпоративної ГІС аеропорту, що визначає показники якості повітря в залежності від характерних джерел емісії, стаціонарних та пересувних. Можливості ГІС-технологій обумовлюють більш точні результати обчислення за рахунок ведення баз даних для повітряних суден, авіаційних двигунів, наземної техніки обслуговування повітряних суден.

Розроблена в НАУ комплексна система PolEmitCa відповідає вимогам ІКАО до засобів обчислення якості повітря і даний час відбувається верифікація даного комплексу робочою групою «Моделі і бази даних» комітету САЕР, результати якої для етапу інвентаризації наведені в статті.

Результати верифікації обчислення комплексною системою PolEmitCa концентрацій забруднення атмосферного повітря є предметом наступних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика розрахунку концентрацій забруднення атмосферного повітря викидами повітряних суден (проект) - Національний авіаційний університет, Науково-дослідний центр екологічних проблем аеропортів, 2011.
2. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД - 86. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 97 с.
3. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ двигателями воздушных судов гражданской авиации. ФГУП ГосНИИГА, ЗАО ЦЭБ ГА, Москва, 2007 г.

4. Международные стандарты и рекомендуемая практика «Охрана окружающей среды». Приложение 16 к Конвенции о международной ГА, том 2, «Эмиссия авиационных двигателей», Монреаль, 3-е изд., 2005.
5. Airport Air Quality Guidance Manual. ICAO Doc 9889. 2011.
6. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 ГКалл в час (с учетом методического письма НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17 мая 2000 г.), Москва, 1999
7. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. Новополюк, 1997 (с учетом дополнений НИИ Атмосфера 1999, 2005, 2010 г.г.)
8. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів, Державний Комітет Статистики України, НАКАЗ від 13.11.2008 N 452).
9. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті, Міністерство транспорту України, НАКАЗ від 10.02.1998, N 43).
10. CAEP8_MODTF_5_WP03_LAQ_Sample_Problem, 2007.
11. CAEP.8.IP.042.1. Status Report on Model Evaluations in Ukraine. Montreal, 2010.

**Запорожец А.И., Синило К.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В АЭРОПОРТАХ**

В статье приведены концептуальные положения и практическое значение применения ГИС-Технологий по обеспечению безопасности и природоохранной деятельности в аэропортах. На примере задачи оценки локального загрязнения атмосферного воздуха в районе аэропорта приведены структуры баз данных, алгоритмы вычисления и элементы слоев представления картографической информации формирования поля концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых основными источниками аэропорта.

Ключевые слова: аэропорт, безопасность, природоохранная деятельность, карты экологические, ГИС-Технологии, базы данных, экологические карты, инвентаризация выбросов.

**Zaporozhets A.I., Sinilo K.V. INFORMATION TECHNOLOGIES
MAINTENANCE OF SAFETY AND NATURE PROTECTION ACTIVITY
AT THE AIRPORTS**

The concept and practical value of GIS-technologies and their applications are shown in providing of safety and environment protection activities in airports. On example of task of estimation of local air contamination inside airport area the resulted structures of data bases are given, also as calculation algorithms of and layers elements of cartographic information presentation of the concentration fields that are produced by the basic emission sources of the airport.

Keywords: the airport, safety, nature protection activity, cards ecological, GIS-TECHNOLOGIES, databases, ecological cards, inventory of emissions.

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Кравцова Л.В., Букетов А.В., Пирог А.П.

Херсонская государственная морская академия

Разработана математическая модель для прогнозирования свойств гетерогенных полимерных композитов. На начальном этапе проведен эксперимент по исследованию основных свойств полимерных композитов. На следующем этапе найдена аналитическая зависимость искомого свойства композита от известных характеристик и построена математическая модель, которая иллюстрирует изменение свойств материала от концентрации наполнителя.

Ключевые слова: модель, композит, свойства

Постановка задачи. Общеизвестно, что одним из основных современных научных направлений является замена реальных объектов их упрощенными представлениями с целью изучения взаимосвязи свойств исходных объектов для последующего прогнозирования их поведения в критических условиях эксплуатации [1]. В таких случаях необходимым этапом исследования является построение математической модели объекта, которая представляет закономерности поведения входящих в объект компонентов и их взаимосвязи. Исходя из этого следует заметить, что при изучении структуры и свойств таких сложных систем, как гетерогенные полимерные композиты, моделирование процессов их структурообразования, взаимодействия ингредиентов на границе раздела фаз является важным и необходимым этапом изучения закономерностей формирования материалов, которые в основном определяют их эксплуатационные характеристики. Кроме того, оптимизация структуры полимерных композитов на первом этапе и прогнозирование свойств защитных покрытий на последующих этапах исследования является важной проблемой, которую необходимо решать при различных критических условиях эксплуатации существующих и при проектировании новых технических конструкций [2, 3]. Трудность понимания причинно-следственных зависимостей в сложных композитных системах приводит к неэффективной их организации, ошибкам в их проектировании, а в дальнейшем – большим затратам на устранение таких ошибок [1, 4, 5]. Поэтому сегодня моделирование становится практически единственным эффективным средством нахождения путей оптимального (либо приемлемого) решения проблем изучения закономерностей формирования и взаимосвязей свойств сложных систем.

Доказано, что моделирование особенно важно именно тогда, когда система состоит из многих параллельно функционирующих во времени и взаимодействующих подсистем [1]. Рассматривая полимерную, в том числе и эпоксидную, композиционную систему в целом можно выделить несколько взаимодействующих во времени подсистем. В частности, это:

- **взаимодействие цепей, сегментов и групп макромолекул связующего при полимеризации;**
- взаимодействие макромолекул связующего с металлической основой;
- **взаимодействие сегментов и групп макромолекул с частицами наполнителя или волокнами, вследствие чего вокруг добавок формируются внешние поверхностные слои, которые по свойствам отличаются от свойств полимера в объеме [6];**
- взаимодействие внешних поверхностных слоев с последующим формированием кластеров;
- разрыв цепей макромолекул с последующим формированием свободных радикалов и их взаимодействие в дальнейшем с возникновением химических и физических связей.

Поэтому понимание закономерностей одновременно происходящих в сложной системе и влияющих друг на друга физико-химических процессов является трудной задачей. Имитационная, в том числе и аналитическая, модель позволяет косвенно установить в том или ином приближении закономерности и взаимосвязь одновременно происходящих в сложной системе процессов полимеризации эпоксидных композитов, предсказать их поведение в различных критических условиях. При этом на разных этапах моделирования неоднократно приходится изменять параметры или структуру модели с целью адекватного прогнозирования и последующего регулирования эксплуатационных свойств композитов и защитных покрытий на их основе [5]. Такие «гибкие» (или изменяющиеся поэтапно) модели позволяют оценить эффект планируемых изменений, а также выполнить сравнительный анализ качества возможных вариантов решений.

Анализ последних исследований и публикаций. Авторами [1, 7] показано, что некоторые динамические системы можно описать в замкнутой форме, в частности, в виде систем линейных дифференциальных и алгебраических уравнений, получив при этом решение аналитически. При аналитическом моделировании процессы функционирования исследуемой системы записываются в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных уравнений и логических соотношений. В некоторых случаях анализ этих соотношений можно выполнить с помощью аналитических преобразований, используя программное обеспечение и возможности системы *MS Excel*. Однако при использовании аналитических методов для моделирования реальных систем возникают определенные проблемы: классические математические модели, допускающие аналитическое решение, в большинстве случаев к реальным задачам неприменимы. Чаще всего аналитические модели, построенные для реальных систем, являются нелинейными. При этом математические соотношения в таких моделях дополняются логическими операциями, которые строят, исходя из предшествующего эксперименту анализа априорной информации о свойствах

объекта. Поэтому при построении математической модели, адекватно описывающей все свойства и характеристики изучаемого объекта, следует учитывать сложности, возникающие при проведении анализа и прогноза в реализации модели [1].

Исходя из изложенного выше, в данной работе предпринята попытка построения аналитической модели, которая описывает зависимость искомого свойства композитного материала, как сложной системы, от концентрации одного из его ингредиентов (наполнителя). Эпоксидные композиты формировали на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 (100 масс.ч.), который отверждали отвердителем ПЭПА (10 масс.ч.). Поэтапно в эпоксидное связующее вводили дисперсный наполнитель (частицы феррита) в количестве от 20 до 120 масс.ч. с шагом 20 масс.ч. Далее отверждали композиты и исследовали их свойства. Для получения априорной информации на начальном этапе исследовали физико-механические и теплофизические свойства эпоксидных композитов. В частности, в данной работе исследовали такие свойства материалов:

- свойства структуры: содержание гель-фракции (G);
- остаточные напряжения ($\sigma_{ост}$);
- физико-механические свойства: предел прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$), модуль упругости (E), ударная вязкость (a);
- теплофизические свойства: теплостойкость (T).

Таким образом, была поставлена задача прогнозирования на основе построенной аналитической модели зависимости искомого свойства композита (в нашем случае теплостойкости (T)) от концентрации введенного в эпоксидное связующее наполнителя. Предполагали, что свойства структуры, а также показатели физико-механических и теплофизических характеристик исследуемых материалов изначально взаимосвязаны, поскольку определяются взаимодействием компонентов на разных уровнях или подсистемах сложной системы в целом в виде композитного материала. На последнем этапе предполагалось оценить адекватность построенной модели относительно реальной зависимости теплостойкости от концентрации наполнителя в композите.

Цель работы – разработать аналитическую модель для прогнозирования свойств эпоксидных композитов и проверить ее адекватность относительно экспериментальных результатов исследования.

Обсуждение результатов. В результате серии экспериментов получена таблица зависимостей пяти функций аргумента x : $y_1 = f_1(x)$, $y_2 = f_2(x)$, $y_3 = f_3(x)$, $y_4 = f_4(x)$, $y_5 = f_5(x)$ (табл. 1). Требуется построить аналитическую зависимость значений последней строки таблицы от пяти предыдущих:

$$f_6 = F(f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)).$$

Поскольку на любой реальный процесс воздействуют внешние факторы, все табличные значения функций $f_1 - f_6$ являются случайными

величинами, поэтому аппроксимируем каждую из функций полиномом 4-го порядка:

$$f(x) = a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0,$$

где x – узлы аппроксимации (в таблице значения аргумента от 0 до 120 с шагом 20),

a_i – коэффициенты полинома.

Таблица 1 – Зависимость свойств композитов от концентрации наполнителя феррита

Свойства	Значение аргумента (x)						
	0	20	40	60	80	100	120
$f_1(x) = G, \%$	95,2	96,8	97,3	96,9	96,4	96,1	95,9
$f_2(x) = \sigma_{осм}, МПа$	7,2	5,9	4,9	5,2	5,5	5,1	4,2
$f_3(x) = \sigma_{изг}, МПа$	33,5	53,4	53,6	57,5	65,4	98,2	81,5
$f_4(x) = E, ГПа$	3,6	5,6	8,0	8,2	8,3	8,7	8,4
$f_5(x) = a, кДж/м^2$	6,3	8,3	10,0	11,0	11,0	10,2	9,9
$f_6 = T, К$	359	383	385	379	375	366	365

Коэффициенты для каждой из функций (1-5) определим с помощью модуля «Поиск решения» электронных таблиц Excel. Для этого для каждой из функций по каждому узлу положим $a_i = 1$ (диапазон **L2:P7**, «опорный план»). В каждой ячейке диапазона **K13:Q17** составим полином 4-го порядка (см. строку функций, рис. 1).

Microsoft Excel - Yes!!!2502

Рисунок 1. Вычисление значений функций $f_1(x)$ - $f_5(x)$ с опорным планом $a_{ij}=1$

Теперь заполним модуль «Поиск решения» (рис. 2) с учетом максимального совпадения экспериментальных и расчетных значений функций $f_1(x)$ - $f_5(x)$ для всех узлов x_i . Результаты вычисления коэффициентов показаны на рис. 3.

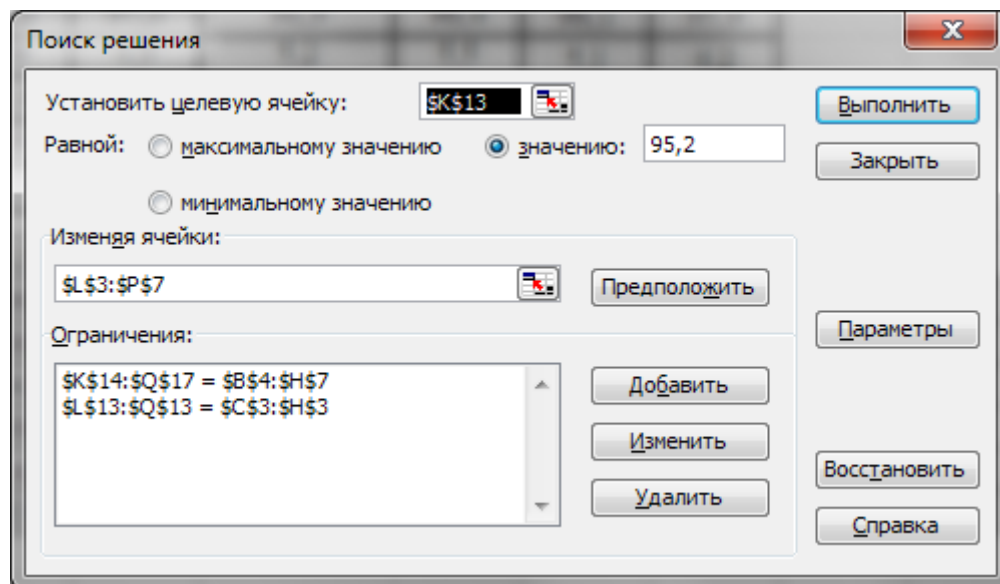


Рисунок 2. Заполнение модуля «Поиск решения»

Microsoft Excel - Yes!!!2502

Formula bar: $f_x = \$L3*B\$2^4 + \$M3*B\$2^3 + \$N3*B\$2^2 + \$O3*B\$2 + \$P3$

	J	K	L	M	N	O	P	Q
1			Коэффициенты при степенях					
2		зависимости	4	3	2	1	0	
3		1	-1E-07	4E-05	-0,005	0,215	94,13	
4		2	4E-08	-2E-05	0,002	-0,1	7,2	
5		3	-7E-06	0,002	-0,119	3,506	19,25	
6		4	-3E-07	9E-05	-0,009	0,356	3,62	
7		5	2E-07	-4E-05	0,002	0,084	6,31	
11								
12		0	20	40	60	80	100	120
13	1	94,1	96,8	97,3	96,9	96,4	96,1	95,9
14	2	7,2	5,9	5,5	5,6	5,5	5,1	4,2
15	3	19,3	53,4	53,6	57,5	77,0	98,2	81,5
16	4	3,6	7,8	8,5	8,2	8,3	8,7	8,4
17	5	6,3	8,3	10,2	11,2	11,0	10,2	9,9

Sheet tabs: ф-ция2 / ф-ция1 / Лист3

Рисунок 3. Результаты вычисления коэффициентов

Таким образом, аналитические зависимости по каждой из функций имеют вид (использована экспоненциальная форма представления чисел):

$$f_1(x) = -1E-07 x^4 + 4E-05 x^3 - 0,005 x^2 + 0,215 x + 94,13;$$

$$f_2(x) = 4E-08 x^4 - 2E-05 x^3 + 0,002 x^2 - 0,1 x + 7,2;$$

$$f_3(x) = -7E-06 x^4 + 0,002 x^3 - 0,119 x^2 + 3,506 x + 19,25;$$

$$f_4(x) = -3E-07 x^4 + 9E-05 x^3 - 0,009 x^2 + 0,356 x + 3,62;$$

$$f_5(x) = 2E-07 x^4 - 4E-05 x^3 + 0,002 x^2 + 0,084 x + 6,31$$

Соответствующие значения функций в узлах таблицы приведены в диапазоне **K13:Q17** (рис. 3).

Теперь реализуем вторую часть решения задачи, а именно, представим коэффициенты полинома четвертой степени функции $f_6(x)$ как линейную комбинацию коэффициентов при соответствующих степенях функций $f_1(x)$ - $f_5(x)$.

Итак, функция $f_6(x)$ также имеет вид полинома 4-й степени: $f_5(x) = a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$. Составим для каждого коэффициента линейную комбинацию коэффициентов при степенях:

$a_4 = -1E-07 \cdot c_{41} + 4E-08 \cdot c_{42} - 7E-06 \cdot c_{43} - 3E-07 \cdot c_{44} + 2E-07 \cdot c_{45}$ (коэффициенты при x^4);

$a_3 = 4E-05 \cdot c_{31} - 2E-05 \cdot c_{32} + 0,002 \cdot c_{33} + 9E-05 \cdot c_{34} - 4E-05 \cdot c_{35}$ (коэффициенты при x^3);

$a_2 = -0,005 \cdot c_{21} + 0,002 \cdot c_{22} - 0,119 \cdot c_{23} - 0,009 \cdot c_{24} + 0,002 \cdot c_{25}$ (коэффициенты при x^2);

$a_1 = 0,215 \cdot c_{11} - 0,1 \cdot c_{12} + 3,506 \cdot c_{13} + 0,356 \cdot c_{14} + 0,084 \cdot c_{15}$ (коэффициенты при x^1);

$a_0 = 94,13 \cdot c_{01} + 7,2 \cdot c_{02} + 19,25 \cdot c_{03} + 3,62 \cdot c_{04} + 6,31 \cdot c_{05}$ (коэффициенты при x^0).

Изменяемые значения коэффициентов c_{ij} в виде опорного плана внесены в диапазон **R3:V7**. Вычисление коэффициентов функции $f_6(x)$ приведены в строке функций (рис. 4).

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		Кoeffициенты при степенях										
2	зависимости	4	3	2	1	0		Матрица коэффицентов c_{ij}				
3	1	-1E-07	4E-05	-0,005	0,215	94,13		1	1	1	1	1
4	2	4E-08	-2E-05	0,002	-0,1	7,2		1	1	1	1	1
5	3	-7E-06	0,002	-0,119	3,506	19,25		1	1	1	1	1
6	4	-3E-07	9E-05	-0,009	0,356	3,62		1	1	1	1	1
7	5	2E-07	-4E-05	0,002	0,084	6,31		1	1	1	1	1
8	6	-7E-06	0,0017	-0,129	4,061	130,5						

Рисунок 4. Вычисление коэффициентов функции $f_6(x)$ с опорным планом $c_{ij}=1$

Коефіцієнти лінійних комбінацій c_{ij} визначимо з умови 2 %-го розброса відносно експериментальних значень (табл. 1) в модулі «Поиск решения» (рис. 5).

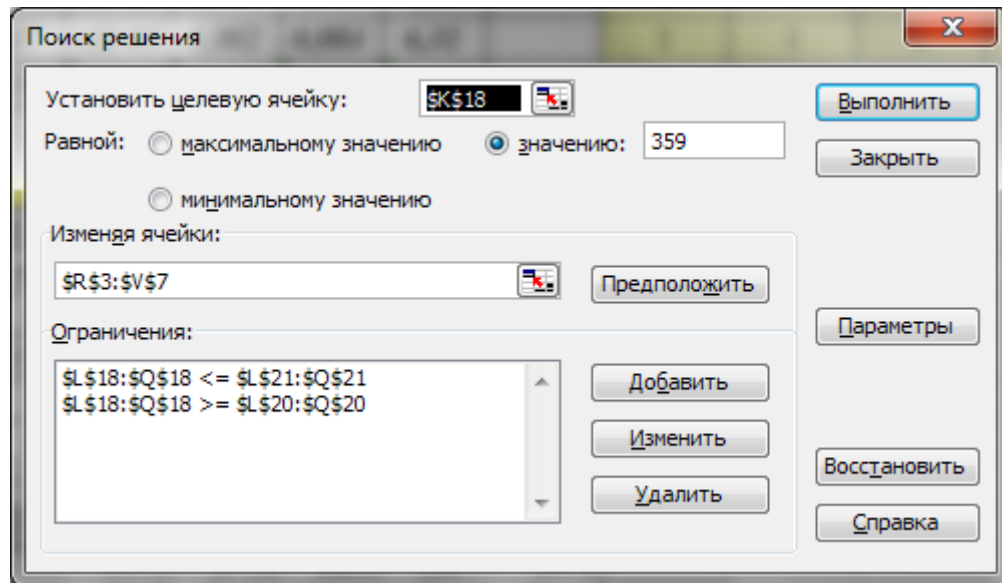


Рисунок 5. Заполнение модуля «Поиск решения» (изменение условий)

Выполнение условий целевой функции и ограничений модуля «Поиск решения» приводит к следующим результатам (рис. 6).

Microsoft Excel - Yes!!!2502													
	K18	fx = \$L8*\$B\$2^4+\$M8*\$B\$2^3+\$N8*\$B\$2^2+\$O8*\$B\$2+\$P8											
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1			Коеффициенты при степенях										
2		зависимости	4	3	2	1	0		Матрица коэффициентов c_{ij}				
3		1	-1E-07	4E-05	-0,005	0,215	94,13		0,98823	1,00093	0,99324	0,96993	3,34603
4		2	4E-08	-2E-05	0,002	-0,1	7,2		1,00345	0,99964	1,00286	1,01396	1,11601
5		3	-7E-06	0,002	-0,119	3,506	19,25		0,12545	0,20178	0,34475	0,50951	1,31016
6		4	-3E-07	9E-05	-0,009	0,356	3,62		0,9692	1,00207	0,98739	0,95015	1,05833
7		5	2E-07	-4E-05	0,002	0,084	6,31		1,01591	0,99917	1,00217	0,98828	1,10167
8		6	-1E-06	0,0004	-0,051	2,315	359						
9													
10													
11													
12		0	20	40	60	80	100	120					
13	1	94,1	96,8	97,3	96,9	96,4	96,1	95,9					
14	2	7,2	5,9	5,5	5,6	5,5	5,1	4,2					
15	3	19,3	53,4	53,6	57,5	77,0	98,2	81,5					
16	4	3,6	7,8	8,5	8,2	8,3	8,7	8,4					
17	5	6,3	8,3	10,2	11,2	11,0	10,2	9,9					
18	6	359,0	387,9	392,7	386,6	378,5	373,3	371,8					
19	359	383	385	379	375,5	366	364,5						

Рисунок 6. Результаты вычисления аналитических значений функции

Таким образом, $f_6(x) = -1E-06x^4 + 0,0004x^3 - 0,051x^2 + 2,315x + 359$.
Графики аналитической и табличной зависимостей функции $y = f_6(x)$

представлены на рис. 7. Здесь *ряд 1* – аналитическая, *ряд 2* – табличная зависимости функции $y = f_6(x)$.

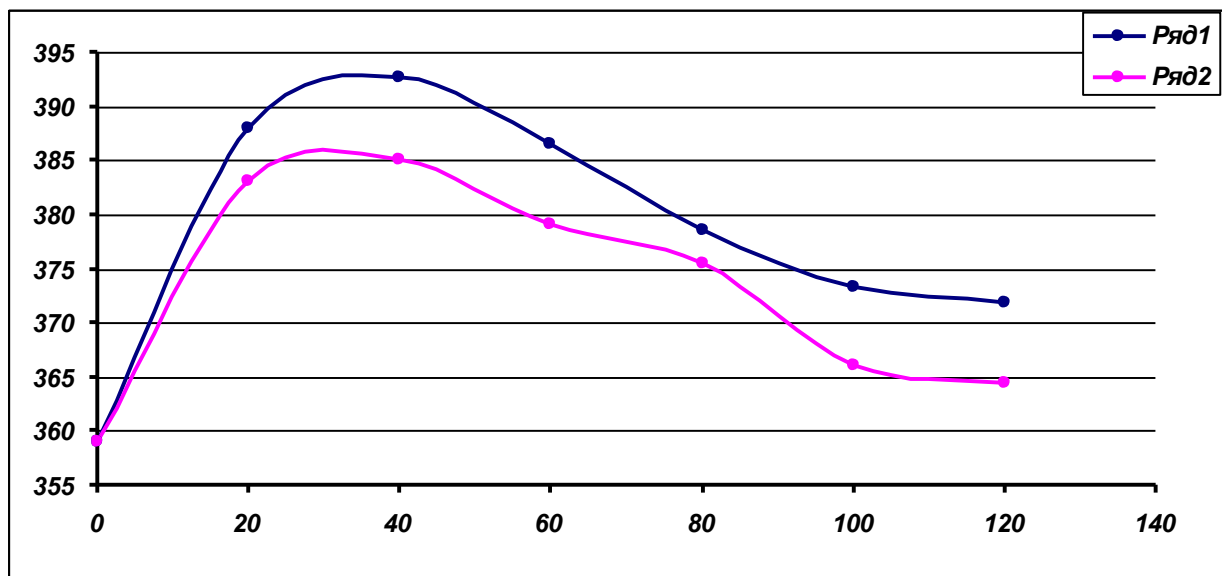


Рисунок 7. Графики расчетной и табличной функции $y = f_6(x)$

Изменим краевые условия задачи, т.е. при прогнозировании теплостойкости как верхнее граничное условие возьмем $T = 385$. Подбор параметров линейной комбинации в условиях $359 \leq f_6(x) \leq 385$ приводит к следующим результатам (рис. 8).

Microsoft Excel - Yes!!!2502														
K18 fx =SL8*BS2^4+\$M8*BS2^3+\$N8*BS2^2+\$O8*BS2+\$P8														
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1			Коэффициенты при степенях											
2		зависимости	4	3	2	1	0		Матрица коэффициентов c _{ij}					
3		1	-1E-07	4E-05	-0,005	0,215	94,13		0,9888215	1,00087	0,99406	0,96553	3,34603	
4		2	4E-08	-2E-05	0,002	-0,1	7,2		1,003274	0,99966	1,00251	1,016	1,11601	
5		3	-7E-06	0,002	-0,119	3,506	19,25		0,157332	0,23519	0,36171	0,43767	1,31016	
6		4	-3E-07	9E-05	-0,009	0,356	3,62		0,9707517	1,00195	0,98893	0,94285	1,05833	
7		5	2E-07	-4E-05	0,002	0,084	6,31		1,0151074	0,99922	1,00191	0,98656	1,10167	
8		6	-1E-06	0,0005	-0,053	2,059	359							
9														
10														
11														
12			0	20	40	60	80	100	120					
13	1		94,1	96,8	97,3	96,9	96,4	96,1	95,9					
14	2		7,2	5,9	5,5	5,6	5,5	5,1	4,2					
15	3		19,3	53,4	53,6	57,5	77,0	98,2	81,5					
16	4		3,6	7,8	8,5	8,2	8,3	8,7	8,4					
17	5		6,3	8,3	10,2	11,2	11,0	10,2	9,9					
18	6		359,0	382,3	382,1	372,6	363,4	359,0	359,0	расчетное				
19		359	383	385	379	375,5	366	364,5		табличное				

Рисунок 8. Результаты вычисления аналитических значений функции в измененных условиях

Таким образом, $f_6(x) = -1E-06x^4 + 0,0005x^3 - 0,053x^2 + 2,059x + 359$.
Графики аналитической (ряд 1) и табличной (ряд 2) функций представлены на рис. 9.

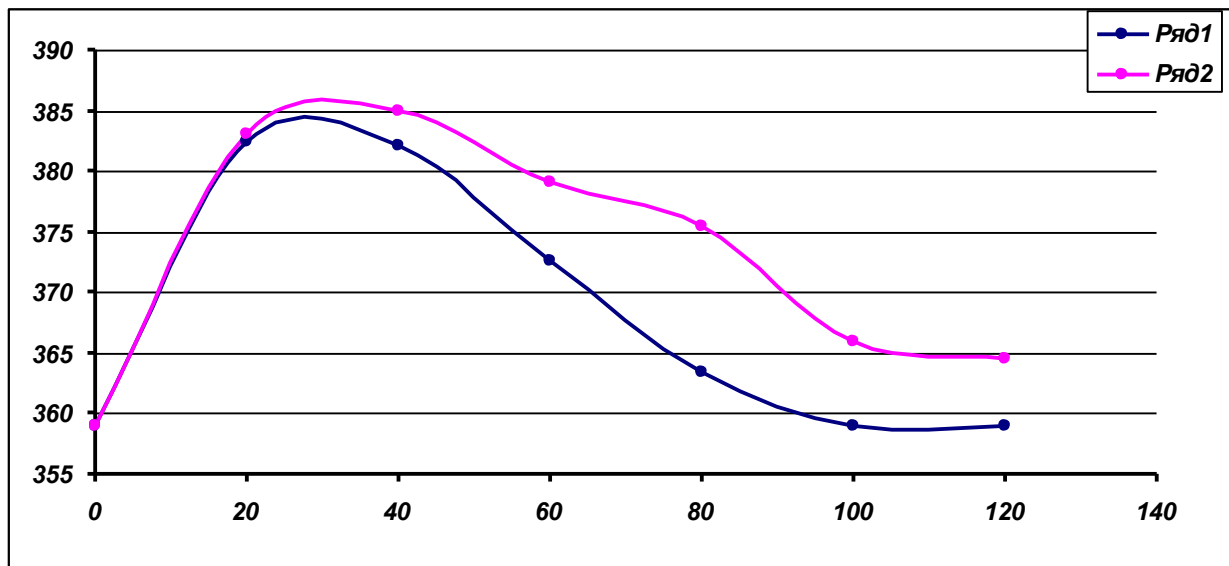


Рисунок 9. Графики расчетной и табличной функции $y = f_6(x)$ при условии $359 \leq f_6(x) \leq 385$

Анализируя графики функций, представленных на рис. 7 и рис. 9, можно констатировать, что они почти не отличаются, в крайнем случае положение и форма теоретической кривой зависимости теплостойкости от концентрации наполнителя несущественно отличается от экспериментальной. При этом следует отметить важность априорной информации при начальном выборе диапазона изменения показателей свойства (в нашем случае теплостойкости) композитного материала.

Выводы. В работе с использованием методов математического программирования разработана математическая модель для прогнозирования свойств полимерных композитных систем. Дополнительно установлены условия, которые определяют минимум априорной информации, необходимой для самоорганизации модели. Следует обратить внимание на необходимость априорного выбора множества входных переменных, опорных функций и закономерностей постепенного усовершенствования модели на каждом этапе ее реализации. Важным также есть выбор критериев селекции относительно поставленной задачи моделирования.

В дальнейшем авторами планируется разработать математическую модель, которая позволит прогнозировать свойства материалов с некоторой вероятностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов.- СПб.: БХВ-Петербург, 2009.-400 с.
2. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В. Букетов, П.Д. Стухляк, І.В. Чихіра. – Тернопіль: Крок, 2011. – 201 с.

3. Стухляк П.Д. Епоксидно-діанові композити: технологія формування, фізико-механічні і теплофізичні властивості / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, О.І. Редько. – Тернопіль: Крок, 2011. – 165 с.

4. **Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М.Томашевський.- К.:Вид-во «ВНУ», 2005.-352с.**

5. Букетов А.В. Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів та систем / А.В.Букетов.- Тернопіль: СМП «Тайп», 2009.-260с.

6. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням / П.Д.Стухляк, А.В.Букетов.-Тернопіль: Збруч.-2009.- 237с.

7. Лоу А.М. Имитационное моделирование. 3-е издание / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон.- СПб.: Питер, Киев: ВНУ, 2004.-847 с.

Кравцова Л.В., Букетов А.В., Пірог А.П.

**РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

Розроблена математична модель для прогнозування властивостей гетерогенних полімерних композитів. На початковому етапі проведено експеримент по з метою дослідження основних властивостей полімерних композитів. На наступному етапі знайдено аналітичну залежність шуканої властивості композиту від відомих характеристик і побудована математична модель, яка ілюструє зміну властивостей матеріалу від вмісту наповнювача.

Ключові слова: модель, композит, властивості

Kravtsova L.V., Buketov A.V., Pirog A.P.

**DEVELOPMENT OF ANALYTICAL MODEL FOR FORECASTING OF
PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES.**

A mathematical model for predicting properties of heterogeneous polymer composites. On the initial stage research of polymer composites properties was conducted. Next stage was finding out analytical dependence of composites and mathematical modeling which has illustrated the change of material properties depending on concentration of filling material.

Key words: model, composites, properties.

**МОДЕЛИ СИНТЕЗА ВАРИАТИВНОЇ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
УЧЕБНОГО ПЛАНУ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
УПРАВЛЕНИЯ СРЕДНЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ****Нефёдов Л.И., Беспалый В.А.**

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(Украина)

Введение. В условиях информатизации всех сфер жизни общества приоритетное значение имеет использование информационных и телекоммуникационных технологий в сфере образования. Информатизация образования имеет два направления: внедрение информационных технологий непосредственно в процесс обучения и информатизация системы управления образованием. В условиях модернизации системы образования, обновления содержания, методов и форм организации учебного процесса в число приоритетных направлений создания образовательной информационной среды входит совершенствование управления образованием на основе информационных технологий [1, 2]. Несмотря на высокие темпы информатизации образования в последние годы, широкого освоения и эффективного использования информационных технологий не происходит. Такое положение отчасти вызвано недостаточным развитием программных средств в области управления образованием, неготовностью органов власти всех уровней к применению эффективных технологий управления и информационного взаимодействия.

Неотложного внимания требуют проблемы координации взаимодействия органов управления и образовательных учреждений, отсутствия надежной статистики в области образования, необходимой для принятия решений. В конечном счете указанные обстоятельства препятствуют достижению качественно новых образовательных результатов и решению задач управления.

В данном случае целесообразно применение качественно новых форм обучения, которые базируются на применении современных вычислительных средств и внедрении информационных технологий в учебный и управленческий процесс, а это в свою очередь требует совершенствования форм использования информационно-вычислительной техники. Одним из способов решения текущей задачи является создание специализированной информационной технологии системы менеджмента качества (СМК) среднегообразовательного учреждения.

Актуальность исследований. Исследованию проблемы оценки качества деятельности средних образовательных учреждений на рынке образовательных услуг посвящены труды ученых В.И. Васильева, В.Н. Васильева, В.В. Красильникова, С.П. Плаксия, Т.Н. Тягуновой, В.И. Мешалкина и других отечественных исследователей [3].

Хотелось бы обратить внимание на исследования Б.С. Гершунского, Б.Ф. Ломова, Е.И. Машбица, которые акцентируют внимание на вопросах повышения эффективности процесса обучения и применения в нем средств

компьютерных технологий. Теоретические основы использования новых информационных технологий в качестве средства обучения рассматривались в трудах А. Борка, В.М. Глушкова, В.А. Извозчикова, М. Кларка, В.В. Лаптева, В.Е. Медведева, В.М. Монахова и др [4].

Анализ вышеуказанной литературы позволяет сделать вывод о том, что исследования всех этих учёных отражают в основном процедуру информатизации учебного процесса, а управленческие механизмы остаются вне поля зрения. Кроме того, в теории и на практике находится в стадии разработки система критериев, показателей и индикаторов, а также модель организации мониторинга качества в общеобразовательном учреждении. Однако все эти технологии развиваются независимо друг от друга и никак не связаны общей целью, что слабо влияет на эффективность функционирования среднеобразовательного учреждения. Принимая во внимание такие условия функционирования образовательных учреждений (ОУ) и учитывая перспективы дальнейшего развития образовательной среды, необходим переход на новый уровень использования информационных технологий (ИТ), позволяющий применять совершенно новые комплексные методы организации управленческой деятельности.

Постановка цели и задач. Реализация СМК в общеобразовательном учебном заведении позволит реализовать такие функции как организация учебного процесса, обеспечение учащихся учебными материалами, техническое обеспечение для реализации учебного процесса [5,6], а также позволит существенно облегчить и сократить сроки планирования работы общеобразовательного учебного заведения, повысить качество принимаемых решений в условиях динамической внешней среды [7,8].

Для реализации перечисленных функций СМК необходимо решить задачи синтеза информационных и технических средств, которые на данный момент являются наименее разработанными и трудноформализованными в системе среднего образования [9,10].

Справочные и учебные материалы, а также учебные планы являются основой информационных средств СМК. Из всего спектра информационного обеспечения [11] слабоформализованным остается процесс формирования перечня дисциплин учебного плана. Это связано с необходимостью проведения многочисленных, трудоемких экспертных процедур по формированию коллегиального решения по конкретному перечню учебных дисциплин. Данную проблему мы и попытаемся решить в данной статье.

Результаты исследований. Исходными документами в подготовке выпускников являются стандарты среднего образования. Систему стандартов среднего образования составляют: государственные стандарты и стандарты средних учебных заведений. Эта совокупность нормативов и позволяет сформировать учебный план.

Учебный план состоит из двух частей: инвариантной, разрабатываемой на уровне Министерства и вариативной (выборочная часть школы). Наиболее часто изменяемой является вариативная часть, так как она должна учитывать

с одной стороны особенности профиля в школе, с другой – своевременно реагировать на изменения, происходящие на рынке труда, учитывая новые требования к выпускникам. Дисциплины вариативной части позволяют получить дополнительную гуманитарную, фундаментальную или профессионально-практическую подготовку выпускников.

Поэтому немаловажной проблемой при составлении учебного плана является как раз таки формирование вариативной части. В современной школе изменения вариативной составляющей учебного плана происходят крайне редко, поскольку это очень трудоёмкий и слабоформализованный процесс. Но в современном мире возникает острая необходимость постоянной корректировки учебного плана. Это связано с изменениями на рынке труда, в следствии появления новых требований к специалистам данного профиля со стороны работодателей и высших учебных заведений. Процесс выбора данных дисциплин осуществляется на уровне районных управлений образованием, путем многократного обсуждения и согласования мнений экспертов.

В качестве экспертов могут быть выбраны наиболее опытные преподаватели, обладающие высокой компетентностью. Помимо этого, экспертами могут выступать будущие работодатели и представители высших учебных заведений. Следует отметить, что в данном случае усложняется сам процесс обсуждения и согласования за счет необходимости многократно собирать всех экспертов в одном месте и в одно время, что в некоторых случаях может быть невозможным.

В существующей системе формирования списка дисциплин вариативной составляющей увеличение количества экспертов существенно влияет на время совместного обсуждения, согласования и выработку коллегиального решения.

Помимо того, что при таком подходе процесс выбора перечня дисциплин свободного выбора занимает достаточно много времени, кроме этого, существует большой риск, что окончательное решение будет принято не с учетом коллективного мнения, а на основе авторитарного, выраженного наиболее влиятельными экспертами. Таким образом, возникает актуальная задача формализации процесса формирования списка дисциплин вариативной части учебного плана с целью исключения или минимизации субъективных факторов.

Основой формализации данного процесса является информация о качестве учебных дисциплин (их рейтинг). Данная информация необходима для управления процессом обучения. Ее можно получить только на основе использования метода экспертных оценок. Основными показателями курсов являются: важность курса в системе подготовки выпускников данного профиля, содержательность материала курса (научный уровень, глубина изложения), методический уровень изложения (логика размещения материала, четкость и ясность изложения) и т.п.

В общем случае для решения задачи формирования списка дисциплин вариативной части предлагается метод, который состоит из следующих основных этапов:

- формирование критериев оценки учебных дисциплин;
- формирование исходного списка учебных дисциплин;
- выбор перечня профилей;
- выбор системы оценки качества дисциплин;
- экспертная процедура оценки дисциплин по каждому критерию и профилю специальности;
- определение системы ограничений;
- формирование функции полезности локальных критериев;
- синтез обобщенного критерия;
- поиск области компромиссов;
- поиск компромиссного решения по обобщенному критерию.

При этом предлагаемый метод предполагает разнесение во времени и пространстве процесса сбора и обработки экспертных оценок, особенно в случае привлечения экспертов со стороны работодателей и ВУЗов. Такой подход может быть реализован на основе использования сетевых технологий для сбора таких данных, что исключит необходимость собирать экспертов в одном месте и в одно время.

В качестве локальных критериев выбраны [12]:

- максимальная важность дисциплин для данного профиля

$$S(\Omega) = \max_{\Omega} \sum_{i=1}^u s_i x_i,$$

где Ω – область допустимых решений;

u – общее число дисциплин учебного плана;

s_i – важность i -й дисциплины;

x_i – булева переменная, которая принимает значение 1 если i -я дисциплина включена в список, и 0 – в противном случае;

- максимальная содержательность материала дисциплин

$$E(\Omega) = \max_{\Omega} \sum_{i=1}^u e_i x_i,$$

где e_i – содержательность материала i -й дисциплины;

– максимальный методический уровень изложения изучаемого материала дисциплины

$$Z(\Omega) = \max_{\Omega} \sum_{i=1}^u z_i x_i,$$

где z_i – методический уровень изложения изучаемого материала i -й дисциплины;

- минимальная сложность учебного материала i -й дисциплины

$$V(\Omega) = \max_{\Omega} \sum_{i=1}^u v_i x_i,$$

где v_i – количество модулей учебного материала i -й дисциплины.

Используя обобщенную аддитивную форму функции полезности, обобщенный критерий оценки дисциплины можно записать в виде [13, 14]:

$$V(x) = \sum_{l=1}^P a_l \bar{P}_l(f_l(x)),$$

где a_l – весовой коэффициент, отражающий важность l -го локального критерия;

P – количество локальных критериев;

$\bar{P}_l(f_l(x))$ – функция потери полезности l -го локального критерия.

При этом весовой коэффициент a_l определяется, исходя из соотношения:

$$\sum_{l=1}^P a_l = 1,$$

Тогда задача многокритериального выбора дисциплин учебного плана состоит в поиске экстремального значения (5) или (6), при ограничениях:

– на максимальное количество учебных дисциплин:

$$\sum_{i=1}^u x_i \leq L^{don},$$

где L^{don} – допустимое количество дисциплин в учебном плане;

– на время изучения:

$$\sum_{i=1}^u t_i x_i \leq T^{don},$$

где t_i – время изучения обучаемым i -й дисциплины;

T^{don} – допустимое время изучения всех дисциплин.

Приведенная математическая модель относится к классу линейного дискретного программирования с булевыми переменными, реализация которой требует больших вычислительных затрат. В качестве основного алгоритма решения задачи был выбран метод эволюционного моделирования, основанный на теории генетических алгоритмов.

Выбор функции полезности является сложной и нетривиальной процедурой. Сложность заключается в том, что необходимо учесть разнородные характеристики (критерии) проектируемой СМК. Обобщенная процедура построения функции полезности включает следующие шаги:

1. Формирование области допустимых решений.
2. Определение вида функции полезности.

Функция полезности должна отражать представление лица принимающего решения (ЛПР) об ожидаемой полезности возможных исходов. Поэтому множество исходов упорядочивается по их предпочтительности, после чего в соответствие каждому возможному исходу необходимо поставить предполагаемое значение ожидаемой полезности. На этом шаге выясняют, является ли функция полезности монотонной, убывающей или возрастающей.

3. Выбор и обоснование функции полезности.

Необходимо выяснить являются ли согласованными количественные и качественные характеристики функции полезности к данному моменту. Если последует отрицательный ответ, то возникает проблема согласования свойств, что предполагает возврат на более ранние шаги.

Рассмотрим формальные процедуры реализации данных этапов.

Построение приближенной области компромиссов X^p заключается в определении не всего множества решений $x \in X^c$, а только тех решений, которые определяют границы области допустимых решений. При этом условием корректности будет:

$$X^c \subset X^p,$$

где X^c – точная область компромиссов, т. е. точная область компромиссов включена в приближенную.

С целью определения области компромиссов в области допустимых решений Ω проводим оптимизацию по каждому из локальных критериев.

$$x_i = \arg \min_{x \in X} k_i(x),$$

где X – множество допустимых решений.

В процедуре однокритериальной оптимизации последовательно принимаем $a_i = 1$, при этом остальные коэффициенты равны 0.

Результаты заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Таблица определения приближенной области компромиссов

$k_i (i=\overline{1, \rho})$	k_1	k_2	...	k_ρ
k_1	k_{1extr}^1	k_2^1	...	k_ρ^1
k_2	k_1^2	k_{2extr}^2	...	k_ρ^2
...	...	...	...	...
k_ρ	k_1^ρ	k_2^ρ	...	k_{nextr}^ρ

В строки k_i вписываем значения всех локальных критериев, полученные при оптимизации по i -му критерию, т. е. значения локальных критериев в точке i -го локального оптимума. Столбец представляет собой набор значения i -го локального критерия в точках оптимума по всем локальным критериям.

При этом экстремальное значение критерия достигается по главной диагонали. Приближенная область компромиссов X^p в пространстве частных критериев задается отношениями:

$$X^p = \{x \in X \mid k_i(x) \leq k_{iextr} \leq k_{inx}^i, i=\overline{1, \rho}\},$$

где $k_i(x)$ – текущее значение i -го локального критерия;

k_{iextr} – наилучшее значение i -го локального критерия;

k_{inx}^i – наихудшее значение i -го локального критерия.

Рассмотренные критерии являются противоречивыми, имеют различную размерность и физический смысл. С целью приведения к единому

виду и агрегации частных оценок необходимо выбрать и обосновать универсальную функцию полезности локальных критериев, которая отображала бы конкретные особенности и цели разрабатываемой СМК.

Желательно чтобы функция полезности частных критериев была универсальной и хорошо приспособленной для учета особенностей конкретных систем, их целей и критериев. Для этого она должна отвечать следующим требованиям: иметь единый интервал измерения $[0; 1]$; быть безразмерной и инвариантной к виду экстремума частного критерия (минимум или максимум). Последнее означает, что независимо от вида экстремума его наилучшему значению на множестве X должно соответствовать максимальное (равное единице), а наихудшему – минимальное (равное нулю) значение функции полезности частного фактора. Функция полезности должна позволять реализовать как линейные, так и нелинейные неубывающие выпуклые вверх или вниз зависимости от абсолютного фактора. Задача выбора функции полезности, отвечающей указанным выше требованиям известна в теории многокритериального оценивания и оптимизации как задача нормализации частных критериев.

Для оценки принимаемых решений чаще всего используется количественная интервальная шкала, которой соответствует преобразование вида:

$$U_i(x) = \frac{f_i(x) - f_{i\min}}{f_{i\max} - f_{i\min}},$$

где $f_i = V(k_{i\max} - k_{i\min})$;

$$f_i = k_{i\max} / (k_{i\max} - k_{i\min}).$$

Любая альтернатива $x \in X$ характеризуется несколькими частными критериями, каждый из которых имеет интервал и «область изменения». В связи с этим конкретная СМК может описываться нелинейностями различного типа. Это необходимо учесть при выборе функции полезности частных критериев.

Наиболее универсальной и отражающей цели и задачи синтеза информационных средств является функция полезности локальных критериев следующего вида:

$$U_i[k_i(x)] = \left(\frac{k_i(x) - k_{i\min}}{k_{i\max} - k_{i\min}} \right)^{\lambda_i},$$

λ_i – показатель нелинейности. При $\lambda_i = 1$ получаем линейную, при $0 < \lambda_i < 1$ – выпуклую, при $\lambda_i > 1$ – вогнутую зависимости. При этом кривизна зависит от величины λ_i .

В связи с тем, что на ограниченном множестве альтернатив X , $k_{i\max}$ и $k_{i\min}$ являются константами, функция полезности (12) может быть записана в виде:

$$U_i[k_i(x)] = \left[\frac{k_i(x)}{k_{i\max} - k_{i\min}} \right]^{\lambda_i}.$$

Функция (15) характеризует степень принадлежности к локальному оптимуму по k_i критерию. Иногда удобнее пользоваться понятием потери

оптимальности. В этом случае функцию потери полезности, имеющую смысл функции потери оптимальности по i -му частному критерию, можно записать так:

$$L_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{если } k_i(x) \leq k_{i\text{ин}} \\ k_i(x) - k_{i\text{ин}} & \text{если } k_i(x) > k_{i\text{ин}} \end{cases}$$

При определении значений $k_{i\text{ин}}$, $k_{i\text{инк}}$ на множестве допустимых решений X проводится оптимизация по каждому из частных критериев k_i , в результате которой определяются экстремальное по данному критерию решение

$$x_i^* = \arg \min_{x \in X} k_i(x)$$

и соответствующие ему значения всех частных критериев $k_i(x)$. Тогда $k_{i\text{ин}} = k_i(x_i^*)$, а

$$k_{i\text{инк}} = \begin{cases} k_i(x_i^*) & \text{если } k_i(x_i^*) \leq k_{i\text{ин}} \\ k_i(x_i^*) & \text{если } k_i(x_i^*) > k_{i\text{ин}} \end{cases}$$

Интервал $[k_{i\text{ин}}, k_{i\text{инк}}]$ включает в себя точки экстремумов всех частных критериев. Таким образом, значения $k_{i\text{ин}}, k_{i\text{инк}}$, $i = \overline{1, n}$, являются границами отображения приближённой области компромиссов X^p на пространстве критериев K , которая включает область компромиссов, так как для неё выполняется необходимое условие области компромиссов – включение глобальных экстремумов всех частных критериев.

В качестве примера рассмотрим процесс формирования списка дисциплин вариативной составляющей социально-экономического профиля лица №107 города Харькова.

В качестве первичного списка выбраны следующие дисциплины:

1. «Иностранный язык»;
2. «Математика»;
3. «Экономика»;
4. «Право»;
5. «История»;
6. «Физика»;
7. «Литература»;
8. «Охрана безопасности жизни»;
9. «География»;
10. «Обществознание».

На первом этапе каждому эксперту предлагается выразить свое мнение путем определения значений выбранных критериев (в баллах) для каждой дисциплины, которые невозможно выразить численно. После сбора всех экспертных оценок рассчитываются средние оценки по критериям. Такая же

процедура повторяється для визначення відносної важливості кожного вибраного критерію.

Для прикладу розглянемо цикл підготовки, де кількість дисциплін (8) буде рівно чотирьом ($L^{don} = 4$). В таблиці 2 значення критеріїв важливості, змістовності, методичного рівня викладу, складності дисциплін наведені в формі експертних оцінок в діапазоні від 0 до 10 включительно.

Таблиця 2 – Значення критеріїв оцінки навчальних дисциплін

№ дисципліни	Критерії оцінки дисциплін				Время изучения дисциплины t_i (часы)
	Важность дисциплины s_i (баллы)	Содержательность дисциплины e_i (баллы)	Методический уровень изложения дисциплины z_i (баллы)	Сложность учебного материала v_i (кол-во модулей)	
1	6	7	7	6	90
2	8	7	8	6	60
3	10	9	9	9	90
4	9	8	9	5	60
5	8	8	9	6	90
6	4	10	9	5	90
7	5	10	8	6	60
8	6	8	7	6	90
9	8	9	10	8	60
10	9	8	6	5	90

Критерий сложности учебного материала дисциплины определяется количеством модулей, из которых состоит дисциплина. При этом значения по критерию сложности материала дисциплины должны стремиться к максимуму, так увеличение количества модулей облегчает изучение дисциплины. Средние значения весовых коэффициентов, выставленных экспертами по каждому критерию, приведены в таблице 3.

Таблиця 3 – Значення вагових коефіцієнтів частних критеріїв

№	Локальные критерии	Значение весового коэффициента важности локального критерия a_i
1	Важность дисциплины	0,4
2	Содержательность материала дисциплины	0,25
3	Методический уровень изложения дисциплины	0,2
4	Сложность изложения учебного	0,15

	матеріала дисципліни	

Так как величины, приведенные в таблице 2, имеют различную размерность, применим нормализацию в соответствии с (14). В случае использования равномерной оптимизации (коэффициенты относительной важности a_i равны) получим следующие результаты (таблица 4).

Таблица 4 – Нормализованные значения критериев

№ дисци- плин ы	Критерии оценки дисциплин				Сумма значений критерие в
	Важность дисциплин ы s_i	Содержатель- ность дисциплин ы e_i	Методически й уровень изложения дисциплины z_i	Сложность учебного материала v_i	
1	0,2	0,25	0,25	0,25	0,95
2	0,6	0,75	0,5	0,25	2,1
3	1	0,75	0,75	1	3,5
4	0,8	0,5	0,75	0	2,05
5	0,6	0,5	0,75	0,25	2,1
6	0	0,75	0,75	0	1,5
7	0	1	0,5	0,25	1,75
8	0,2	0,5	0,25	0,25	1,2
9	0,6	0,75	1	0,75	3,1
10	0,8	0	0	0	0,8

В случае использования значений весовых коэффициентов a_i реализуется метод удельного весового свертывания. Результаты приведены в таблице 5.

Проведя расчет в соответствии с разработанной многокритериальной моделью, были получены следующие результаты: при использовании метода равномерной оптимизации были выбраны дисциплины с соответствующими номерами: 3, 4, 2, 9. В случае использования нормализованных взвешенных критериев список дисциплин соответствует следующим номерам: 3, 4, 2, 9.

В данном случае разницы между двумя вариантами расчета нет. В большинстве практических случаев применения разработанного подхода является использование нормализованных взвешенных критериев на основе весовых коэффициентов, что позволяет в лучшей мере учесть предпочтения экспертов. Список дисциплин, рассчитанный при использовании нормализованных взвешенных критериев, приведен ниже (таблица 6).

Таблица 5 – Значения нормализованных взвешенных критериев

№ дисци- плин ы	Критерии оценки дисциплин				Сумма значений критерие в
	Важность дисциплин ы ($s_i \cdot 0,4$)	Содержатель- ность дисциплин ы ($e_i \cdot 0,25$)	Методически й уровень изложения дисциплины ($z_i \cdot 0,2$)	Сложность учебного материала ($v_i \cdot 0,15$)	
1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,23
2	0,24	0,19	0,10	0,04	0,57
3	0,40	0,19	0,15	0,15	0,89
4	0,32	0,13	0,15	0,00	0,60
5	0,24	0,13	0,15	0,04	0,55
6	0,00	0,19	0,15	0,00	0,34
7	0,00	0,25	0,10	0,04	0,39
8	0,08	0,13	0,05	0,04	0,29
9	0,24	0,19	0,20	0,11	0,74
10	0,32	0,00	0,00	0,00	0,32

Таблица 6 – Список дисциплин вариативной составляющей учебного плана

№	Наименование учебной дисциплины
1	Математика
2	Экономика
3	Право
4	География

Выводы. Таким образом, проведенный расчет показал работоспособность разработанной модели формирования списка дисциплин вариативной составляющей учебного плана. При этом, значительно сокращаются временные затраты на формирование данного списка при использовании такого формализованного подхода, что достигается за счет учета возможности территориального распределения экспертов, а также сбора экспертных оценок в различные периоды времени, которые более удобны для экспертов. В свою очередь данные факторы позволяют уменьшить количество принимаемых субъективных решений на основе авторитарного влияния одних экспертов на других. Кроме этого, в процессе экспертного обсуждения и оценивания, как правило, эксперты отдают предпочтение какому либо одному критерию, который для них является наиболее важным. Это ведет к сведению данной задачи к однокритериальной постановке, что во многих случаях является недопустимым. Разработанная модель лишена данного недостатка, что позволяет принимать необходимые решения на основе многокритериального оценивания. Помимо этого в отличии от существующих методов, время получения решения с помощью данной модели не зависит от количества задействованных экспертов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение ИКТ в управлении образованием как компонент развития единой образовательной среды : (Материалы XII международной конференции-выставки «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ» («ИТО-2002»)) 4-8 ноября 2002 г., г.Москва) [Электронный ресурс] / А. В. Мартюшов // <http://ito.edu.ru/2002/IV/IV-0-3066.html>.

2. Состояние и перспективы информатизации общего образования: Докл. для Президиума Федерального совета по информатизации общего и начального профессионального образования, 4 июля 2003 г. М.: Федерация интернет-образования, 2003.

3. Дахер Е.А. Современные инновационные компьютерные технологии и их влияние на процесс обучения [Текст] / Е.А. Дахер // Матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції ім. академіка М. Кравчука. — К. : НТУУ ІКПГ. — 2009. — С. 489.

4. Смольникова И.А. Информационные технологии в образовании [Текст] / И. А. Смольникова — М.: АПКиПРО. — 2003. — С. 13–36.

5. Романов А.Н. Технологии дистанционного обучения в системе заочного экономического образования [Текст] / А.Н. Романов, В.С. Торопцов, Д.Б. Григорович — М. : ЮНИТИ ДАНА. — 2000. — 303 с.

6. Левыкин В.М. Комплексная система информатизации ВУЗа [Текст] / В.М. Левыкин // Новый коллегіум. — 2005. — № 4. — С. 13–17.

7. Андреев А.А. Компьютерные и телекоммуникационные технологии в сфере образования [Текст] / А.А. Андреев // Школьные технологии. - 2001. - №3. — С. 15 – 18.

8. Сайков Б.П. Организация информационного пространства образовательного учреждения: практическое руководство [Текст]/ Б.П. Сайков — М. : Бинوم. Лаборатория знаний. — 2005. — 114 с.

9. Смирнова Г.Н. Проектирование информационных систем [Текст] / Г.Н. Смирнова — М. : Финансы и статистика, — 2001. — 192 с.

10. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании [Текст] / И. Г. Захарова — М. : Издательский центр «Академия». — 2003. — 192 с.

11. Norris C. Examining 25 Years of Technology in Education [Текст] / C. Norris, E. Soloway, T. Sullivan // Communications of the ACM. —2002. —Vol. 45, № 8. —Р. 15–18.

12. Кивни Р. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения [Текст] / Р. Кивни, Х. Райфа // Под ред. Харонова И.К. — М. : Наука. — 1989. — 576 с.

13. Евсеев В.В., Хряпкин А.В., Перетятко Ю.А. Системный подход к имитационному моделированию РБД. //13-я международная конференция по автоматическому управлению «Автоматика-2006», 2006г. —С. 334 – 335.

14. Ясенова І.С. Метод розрахунку структурно-логічних схем [Текст] / І.С. Ясенова // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 2/2 (50). — С. 56–58.

**МОДЕЛИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОФИСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ
СВЕТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Нефёдов Л.И., Петренко Ю.А., Плугина Т.В., Кононыхин А.С.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(Украина)

Введение. Эффективная организация офиса способствует повышению производительности труда, влияет на эргономические характеристики рабочего процесса, безошибочность, своевременность обработки информации и принятых решений. Эффективность офиса определяет большое количество различных критериев. Одним из таких критериев является расположение рабочих мест, которое должно учитывать удобство сотрудников и соответствовать нормам и правилам по различным показателям среды функционирования.

Актуальность. В настоящее время местом работы многих людей является офис и очень сложно представить рабочее место офисного сотрудника без персонального компьютера и периферийных устройств. Очень часто данная работа, характеризуется монотонностью, большой мотивацией значимости своей деятельности, что требует от человека нервно-эмоционального напряжения, внимания и зрения, а также занимает 60 - 80% рабочего времени. В условиях офиса деятельностью сотрудника, является получение, переработка, отправка информации и принятия решения в системе «человек - техника - среда».

Поэтому фактор освещения оказывается особенно значительным, поскольку до 96% информации об окружающей среде человек получает с помощью зрения. Учитывая большое значение освещения в создании безопасных условий труда, необходимо разработать модели размещения офисного оборудования с учетом конструктивных решений помещений и комплексного использования естественного и искусственного освещения [1].

Выбор цели и постановка задачи. Цель работы - повышение эффективности, комфортности и безопасности работы сотрудников офиса за счет разработки моделей размещения офисного оборудования с учетом световых показателей. Задачу размещения комплекта офисной мебели для функциональных зон можно сформулировать следующим образом. Имея набор офисного оборудования для каждой функциональной зоны, а также результаты оценки среды функционирования по световым показателям, необходимо разместить выбранное оборудование с учетом заданных критериев и ограничений. Для решения рассматриваемой задачи, необходимо проанализировать особенности световых показателей.

Свет представляет собой область видимого спектра электромагнитных излучений, воспринимаемых нашим глазом. Освещение на рабочем месте – неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечивается

сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность труда находится в прямой зависимости от освещения [2,3].

К вредным факторам световой среды относятся:

- отсутствие или недостаточность естественной освещенности;
- недостаточная искусственная освещенность;
- прямой и отраженный слепящий блеск;
- чрезмерная яркость;
- пульсация освещенности.

Показатели освещенности помещений. Освещенность помещений характеризуется количественными и качественными показателями.

К количественным показателям относятся:

- световой поток F – часть лучистого потока, воспринимаемая человеком как свет, измеряется в люменах, лм;
- пространственная плотность светового потока называемая силой света и измеряют в канделах (кд). Она характеризует неравномерность распространения светового потока в пространстве и определяется выражением:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad (1)$$

где $d\Phi$ – световой поток, исходящий от источника света и распространяющийся равномерно внутри элементарного телесного угла;

$d\Omega$ – величина элементарного телесного угла.;

- освещенность поверхности E

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (2)$$

где dS – величина поверхности;

– яркость протяженного источника света L определяется отношением силы света в данном направлении dI к поверхности источника, видимой по этому направлению, либо отношением светового потока $d\Phi$ к произведению телесного угла $d\Omega$, внутри которого излучается поток, на видимую поверхность источника света:

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \phi} = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cdot \cos \phi}, \quad (3)$$

где dI – сила света в направлении к источнику;

ϕ – угол между нормалью к светящейся поверхности и глазом наблюдателя.

Согласно ГОСТ 50923-95 [4] яркость измеренной поверхности (экран, документ) рассчитывают по формуле

$$\bar{L} = \frac{L_I}{n}, \quad (4)$$

где L_I — значение отсчетов яркости (экрана, документа) в зависимости от силы света I ;

n — число отсчетов яркости измеренной поверхности.

Отношение яркостей C , C_1 в зоне наблюдения рассчитывают по формулам:

$$C = \frac{L_{\text{э}}}{L_{\text{д}}} , \text{ при } L_{\text{э}} > L_{\text{д}} , \quad (5)$$

или

$$C_1 = \frac{L_{\text{д}}}{L_{\text{э}}} \text{ при } L_{\text{д}} > L_{\text{э}} \quad (6)$$

где $L_{\text{э}}$ — яркость экрана;

$L_{\text{д}}$ — яркость документа.

Значения $L_{\text{э}}$ и $L_{\text{д}}$ рассчитывают по формуле (4).

Кроме перечисленных выше светотехнических величин используют коэффициент отражения ρ , характеризующий способность поверхностей отражать падающий на них световой поток:

$$\rho = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}} , \quad (7)$$

где $\Phi_{\text{отр}}$ — отраженный от поверхности световой поток;

$\Phi_{\text{пад}}$ — падающий на поверхность световой поток.

Согласно ГОСТ 50923-95 коэффициент отражений ρ поверхности рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{L_{\text{п}} \pi}{E} , \quad (8)$$

где $L_{\text{п}}$ — яркость поверхности ;

E — освещенность поверхности.

В помещениях, где находится компьютер, необходимо обеспечить следующие величины коэффициента отражения:

- для потолка — 60-70% ;
- для стен — 40 — 50%;
- для пола — 30%
- для других поверхностей и рабочей мебели — 30-40%.

К качественным показателям относятся [5]:

- фон;
- контраст объекта с фоном;
- коэффициент пульсации освещенности ;
- показатель ослепленности.

Фон — это поверхность, на которой происходит различение объекта. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее

световой поток. В зависимости от цвета и фактуры поверхности значения коэффициента отражения $\square$ находятся в пределах 0,02...0,95 .

Контраст объекта с фоном (степень различения объекта и фона) – характеризуется соотношением яркостей рассматриваемого объекта (точки, линии, знака, пятна, трещины, риски или других элементов) и фона:

$$K = \frac{(L_{\phi} - L_o)}{L_{\phi}} , \quad (9)$$

где L_{ϕ} и L_o — соответственно яркость фона и объекта .

Коэффициент пульсации освещенности – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в осветительной установке в результате изменения во времени светового потока источников света при их питании переменным током, выражающийся формулой

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} 100 , \quad (10)$$

где $E_{\max}, E_{\min}$ – соответственно максимальное, минимальное значения освещенности за период ее колебания;

$E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период.

Показатель ослепленности – критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяемый выражением

$$P = (S - 1) \cdot 1000 , \quad (11)$$

где S — коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Объединенный показатель дискомфорта UGR – общеевропейский критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, определяемый по формуле

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0.25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{P_i} \right] , \quad (12)$$

где L_i – яркость i -го блеского источника;

ω_i – угловой размер i -го блеского источника;

P_i – индекс позиции i -го блеского источника относительно линии зрения;

L_a – яркость адаптации.

Естественное освещение оценивается при помощи коэффициента освещения – Q , рассчитанного для бокового освещения.

Модели размещения офисного оборудования с учетом световых показателей. Проведя оценку среды функционирования офиса по световым показателям перед размещением офисного оборудования сформируем ограничения с учетом требований эргономики и техники безопасности.

Рассмотрим постановку задачи более подробно. Известны: площадь помещения S_{Π} ; структура функциональных зон, их конфигурация и геометрические параметры; для каждой функциональной зоны ($\beta = \overline{1, \beta'}$) комплект офисного оборудования, закрепленного за одним рабочим местом, характеризуемый формой, занимаемой площадью S_{γ}^{β} и геометрическими размерами комплекта $M = \{M_{\gamma}\} \quad \gamma = \overline{1, \gamma'}$ [6].

Требуется разместить в каждой функциональной зоне $\beta = \overline{1, \beta'}$ рабочие места, определив их количество $N^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}) \quad \gamma = \overline{1, \gamma'}$ и местоположения (x_{γ}, y_{γ}) по следующим частным критериям каждой зоны:

– максиминный коэффициент естественного освещения и освещенности рабочих мест:

$$E_{\min}^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}), \quad \beta = \overline{1, \beta'}, \quad (13)$$

$$E_{\max}^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}), \quad \beta = \overline{1, \beta'}; \quad (14)$$

– минимальные значения объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации освещенности:

$$UGR_{\min}^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}), \quad \beta = \overline{1, \beta'}, \quad (15)$$

$$K_{\Gamma \min}^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}), \quad \beta = \overline{1, \beta'}; \quad (16)$$

– максимальный коэффициент заполнения функциональных зон:

$$\beta_{\max}^{\beta} = \frac{N^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}) S_{\gamma}^{\beta}}{S_{\Pi}}, \quad \beta = \overline{1, \beta'}. \quad (17)$$

Область допустимых решений определяется следующими ограничениями:

– суммарная площадь размещаемых комплектов мебели в каждой из функциональных зон по санитарным требованиям должна быть не более заданной площади $S^{\beta}(\beta = \overline{1, \beta'})$:

$$N^{\beta}(x_{\gamma}, y_{\gamma}) S_{\gamma}^{\beta} \leq S^{\beta}, \quad \beta = \overline{1, \beta'}; \quad (18)$$

– суммарная площадь функциональных зон $S^{\beta}(\beta = \overline{1, \beta'})$ должна быть не более заданной площади помещения S_{Π} :

$$\sum_{\beta=1}^{\beta'} S^{\beta} \leq S_{\Pi}; \quad (19)$$

– коэффициент естественного освещения и освещенность должны быть не менее заданного для каждой функциональной зоны $Q_{\text{зад}}^{\beta}, E_{\text{зад}}^{\beta}$:

$$UGR(x,y) \leq UGR_{\text{норм}}, \quad I(x,y) \leq I_{\text{норм}}, \quad \gamma \leq \gamma_{\text{норм}}, \quad \beta \leq \beta_{\text{норм}}; \quad (20)$$

— значения объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации освещенности должны не превышать нормированных $K_{\text{норм}}^{\beta}$, $UGR_{\text{норм}}$:

$$UGR(x,y) \leq UGR_{\text{норм}}, \quad K_{\text{норм}}^{\beta}(x,y) \leq K_{\text{норм}}^{\beta}, \quad \gamma \leq \gamma_{\text{норм}}, \quad \beta \leq \beta_{\text{норм}}. \quad (21)$$

Приведенная обобщенная математическая модель (15)–(21) относится к классу многокритериальных задач размещения геометрических объектов произвольной формы в областях прямоугольной геометрической формы.

Выводы. Таким образом, предложенные модели размещения офисного оборудования позволят в отличие от известных комплексно подходить к решению задачи размещения рабочих мест с учетом световых показателей, что позволяет повысить безопасность, производительность труда и комфортность среды функционирования офиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабіч О.В. Поліпшення умов праці на постійних робочих місцях за фактором освітлення: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : спец. 05.26.01 — «Охорона праці»/ О.В. Рабіч — Дніпропетровськ, 2004 — 20 с.
2. Ключкова Е.А. Охрана труда на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / Е.А. Ключкова — М.: Маршрут, 2004. — 412 с.
3. *Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов/ [Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.]; Под ред. Л.А. Муравья. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. — 447 с.*
4. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования к производственной среде. Методы измерения: ГОСТ 50923-95 — ГОСТ 50923-95, — [Дата введения 1997-07-01]. — М. : Росстандарт, 1996. — 11 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации)
5. Естественное и искусственное освещение: СП 52.13330.2011 — СП 52.13330.2011, — [Дата введения 2011-05-20]. — М. : Росстандарт, 2011. — 75 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации)
6. Модели и методы синтеза офисов по управлению программами и проектами: монография / [Л.И. Нефёдов, Ю.А. Петренко, Т.В. Плугина и др.] — Х.: ХНАДУ, 2010: — 344 с.

ДИНАМИКА МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА — ОСНОВА ЕГО ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М.

Институт транспортных систем и технологий
Национальной академии наук Украины
(Украина)

А н н о т а ц и я с т а т ь и :

***Поляков В. А., Хачапуридзе Н. М. Динамика магнитолевитирующего поезда —
основа его потребительских свойств***

The rational ways of improvement of quality of movement of a mechanical subsystem of the electromagnetically suspended train, as a base of its consumer value are proved. The external and internal factors influencing this quality are analyzed. A ways of improvement of such influence are developed. The importance of the developed technique of construction of high-quality movement of a train is predicted.

Обґрунтовані раціональні шляхи підвищення якості руху механічної підсистеми магніто-левітуючого поїзда, як основи його споживчої цінності. Проаналізовані зовнішні та внутрішні фактори, що впливають на цю якість. Розроблені шляхи поліпшення такого впливу. Прогнозована значимість розробленої методики побудови високоякісного руху поїзда.

Обоснованы рациональные пути повышения качества движения механической подсистемы магнитолевитирующего поезда, как основы его потребительской ценности. Проанализированы внешние и внутренние факторы, влияющие на это качество. Разработаны пути улучшения такого влияния. Прогнозирована значимость разработанной методики построения высококачественного движения поезда.

Являясь одним из видов наземного транспорта, магнитолевитирующий поезд (МЛП) предназначен для перемещения пассажиров и грузов. Такое перемещение – его основная функция. Будучи сложным артефактом, МЛП включает различные подсистемы. Их функционирование базируется на всевозможных физических, химических, а также иного рода естественных принципах и эффектах. Однако, исходя из отмеченной основной функции МЛП, качество его механического движения, в итоге, однозначно определяет потребительскую ценность системы в целом.

Обстановка движения [1] поезда сложна и непредсказуема. Вопреки этому, само движение должно оставаться целенаправленным [2], то есть гарантированно решающим двигательные задачи (ДЗ) поезда. Интенсификация перевозочного процесса ещё более обостряет внутреннюю и внешнюю обстановку такого движения. Это, в свою очередь, усложняет упомянутые ДЗ как структурно, так и функционально. Лавинообразно растёт разнообразие реакций, требуемых от МЛП для сохранения требуемого качества движения. К этим реакциям предъявляются всё более высокие требования дифференцированности и точности. Осложняется их смысл. Одновременно среди ДЗ МЛП постоянно растёт число задач непредсказуемых, разовых, экстремальных – взамен предсказуемых, стандартных, паттерных. Парировать описанную коллизию невозможно без радикального повышения динамических ресурсов системы.

Механические и электромагнитные системы, которые могут быть приняты в качестве адекватных расчётных схем соответствующих подсистем МЛП, как правило, являются большими и во многих смыслах сложными. Обычно они не стационарны, сугубо не линейны, не голономны, многосвязны и обладают множеством избыточных степеней свободы. Большинство ограничений, накладываемых на изменение их координат, носят

динамический, а не аналитический характер. Поэтому связями, строго говоря, такие ограничения не являются [3] и не сокращают число степеней свободы своих систем. Достигнуть управляемости таких систем возможно лишь, преодолев упомянутые избыточные степени свободы [4].

Для подавляющего большинства ныне существующих технических систем традиционным путём такого преодоления является введение в них дополнительных аналитических связей, как правило, имеющих контактную натурную реализацию. Это – хотя и возможный, однако весьма примитивный и не выгодный во многих смыслах путь разрешения очерченной проблемы. Для МЛП он, очевидно, приемлемым не является, тем более что в основу концепции такого поезда положен бесконтактный – полевой – принцип динамического воздействия на глобальное положение и ориентацию экипажей [5].

Гораздо более рациональным и приемлемым для МЛП способом преодоления избыточных степеней свободы расчётной схемы (РС) его механической подсистемы (МПС) является координация её движений [6], их построение в форме динамически устойчивых, целостно слитных, структурно единых синергий. Для этого, прежде всего, эта подсистема должна иметь специально созданную структурно-параметрическую организацию, конгруэнтную такому способу управления ею.

Управляемое возмущённое движение РС МПС МЛП может быть описано моделью:

$$\begin{aligned} a_{\lambda\mu} &= \eta^\mu \equiv E_\lambda + P_\lambda; \\ a_{\lambda\mu} &= c_{\lambda\mu} + p^{(2)} + (C_{\lambda,\mu\nu} + \beta_{\lambda\mu}) + p + l_{\lambda\mu}; \\ p &= \frac{d}{dt} \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [1, L], \end{aligned} \quad (1)$$

где $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu}, E_\lambda, P_\lambda \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [1, L]$ – ковариантный метрический тензор агрегата, выбранного в качестве этой РС, трехиндексный символ Кристоффеля первого рода такого агрегата в координатах $\eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [1, L]$, а также сопряжённые с ними обобщённые возмущающие и управляющие силы;

$\beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu \in [1, L]$ – диссипативные и квазиупругие коэффициенты модели;

L, t – число степеней свободы упомянутого агрегата, а также время.

Значения $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu}, \beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [1, L]$ зависят от параметров и структуры РС МПС МЛП. Если уравнения этой модели упорядочены, то коэффициенты $a_{\lambda\lambda} \quad \forall \lambda \in [1, L]$ характеризуют динамические качества каналов подсистемы, соответствующих её координатам. Коэффициенты же $a_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda \neq \mu; \lambda, \mu \in [1, L]$ характеризуют взаимодействие таких каналов. Кроме того, имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} E_\lambda &= S_\lambda^\alpha Q_\alpha; \quad P_\lambda = S_\lambda^\alpha V_\alpha \\ \forall \alpha &\in [1, N]; \lambda \in [1, L], \end{aligned} \quad (2)$$

где $Q_\alpha, V_\alpha \quad \forall \alpha \in [1, N]$ – векторные (непосредственно реализуемые) возмущающие и управляющие воздействия на МПС МЛП;

$N, S_\lambda^\alpha \quad \forall \alpha \in [1, N], \lambda \in [1, L]$ – число опорных координат её РС, а также структурная матрица агрегата, принятого в её качестве.

Поэтому степень влияния возмущающих $Q_\alpha \quad \forall \alpha \in [1, N]$ и управляющих $V_\alpha \quad \forall \alpha \in [1, N]$ воздействий на каналы подсистемы также зависит от её структуры. Иными словами, результатом любой особенности РС МПС МЛП, ведущей к взаимосвязанности её координат, является недиагональность матрицы $\{a_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu \in [1, L]\}$. Исходя из этого, степень связанности упомянутых координат

можно эффективно характеризовать значениями элементов $a_{\lambda\mu} \forall \lambda \neq \mu; \lambda, \mu \in [1, L]$ этой матрицы.

Преодоление избыточных степеней свободы РС МПС МЛП может быть инициировано использованием многоканальных регуляторов, которые, помимо каналов автономного управления, содержат дополнительные внешние перекрестные связи каналов. Указанные внешние связи, дополняя имеющиеся внутренние перекрестные связи управляемого объекта, должны создавать достаточные условия для внутригруппового согласования его связываемых фазовых координат. Поведение же каждой согласуемой группы таких координат, свобода изменения которых ограничена межканальными связями, должно быть эквивалентно поведению единого канала. Тогда оно может синтезироваться методами, соответствующими лишь требованиям к качеству координированного движения.

Конкретизируем приведенные качественные соображения. Для этого разделим $2 \cdot L$ управляемых компонентов вектора состояния МПС поезда $\eta^\lambda, \dot{\eta}^\lambda \forall \lambda \in [1, L]$ $\gamma^\rho = \dot{\gamma}^\rho$

$\forall \rho \in [1, 2 \cdot L]$ на две макрогруппы. В первую из них включим J таких компонентов, требующих автономного управления ими. К ним могут, например, относиться пути, пройденные центрами масс экипажей поезда, углы, определяющие ориентации их кузовов, а также производные этих величин по времени. Во вторую же из упомянутых макрогрупп включим $K = 2 \cdot L - J$ компонентов, подлежащих (хотя бы частичному) преодолению и составляющих группы координат, требующих внутригрупповой координации.

Внутри первой макрогруппы могут встречаться имманентно взаимосвязанные координаты. Стремление к изоляции соответствующих им каналов, стимулированное желанием упростить управление указанными координатами, может акцентироваться условиями нежелательности (или даже недопустимости) их взаимовлияния. Тогда разделение может быть достигнуто, например, исходя из следующего. Как показано, условием независимости λ -го канала системы относительно μ -го является соблюдение соотношения

$$a_{\lambda\mu} \equiv 0; \lambda \neq \mu. \quad (3)$$

Совокупность выражений (1) и (3) позволяет находить для системы структурные и параметрические решения, реализация которых гарантирует полную сепарацию каналов, взаимодействие которых нежелательно.

Из принятого принципа разделения фазовых координат системы на описанные макрогруппы следует, что в части, соответствующей первой такой макрогруппе, построение движения может быть с успехом выполнено методами одноканального

управления. Требуемый закон движения в части каждой из фазовых координат $\eta^\lambda, \dot{\eta}^\lambda$ $\gamma^\rho = \dot{\gamma}^\rho$

$\forall \lambda \in [1, J/2] \forall \rho \in [1, J]$, подлежащих автономному управлению ими, может обеспечиваться, например, с помощью игровых минимаксных [7], а также терминальных [8] методов управления, концептуально гарантирующих заданное качество этого движения.

Качество движения МЛП трудно описуемо глобальным показателем. Обычно имеется ряд критериев, разносторонне характеризующих такое качество. Типичен случай, когда эти критерии: антагонистичны в отношении структуры, параметров и управлений поезда; несоизмеримы по физическому смыслу; не автономны. Поэтому, в общем случае, качество динамики МЛП может быть описано лишь системой антагонистичных,

несравнимых взаимно влияющих критериев. Её уместно назвать критериальной системой динамики (КСД) МЛП.

Назначение движения однозначно определяет его ДЗ. Она же, как правило, исчерпывающе описуема лишь лексикографически. Формализация описания назначения движения, необходимая для разработки алгоритма его построения, достижима после перехода к целям движения (ЦД). Степень достижения каждой из них характеризуется соответствующим критерием – элементом КСД. Для глобальной же количественной характеристики качества решения ДЗ в целом необходим интегративный показатель такого качества, синтетически учитывающий характер и специфику элементов КСД, а также её структуру.

Проблема отыскания такого показателя именуется скаляризацией частных критериев качества [9]. Ныне имеется большое число подходов к её решению [9, 10, 11, 12, 13]. Многие из них нетривиальны и имманентно релевантны отдельным аспектам проблемы скаляризации. Однако, ни один из этих подходов не позволяет в полной мере удовлетворить указанные требования к результирующему глобальному показателю качества движения.

Технико-экономическая концепция создания артефакта [14, 15] предполагает, что основными критериями, которые должны быть учтены показателем качества достижения любой ЦД, являются эффективность и ресурсоёмкость такого достижения. Получаемые в результате показатели называют ресурсо-эффективными. Для расчета их значений все ресурсы, затрачиваемые на достижение цели, приводятся (если это возможно) к единому стоимостному показателю. В практике создания технических систем наиболее часто используются [12, 16] три показателя упомянутого типа. Первый из них – эффективный при наложении ограничения на ресурсный критерий. Второй такой показатель – ресурсный при наложении ограничения на эффективный критерий. Смысл третьего из указанных показателей – стоимость единицы эффективности достижения цели движения (то есть удельная стоимость). Если преследуется j -ая ЦД в его i -ой ситуации, то значение последнего показателя может быть определено выражениями

$$g_{ij} [u(\cdot), w(\cdot)] = c_{ij} [u(\cdot), w(\cdot)] \cdot e_{ij}^{(-1)} [u(\cdot), w(\cdot)]; \\ u(\cdot) \in U(\cdot); \quad w(\cdot) \in W(\cdot), \quad (4)$$

где c_{ij} , e_{ij} – показатели стоимости и эффективности достижения указанной цели;

$u(\cdot)$, $w(\cdot)$; $U(\cdot)$, $W(\cdot)$ – управляющие и возмущающие воздействия на МЛП, а также ограничения на пространства, которым принадлежат возможные реализации таких воздействий.

Здесь и далее функция с точкой на месте аргумента подразумевает всю совокупность её возможных значений.

Результаты анализа приведённых трёх показателей свидетельствуют о том, что: первый и второй из них полностью идентичны и взаимно однозначно определяют друг друга; последний из показателей является общим случаем первых двух. Кроме того, третий показатель более двух иных отвечает антагонистическому характеру элементов КСД, поскольку включает противоречивые факторы. Вследствие отмеченных преимуществ, показатель (4) следует предпочесть другим рассмотренным в качестве типового элемента (ТЭ) КСД.

Эффективность достижения совокупности целей, обеспечивающих решение q -ой ДЗ в i -ой ситуации, может быть описана вектором

$$\{g_{ij} [u_{ij}(\cdot), w_i(\cdot)]; u_{ij}(\cdot) \in U_{ij}(\cdot), w_i(\cdot) \in W(\cdot) \quad \forall \quad j \in \overline{[1, \bar{\varepsilon}]}\}_q, \quad (5)$$

где $U_{qij}(\cdot)$ – множество допустимых решений однокритериальной оптимизационной задачи (ОЗ) синтеза управления, минимизирующего значение g_{qij} ;

$$U_{qij}(\cdot) \subseteq U(\cdot) \subseteq E^l \quad \forall \quad j \in \overline{[1, E_q]}, \quad (6)$$
$$g_{qij} [u_{qij} (\cdot), w_{qi} (\cdot)]; u_{qij} (\cdot) \in U (\cdot), w_{qi} (\cdot) \in W (\cdot) \quad \forall \quad j \in [\overline{1}, \overline{E_q}]. \quad (7)$$
$$\begin{aligned} & \in W(\cdot) \\ g_{qij} [u_{qij}(\cdot), w_{qi}^{\zeta}(\cdot)]; u_{qij}(\cdot) \in U(\cdot), w_{qi}^{\zeta} \zeta \quad \forall \quad j \in [1, \overline{E_q}] \\ & \zeta \\ \gamma_{qij} = \inf_{u_{qij}(\cdot)} \zeta \end{aligned} \quad (8)$$
$$\begin{aligned} \widehat{\check{\mathbf{c}}}_{qijk}(\cdot) \quad \forall \quad k \in [\overline{1, l}] \\ \check{u}^T \quad \forall \quad j \in [\overline{1, \Xi_q}], \\ \widehat{\check{\mathbf{c}}}_{qij}(\cdot) = \check{\mathbf{c}}_u \end{aligned} \quad (9)$$
$$\begin{aligned} \widehat{\check{\epsilon}}_{qijk}(\cdot) \quad & \forall \quad j \in [\overline{1}, \overline{\Xi_q}] \quad k \in [\overline{1}, \overline{l}] \\ & u^T \\ \widehat{\check{\epsilon}}_{qi}(\cdot) = & \check{\epsilon}_i \\ & u \\ & \check{\epsilon}_i \end{aligned} \tag{10}$$

критериев (7). Поэтому управление $[\dot{q}_i]_{\pi^{(i)}}$ паретооптимально по таким критериям, если

$$\begin{aligned} & \widehat{u}_{qij}^{\varepsilon}(\cdot), w_{qi}^{\varepsilon}(\cdot) \\ & [u \vee j \in \overline{[1, \varepsilon_q]}] \\ & \neg \exists u_{qi}(\cdot) \mid g_{qij}[u_{qi}^{\varepsilon}(\cdot), w_{qi}^{\varepsilon}(\cdot)] \leq g_{qij}^{\varepsilon} \end{aligned} \quad (11)$$

и хотя бы для одного $j \in \overline{[1, \varepsilon_q]}$ последнее неравенство – строгое. Для выпуклых целевых функций (7) выделение точек π -области (области компромиссов) $\{U(\cdot)\}_{\pi}$ может быть получено [18] в виде

$$\begin{aligned} & \widehat{u}_{qij}^{\varepsilon}(\cdot), w_{qi}^{\varepsilon}(\cdot) \\ & [u = \min_j p_{qij}[u_{qij}^{\varepsilon}(\cdot), w_{qi}^{\varepsilon}(\cdot)]; p_{qij} = \lambda_{qij} g_{qij} \vee j \in \overline{[1, \varepsilon_q]}, \\ & p_{qij}^{\varepsilon} \end{aligned} \quad (12)$$

где $\lambda_{qij} \vee j \in \overline{[1, \varepsilon_q]}$ – постоянные для каждой точки $[u, w]$ положительные коэффициенты $\lambda_{qij} \in [0, \infty] \vee j \in \overline{[1, \varepsilon_q]}$.

Выражению для определения интегративного показателя качества движения зачастую может быть придан вид функционала

$$J\{x[\cdot, u(\cdot), w(\cdot)]\}, \quad (13)$$

$$\text{где } x(\cdot) = \begin{matrix} \eta^{\lambda}, \eta^{\lambda} \\ \gamma^{\rho} = \end{matrix} \vee \lambda \in \overline{[1, L]} \vee \rho \in \overline{[1, 2L]}.$$

При этом поскольку, как отмечено, $w(t) \vee t \in [s, T]$ обычно непредсказуемы, то гарантированно приемлемое качество каждой реализации процесса в системе при любых возможных таких возмущениях может быть достигнуто лишь при действии на МЛП $u(t) \vee t \in [s, T]$, полученных из минимаксного дифференциально-игрового соотношения [7] вида

$$\begin{aligned} I &= \inf_{u(\cdot)} \sup_{w(\cdot)} J\{x[\cdot, u(\cdot), w(\cdot)]\} = \\ & \int_s^T \lambda[u(\cdot), w(\cdot)] dt : \\ & \inf_{u(\cdot)} \sup_{w(\cdot)} \\ & u(\cdot) \in U, w(\cdot) \in W, t \in [s, T] \end{aligned} \quad (14)$$

где I – показатель качества управления $u(\cdot)$;

$\lambda(\cdot)$ – заданная функция своих аргументов;

$[s, T]$ — интервал времени, на котором строится движение поезда.

Синтез стратегии $u(t) \vee t \in [s, T]$ должен явиться результатом функционирования регулятора МЛП. Предназначенный для построения движения поезда в непредсказуемой обстановке, он должен обеспечивать высокую результативность обработки и использования больших потоков информации. Это возможно лишь при реализации иерархических принципов такого построения [19, 20] за счёт систематизации,

структуризації, рівневої градації, деталізації і конкретизації, а тому – полноти охоплення і використання згаданої інформації про стан системи на різних рівнях побудови її руху. Для кожного з таких рівнів стає характерною структурна і функціональна інформаційна селективність і диференціація, а тому – здатність до високоякісної реалізації обраного для нього кола функцій. Емерджентність такої системи проявляється ієрархічною синтетичністю функціонування рівнів побудови руху в його результативному якості.

Основними факторами, впливними на якість руху МЛП, є параметри і структура системи, визначають її кінематичну і динамічну достаточність для виконання такого руху; поточна внутрішня і зовнішня обстановка, в якій воно реалізується; властивості регулятора системи, в першу чергу – його алгоритм функціонування. Виходячи з цього, мінімально достатньою трьохрівневою структурою згаданого регулятора: на його низовому рівні – інтроконтролер, реалізуючий потрібний набір паттернів рухів МЛП, а також їх стійких синергій; на проміжному рівні – адаптер, пристосовуючий рухи до обстановки; на верхньому рівні – координатор, виснажливо розв'язуючий, в синтетичному взаємодії з блоками попередніх рівнів, рухливий завдання поїзда. Функціональна глобальність цих блоків зростає в зворотному порядку: координатор є ведучим, синтезуючим рівнем регулятора; адаптер – проміжним, узгоджувальним; інтроконтролер – фоновим, провайдерним.

Основна завдання інтроконтролера – «внутрішнє» управління створюваним рухом, що складається з початкової ініціації його потрібних первинних компонентів, а також їх «внутрішньої» зв'язки. Це, в свою чергу, передбачає узгоджене функціонування виконавчих органів, налаштування їх потрібних синергій і так далі. Необхідні дані повинні оперативно надходити від датчиків «внутрішнього відчуття» системи і складають першу з інформаційних макрогруп регулятора.

Синтезоване рух МЛП, виникає в умовах, в загальному випадку, непередбачувано змінюваної обстановки, повинно гарантовано зберігати потрібну якість. Цього можливо досягти шляхом корекції і координації компонентів згаданого руху, реалізованих інтроконтролером, в залежності від збираючої внутрішньої і зовнішньої обстановки. Тому основним функціональним призначенням проміжного рівня побудови такого руху повинно стати надання йому властивості пристосовуваності до обстановки, базуючого на результатах обробки другою інформаційною макрогрупою регулятора. При зміні зовнішньої і (або) внутрішньої обстановки руху, повинні прийматися рішення щодо стратегії його адаптації, тобто – способу формування керуючих впливів на нього з боку адаптаційного рівня регулятора (адаптера) в нових умовах. Іншими словами, управління повинно відслідковувати обстановку.

Висновком реалізації руху поїзда повинно стати виснажливе рішення стоячих перед ним завдань. Однак описані рівні побудови згаданого руху (ні порознь, ні в сукупності) не мають можливості таке рішення забезпечити. Це – призначення верхнього рівня регулятора (координатора). Обробляючи інформацію третьою макрогрупою, і, відповідно, виходячи з глобальних цілей конструйованого руху, цей рівень його побудови повинен, передусім, визначати алгоритм досягнення таких цілей.

Рухливі завдання, підлягають розв'язанню (з їх деталізацією до переслідуючих цілей), повинні ставитися перед системою ззовні (наприклад, з допомогою модуля-датчика) і коректуватися з урахуванням збираючої обстановки (яка оцінюється адаптером). Внаслідок виявлення загального алгоритму такого рішення, повинен визначатися рухливий склад завдання (тобто – мінімально достатній набір паттернів рухів), ініціюватися запити на їх реалізацію (під безпосереднім управлінням інтроконтролера в взаємодії з адаптером), а також здійснюватися ретельний контроль і коректування цієї реалізації. В результаті виконання цього блоку операцій, синтезуються управління МЛП. Таким чином, в будь-який момент як інформаційні потоки

координатора (між ним, з одної сторони, і адаптером, задатчиком, а також інтронтоллером – з другої), так і обслуговуючі його функціонування фонові паттерни рухів повинні бути релевантні вирішуваним їм (в сукупності) завданню. В той же час, функціональна організація такого рішення завжди повинна передувати його руховій організації.

Ітак, результуючий рух системи будується в процесі синтетичного взаємодіяння трьох описаних рівнів регулятора. Ведуща роль в такому побудованні завжди належить верхньому рівню, який, з допомогою синтезованих їм управління, координує роботу двох нижележачих рівнів так, щоб згадане результуючий рух завжди залишався цілеспрямованим (тобто, вирішувало поставлені перед ним завдання). Базис того ж побудованні складають паттерни рухів, а також їх стійкі синергії, конструювані нижнім рівнем регулятора (з урахуванням всіх «внутрішніх» особливостей системи) під впливом його управління. Нарешті, адаптація руху до обстановки здійснюється під впливом управління, синтезованих проміжним рівнем регулятора. Той же рівень коригує підлягаючі вирішенню рухові завдання виходячи з результатів оцінки обстановки.

Реалізація розробленої методики побудованні руху МЛП в непередбачуваній обстановці, в кінцевому підсумку, веде до подолання надлишкових ступенів свободи системи шляхом координації її рухів. Це, в свою чергу, як показано, дозволяє суттєво підвищити управляємість артефакта і, як наслідок, – якість його руху, а отже і його споживчі властивості, без витрати на це надмірних узагальнених ресурсів

ЛИТЕРАТУРА

1. Корень Г. В. Очерки механики целенаправленного движения – М.: Наука, 1980. — 192 с.
2. Тяга поездов: учебное пособие для вузов / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин; под ред. В. В. Деева. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
3. Берёзкин Е. Н. Курс теоретической механики. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 645 с.
4. Управление движением механических систем / Е. Я. Смирнов, В. Ю. Павликов, П. П. Щербаков, А. В. Юрков – Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. – 316 с.
5. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией/ В. А. Дзензерский, В. И. Омельяненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев – К.: Наук. думка, 2001. – 479 с.
6. Алгоритмы управления движением шагающего аппарата: препринт № 63, / Д.Е. Охочимский, А.К. Платонов, Г.К. Боровин, И.И. Карпов, В.Е. Павловский, В.С. Ярошевский. – М.: [ИПМ АН СССР], 1972. – 38 с.
7. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата. – М.: Наука, 1985. – 520 с.
8. Бортовые терминальные системы управления: Принципы построения и элементы теории / Б. Н. Петров, Ю. П. Портнов-Соколов, А. Я. Андриенко, В. П. Иванов. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
9. Хоменюк В. В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. – М.: Наука, 1983. – 124 с.
10. Борисов В. Н. Проблемы векторной оптимизации // Исследование операций. Методологические аспекты: Сб. научн. тр. – М., 1972. – С. 72 - 91.
11. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
12. Захаров И. Г. Методы решения многокритериальной задачи оптимизации технических систем // Техника средств связи. Сер. Техника подводной связи. – Вып. 4. – М., 1985. – С. 139 – 146.

13. Руа Б. Проблемы и методы принятия решения в задачах со многими целевыми функциями // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Сб. научн. тр. – М., 1976. – С. 20 – 58.
14. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
15. Бреслав Л. Б. Техничко-економическое обоснование средств освоения Мирового океана. / Л. Б. Бреслав – Л.: Судостроение, 1982. – 187 с.
16. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
17. Pareto V. Cours d'economie politique. – Lausanne, 1896. – 506 p.
18. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. – М.: Наука, 1964. – 838 с.
19. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара - М.: Мир, 1973 - 332 с.
20. Мангейм М. Л. Иерархические структуры. - М.: Мир, 1970 - 180 с.

**КОГНИТИВНИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ
И БИКЛАСТЕРИЗАЦИИ***Прокопчук Ю.А., к.ф.м.н., доцент**Институт технической механики НАНУ и ГКАУ, ст. научн. сотр.***Введение и постановка задачи.**

Трудно найти что-то более важное для нормального функционирования мышления, восприятия, деятельности и речи, чем процессы категоризации, в результате которых формируются понятия, концепты и категории (по большей части, неосознаваемые). Изучение процессов категоризации особенно важно для разработки формальных моделей различных аспектов интеллектуальной деятельности [1-6]. В работе рассматривается возможность построения некоторых моделей, опираясь на методологию бикластеризации, анализа формальных понятий и принцип предельных обобщений [5, 6].

Анализ Формальных Понятий (АФП) предоставляет решеточные модели особого вида, позволяющие сохранять объектно-признаковое описание сходства группы объектов внутри кластера и, кроме того, строить иерархии таких кластеров по отношению «быть более общим, чем» [1-3]. В рамках этой области сформулировано математическое определение формального понятия (ФП) и описано построение иерархий ФП. Исходно ФП является парой вида (объем, содержание), где под объемом понимается некоторое множество объектов, а под содержанием — множество их общих признаков. Это определение соответствует описанию бикластера. Исходные данные в АФП представляются в виде объектно-признаковой матрицы, состоящей из нулей и единиц, а ФП является максимальный прямоугольник (с точностью до перестановок столбцов и строк) такой матрицы, заполненный единицами. Множество всех ФП упорядоченно и образует полную решетку, называемую «решеткой формальных понятий».

В ряде работ исследуются возможности «ослабления» требований к определению ФП, например, рассматриваются шумоустойчивые понятия и нечеткие решетки понятий [1]. Сообщество FIMI (Frequent Itemset Mining Implementation), изучает проблемы поиска частых (замкнутых) множеств признаков в больших базах данных. Задача поиска частых множеств признаков является одной из центральных тем в Data Mining. Замкнутые множества признаков являются в точности содержаниями ФП [2].

Несмотря на большое разнообразие подходов к бикластеризации, многие вопросы остаются открытыми, в частности, данные подходы не учитывают современных представлений о понятии (категории), как о сложно устроенном когнитивном феномене, не имеющем однозначной семантической репрезентации. Стало ясно, что процесс категоризации (выработки понятия) устроен куда сложнее, чем определение сущности, объединяющей элементы с общими признаками [4]. Когнитивный подход допускает ситуации, когда одни из объектов (прецедентов) в большей степени соответствуют представлению о понятии (категории), чем другие

(поняттям, категоріям свойственно иметь найлучших представителей). В отличие от обычной таксономии, категории, занимающие «серединное» положение в когнитивной иерархии, являются базовыми. Основная часть знания структурируется именно на этом уровне. Понятия, категории зависят от специфически человеческих способностей к восприятию, к созданию ментальных образов, к обучению и запоминанию, к организации усвоенных фактов и к эффективной коммуникации. Классические теории АФП и бикластеризации в этом отношении идеальны, поскольку в них понятия определяются исключительно в терминах общих характеристик их членов, а не в терминах специфических свойств человеческого понимания [4].

Авторский подход к когнитивным технологиям, включая Принцип предельных обобщений (ППО), изложен в работах [5, 6]. Ключевыми понятиями подхода являются Банк тестов $\{G(\tau)\}$, база прецедентов $\Omega = \{\alpha(\{t/T\}, z/Z)\}$, синдромные $\{S\}$ и предельные синдромные модели знаний $\{S^z\}$, Z -задача, где Z – множество заключений.

Задачей настоящего исследования является применение когнитивного подхода к бикластеризации, который включает в себя три группы моделей:

- модели на основе замкнутых множеств;
- модели на основе синдромного подхода;
- модели на основе орграфов набросков.

Полученные результаты.

Один из основных тезисов когнитивного подхода к АФП и бикластеризации заключается в том, что ключевое понятие «сходство» (задается операторами соответствия) имеет смысл только в рамках фиксированного уровня общности описания (совокупности доменов всех тестов). Различные уровни общности описания прецедентов формируются системой координат феноменологического пространства наблюдателя в виде Банка тестов. Другой важный тезис заключается в априорной «многоликости» понятия (категории, образа), в суперпозиции смыслов, вкладываемых в понятие, в существовании ядра и периферии системных признаков понятия (данный тезис реализуется в рамках синдромных моделей). Как следствие, все рассматриваемые модели обладают высокой устойчивостью к шумам за счет предельного обобщения и восстановления данных на основе моделей знаний.

Контекстом в АФП называют тройку $K = (G, M, I)$, где G — множество объектов, например, множество ситуаций действительности Ω (множество прецедентов); M — множество признаков (в нашем случае — Банк тестов), а бинарное отношение $I \subseteq G \times M$ говорит о том, какие объекты какими признаками обладают [2, 3].

При анализе прецедентов $\Omega = \{\alpha(\{t/T\})\}$ под контекстом K в общем случае можно понимать тройку $\langle \Omega, \{G(\tau)\}, \{t/T\} \rangle$, а в традиционной нотации $K_{\{t/T\}} = (\Omega, \{G(\tau)\}, I_{\{t/T\}})$, что означает фиксирование определенного уровня описания (доменов) по всем тестам. Без потери общности будем предполагать, что каждый тест входит в описание

прецедента один раз, принимает одно значение и что для каждого прецедента известны значения всех тестов на всех уровнях (база прецедентов с полной информацией). Последнее требование фактически означает, что прецеденты должны быть описаны с помощью базовых доменов всех тестов: $\Omega = \{\alpha(\{\tau/T_0\})\}$.

Главной особенностью контекста $K_{\{\tau/T\}}$ является зависимость результатов всех операций АФП от рассматриваемого уровня общности. Бинарное отношение $I_{\{\tau/T\}}$ в контексте $K_{\{\tau/T\}}$ можно представить следующим образом (все элементы всех доменов считаются различными):

$$I_{\{\tau/T\}} \subseteq \Omega \times M_{\{\tau/T\}}, \text{ где } M_{\{\tau/T\}} = T_{\tau 1} \cup \dots \cup T_{\tau N}, \quad N = |\{\tau\}|. \quad (1)$$

Если уровень общности не фиксирован, то такой контекст будем называть свободным и обозначать $K_{\{\tau/T\}} = \langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$.

Прецеденты могут быть описаны на уровне синдромов той или иной синдромной модели знаний $\{S\}$, т.е. $\Omega(Z) = \{\alpha(\{S\})\} \equiv \{\{S\}_a\}$. Под контекстом $K_{\{S\}}$ в этом случае можно понимать пару $\langle \Omega(\{\{S\}_a\}), \{S\} \rangle$. В традиционной интерпретации можно записать: $K_{\{S\}} = (\Omega(Z), \{S\}, I_{\{S\}})$, где $I_{\{S\}} \subseteq \Omega \times \{S\}$. Ясно, что $K_{\{\tau/T\}}, Z \rightarrow K_{\{S\}} \rightarrow K_{\{S^q\}}$. В рамках данной цепочки происходит радикальное изменение объектно – признаковового описания.

Контекст $K_{\{S\}}$ имеет значительно более высокий системный уровень, чем контексты $K_{\{\tau/T\}}$ и $K_{\{\tau/T\}}$ особенно, если речь идет о контекстах $K_{\{S^q\}}$. В рамках контекста $K_{\{S\}}$ категоризация осуществляется в два этапа: на первом этапе формируется синдромная модель знаний (формируются новые системные признаки), а на втором этапе формируются понятия уже на основе системных признаков. Контекст $K_{\{S^q\}}$ с полным основанием можно отнести к базовому уровню концептуальной организации. Следовательно, и понятия контекста $K_{\{S^q\}}$ также можно отнести к базовому уровню. К этому уровню относится и редуцированный Банк тестов $\{G^{\epsilon}(\tau)\}$, с помощью которого можно формировать контексты $K_{\{\tau/T\}}$ базового уровня («пучок признаков» является предшественником синдрома). Поскольку предельные синдромы являются гештальтами, то и идеализированные понятия базового уровня несут многие черты гештальтов.

База прецедентов может представлять собой множество образов $\Omega(\{w\})$. Для каждого образа w автоматизмами среды строятся орграфы набросков $G_s(w)$. Орграф набросков содержит слои набросков $\{p\}/G_s(w)$, где p – набросок, а также экстремальный пограничный слой набросков $\{p^{\epsilon}\}/G_s(w)$. Соответственно можно рассматривать множество разных контекстов, например: $K_{\{G_s\}} = \langle \Omega(\{w\}), \{G_s(w)\}, \{G(\tau)\} \rangle$ – свободный контекст, $K_{\{p/G_s\}}$ – контекст фиксированного уровня общности, $K_{\{p^{\epsilon}/G_s\}}$ – контекст базового уровня и т.д. На основе орграфов набросков $\{G_s(w)\}$ могут быть построены (предельные) синдромные модели знаний $\{S_w\}$, следовательно, контекстом базового уровня является контекст

$K_{\{S/Gs\}} = \langle \Omega(\{w\}), \{Gs(w)\}, \{S_w\} \rangle$ [5].

Для произвольных $A \subseteq G$ и $B \subseteq M$ в АФП определены операторы соответствия Галуа [1-3]:

$$A' = \{m \in M \mid \forall g \in A (g \text{ I } m)\}; \quad B' = \{g \in G \mid \forall m \in B (g \text{ I } m)\}. \quad (2)$$

Оператор “ (двукратное применение оператора ‘) является оператором замыкания: он идемпотентен ($A = A''$), монотонен ($A \subseteq B$ влечет $A' \subseteq B'$) и экстенсивен ($A \subseteq A''$). Множество объектов $A \subseteq G$, такое, что $A = A''$, называется замкнутым. Аналогично для замкнутых множеств признаков - подмножеств множества M .

Пара множеств (A, B) , таких, что $A \subseteq G$, $B \subseteq M$, $A' = B$ и $B' = A$, называется формальным понятием контекста K [1-3]. Множества A и B замкнуты и называются объемом и содержанием формального понятия (A, B) соответственно. Понятия, упорядоченные отношением

$$(A_1, B_1) \geq (A_2, B_2) \Leftrightarrow A_1 \supseteq A_2,$$

образуют полную решетку, называемую решеткой понятий.

Для множества объектов A множество их общих признаков A' служит описанием сходства объектов из множества A , а замкнутое множество A'' является кластером сходных объектов (с множеством общих признаков A').

Для произвольного $B \subseteq M$ величина $|B'|$ называется поддержкой (support) B и обозначается $\text{sup}(B)$. Нетрудно видеть, что множество B замкнуто тогда и только тогда когда для любого $D \supset B$ имеет место $\text{sup}(D) < \text{sup}(B)$. Множество $B \subseteq M$ называется k -частым если $|B'| > k$ (то есть множество признаков B встречается в более чем k объектах), где k – параметр.

Для произвольных $\{a\} \subseteq \Omega$ и $\{b/B\} \subseteq M_{\{\tau/T\}}$ в рамках контекста $K_{\{\tau/T\}}$ запишем операторы соответствия следующим образом:

$$\{a\}'_{\{\tau/T\}} = \{b/B \in M_{\{\tau/T\}} \mid \forall a \in \{a\} (a \text{ I}_{\{\tau/T\}} b/B)\}; \quad (3)$$

$$\{b/B\}'_{\{\tau/T\}} = \{a \in \Omega \mid \forall b/B \in \{b/B\} (a \text{ I}_{\{\tau/T\}} b/B)\}. \quad (4)$$

Каждый тест во множество $\{b/B\}$ входит только один раз. Справедливо предложение.

Предложение 1. Результат операции $\{b/B\}'_{\{\tau/T\}}$ будет одинаковым во всех контекстах $K_{\{b/B\} \cup \{a/A\}}$, где $\{a/A\}$ – произвольное дополнение $\{b/B\}$ до полного описания $\{\tau/T\}$.

Можно говорить о кластере контекстов с общим ядром $\{b/B\}$: $\{K\}_{\{b/B\}} = \{K_{\{b/B\} \cup \{a/A\}}\}$. Другими словами, результат операции $\{b/B\}'_{\{\tau/T\}}$ будет одинаковым в рамках кластера контекстов $\{K\}_{\{b/B\}}$.

Операторы соответствия контекста $K_{\{S\}}$ имеют стандартный вид:

$$\{\alpha\}'_{\{S\}} = \{S \in \{S\} \mid \forall \alpha \in \{\alpha\} (\alpha I_{\{S\}} S)\} ; \quad (5)$$

$$\{Si\}'_{\{S\}} = \{\alpha \in \Omega \mid \forall S \in \{Si\} (\alpha I_{\{S\}} S)\} . \quad (6)$$

Как известно любую синдромную модель знаний $\{S\}$ в рамках Z -задачи можно представить в виде $\{S\} = \dot{\cup}_j \{S\}_j$, где $\{S\}_j$ отвечает $z_j \in Z$. Соответственно, $\Omega(Z) = \dot{\cup}_j \Omega(z_j)$.

Предложение 2. Пусть дано множество синдромов $\{Si\} \subseteq \{S\}$. Если существуют i, j такие, что $i \neq j$, $\{Si\} \cap \{S\}_j \neq \dot{\cup} \emptyset$, $\{Si\} \cap \{S\}_i \neq \dot{\cup} \emptyset$, то $\{Si\}'_{\{S\}} = \emptyset$.

Следствие 1. Если $\{Si\}'_{\{S\}} \neq \emptyset$, то $\exists j: \{Si\} \subseteq \{S\}_j$, а $\{\alpha\} \subseteq \Omega(z_j)$.

Дадим определения *обобщенных операторов соответствия* в рамках свободного контекста $K_{\dot{\cup}\{\tau/T\}}$:

$$\{\alpha\}'_{\dot{\cup}\{\tau/T\}} = \{\underline{b}/B\}_+ = \dot{\cup}_{b \in \{\tau\}} (\cap_{\alpha \in \{\alpha\}} (b/B)_\alpha^+) , \quad (7)$$

$$\{\underline{b}/B\}'_{\dot{\cup}\{\tau/T\}} = \{\beta\} , \text{ таких что } \{b/B\} \subseteq \dot{\cup}_{c \in \{\tau\}} (\cap_{\beta \in \{\beta\}} (c/C)_\beta^+) , \quad (8)$$

где $()^+$ - замыкание множества значений тестов; нижний индекс «+» является маркером операции. Каждый тест во множество $\{\underline{b}/B\}$ может входить несколько раз, но с разными доменами (при этом не должно быть противоречивых данных). Ясно, что операторы (7) – (8) можно представить в традиционном виде, например:

$$\{\underline{b}/B\}'_{\dot{\cup}\{\tau/T\}} = \{\alpha \in \Omega \mid \forall b/B \in \{\underline{b}/B\} (\alpha I_{\dot{\cup}\{\tau/T\}} b/B)\} , \quad (9)$$

где $I_{\dot{\cup}\{\tau/T\}} \subseteq \Omega \times M_{\dot{\cup}\{\tau/T\}}$, а $M_{\dot{\cup}\{\tau/T\}}$ объединяет все домены всех орграфов Банка тестов. Однако подобное представление нивелирует эффект обобщения, связанный с замыканием (эффект движения информации).

Приведем пример применения операторов соответствия (7) – (8). Пусть $\{G(\tau)\} = \{G^+(a), G(b)\}$, где $G^+(a)$ – структурно-завершенный орграф доменов для $G(a)$ [5]. Конфигураторы $G(a)$ и $G(b)$ имеют вид:

$$a \{A \{1; 2; 3; 4\}\}; \quad b \{B \{1; 2; 3\}\}; \quad G(b) = B; \quad G(a) = A.$$

Соответственно структурно-завершенный орграф $G^+(a)$ будет иметь вид:

$$\begin{aligned} a \{A4 \#A \{4 \wedge 4; \neg 4 \wedge 1 \ 2 \ 3\} A3 \#A \{3 \wedge 3; \neg 3 \wedge 1 \ 2 \ 4\} A2 \#A \{2 \wedge 2; \neg 2 \wedge 1 \ 3 \ 4\} \\ A1 \{1 \wedge 1; \neg 1 \wedge 2 \ 3 \ 4\} A \{1; 2; 3; 4\}\}; \\ G^+(a) = \{A \rightarrow A1; A \rightarrow A2; A \rightarrow A3; A \rightarrow A4\}. \end{aligned}$$

Домены A и B являются базовыми. С их помощью описываются прецеденты.

Пусть $\Omega = \{\alpha, \beta, \gamma\}$, где

$$\alpha = (a/A?1; b/B?1), \quad \beta = (a/A?2; b/B?2), \quad \gamma = (a/A?1; b/B?3).$$

Построим замыкания по всем тестам каждого прецедента:

$$\begin{aligned} (a/A)_\alpha^+ = (a/A)_\gamma^+ = \{a/A?1; a/A1?1; a/A2?\neg 2; a/A3?\neg 3; a/A4?\neg 4\}; \\ (a/A)_\beta^+ = \{a/A?2; a/A1?\neg 1; a/A2?2; a/A3?\neg 3; a/A4?\neg 4\}; \end{aligned}$$

$$(b/B)_\alpha^+ = \{ b/B?1 \}; \quad (b/B)_\beta^+ = \{ b/B?2 \}; \quad (b/B)_\gamma^+ = \{ b/B?3 \}.$$

Применим обобщенные операторы соответствия контекста $<\Omega, \{G^+(a), G(b)\}>$:

$$\begin{aligned} \{\alpha, \beta\}'|_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} &= \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4 \}; \\ \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4 \}'|_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} &= \{\alpha, \beta, \gamma\}; \\ \{\alpha, \beta, \gamma\}'|_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} &= \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4 \}. \end{aligned}$$

Как видим, пара множеств $(\{\alpha, \beta, \gamma\}, \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4 \})$ образует формальное понятие контекста $K_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} = <\Omega, \{G^+(a), G(b)\}>$.

Изменим контекст. Рассмотрим модернизированный Банк тестов $\{G(\tau)\} = \{G^+(a), G^+(b)\}$, где $G^+(b)$ – структурно-завершенный орграф для орграфа $G(b)$. По умолчанию он имеет такую же структуру, как и орграф $G^+(a)$, а именно:

$$b \{B3 \#B \{3 \wedge 3; \neg3 \wedge 1 \ 2\} B2 \#B \{2 \wedge 2; \neg2 \wedge 1 \ 3\} B1 \{1 \wedge 1; \neg1 \wedge 2 \ 3\} B \{1; 2; 3\}\}; \quad G^+(b) = \{B \rightarrow B1; B \rightarrow B2; B \rightarrow B3\}.$$

База прецедентов остается прежней. В рамках контекста $K_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} = <\Omega, \{G^+(a), G^+(b)\}>$ легко получить следующий результат

$$\begin{aligned} \{\alpha, \beta\}'|_{\mathcal{L}\{\tau/T\}} &= \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4; b/B3?\neg3 \}; \\ \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4; b/B3?\neg3 \}'|_{\cup\{\tau/T\}} &= \{\alpha, \beta\}. \end{aligned}$$

Как видим, изменив в контексте лишь один орграф Банка тестов и не меняя базу прецедентов, мы получили совсем другой результат, в частности, формальное понятие образует иная пара множеств $(\{\alpha, \beta\}, \{ a/A3?\neg3; a/A4?\neg4; b/B3?\neg3 \})$.

Пусть F – некоторый оператор вида

$$F : \{\alpha\}, \{G(\tau)\} \rightarrow \{\underline{b}/B\}_F. \quad (10)$$

С помощью оператора F определим обобщенные операторы соответствия контекста K_F :

$$\{\alpha\}'|_F = \{\underline{b}/B\}_F = F(\{\alpha\}, \{G(\tau)\}), \quad (11)$$

$$\{\underline{b}/B\}'|_F = \{\beta\}, \quad \text{таких что } \{\underline{b}/B\} \subseteq F^+(\{\beta\}, \{G(\tau)\}), \quad (12)$$

где F^+ – замыкание множества значений тестов. Видно, что обобщенные операторы соответствия контекста $K_{\mathcal{L}\{\tau/T\}}$ являются частным случаем обобщенных операторов соответствия контекста K_F . Приведем для примера еще одну интерпретацию оператора F :

$$\{\alpha\}'|_F = \{\underline{b}/B\}_F = \dot{\mathcal{L}}_{b \in \{\tau\}}(\bigcap_{a \in \{\alpha\}} (b/B)_a^+)^-, \quad (13)$$

где $\{\}^-$ – нижний предел множества значений тестов.

Приведем нотации операторов замыкания в разных контекстах:

$$\{\alpha\}'|_{\text{line } \text{rSub} \{ \text{size } 8 \{ \text{lbrace } \tau/T \text{ rbrace } \} \} \} \} = \{\beta\} \quad \text{– замыкание по}$$

прецедентам, т.е. определение кластера сходных прецедентов по заданному

исходному множеству прецедентов (ситуаций действительности). Уровень общности фиксирован;

$$\{\alpha\} \setminus \text{line} \text{ rSub } \{ \text{size } 8 \{ \text{union } \text{lbrace } \tau/T \text{ rbrace } \} \} \} = \{\beta\} \quad \text{— замыкание по}$$

прецедентам, т.е. определение кластера сходных прецедентов по заданному исходному множеству прецедентов в рамках свободного контекста $K_{\tau/T}$ (уровень общности не фиксирован);

$$\{\alpha\} \setminus \text{line} \text{ rSub } \{ \text{size } 8 \{ \text{lbrace } S \text{ rbrace } \} \} \} = \{\beta\} \quad \text{— замыкание по}$$

прецедентам, т.е. определение кластера сходных прецедентов в рамках контекста $K_{\{S\}}$;

$$\{b/B\} \setminus \text{line} \text{ rSub } \{ \text{size } 8 \{ \text{lbrace } \tau/T \text{ rbrace } \} \} \} = \{a/A\} \quad \text{— замыкание по}$$

тестам, т.е. определение всех совпадающих результатов тестов у прецедентов, у которых совпадают некоторые априорно заданные результаты тестов. Уровень описания всех тестов фиксирован;

$$\{b/B\} \setminus \text{line} \text{ rSub } \{ \text{size } 8 \{ \text{union } \text{lbrace } \tau/T \text{ rbrace } \} \} \} = \{a/A\} \quad \text{— замыкание}$$

по тестам. Уровень описания не фиксирован;

$$\{S\} \setminus \text{line} \text{ rSub } \{ \text{size } 8 \{ \text{lbrace } S \text{ rbrace } \} \} = \text{lbrace } S' \text{ rbrace } \} \quad \text{— замыкание по}$$

синдромам в рамках контекста $K_{\{S\}}$.

Уточним формулировки идеализированных формальных понятий в рамках контекстов $K_{\{S\}}$, $K_{\tau/T}$ и $K_{\tau/T}$.

Пара множеств $(\{\alpha\}, \{S\}_{\{\alpha\}})$, таких, что $\{\alpha\} \subseteq \Omega$, $\{S\}_{\{\alpha\}} \subseteq \{S\}$, $\{\alpha\}' = \{S\}_{\{\alpha\}}$ и $(\{S\}_{\{\alpha\}})' = \{\alpha\}$, называется *формальным понятием контекста* $K_{\{S\}}$. В качестве модели знаний $\{S\}$ рекомендуется выбирать предельную синдромную модель $\{S^{\epsilon}\}$. Понятия контекста $K_{\{S^{\epsilon}\}}$ относятся к базовому уровню концептуализации. Справедливо утверждение.

Предложение 3. Все формальные понятия контекста $K_{\{S\}}$ разбиваются на N непересекающихся классов, где $N = |Z|$. Каждый j -ый класс определяется подконтекстом $\langle \Omega(z_j), \{S\}_j \rangle$, где $\{S\}_j$ отвечает $z_j \in Z$.

Доказательство опирается на *предложение 1*.

Пару множеств $(\{\alpha\}, \{a/A\})$, таких, что $\{\alpha\} \subseteq \Omega$, $\{\alpha\}'_{\tau/T} = \{a/A\}$ и $\{a/A\}'_{\tau/T} = \{\alpha\}$, назовем *формальным понятием контекста* $K_{\tau/T}$ (при условии, что каждый тест входит в описание один раз и база прецедентов с полной информацией).

Пару множеств $(\{\alpha\}, \{b/B\})$, таких, что $\{\alpha\} \subseteq \Omega$, $\{\alpha\}'_{\tau/T} = \{b/B\}$ и $\{b/B\}'_{\tau/T} = \{\alpha\}$, назовем *формальным понятием контекста* $K_{\tau/T}$. В данном варианте уровень общности заранее не фиксирован.

Предложение 4. Если пара множеств $(\{\alpha\}, \{a/A\})$ является формальным понятием контекста $K_{\{a/A\} \cup \{b/B\}}$, то она будет формальным понятием любого контекста $K_{\{a/A\} \cup \{b/B'\}}$, где $\{b/B\} \geq \{b/B'\}$ [6].

Предложение 5. Если пара множеств $(\{\alpha\}, \{a/A\})$ является формальным понятием свободного контекста $K_{\tau/T}$ и каждый тест входит в

$\{a/A\}$ только один раз, то эта пара будет также формальным понятием фиксированных контекстов $K_{\{a/A\} \cup \{b/B\}}$, где $\{b/B\}$ – произвольное дополнение $\{a/A\}$ до полного описания $\{\tau/T\}$.

Действительно, если нашлось бы какое-то значение b/B принадлежащее всем $\{a\}$, то оно обязательно вошло бы в замыкание $\{a/A\}^+$, что противоречит условию. Следовательно, никакие значения b/B не могут быть добавлены к $\{a/A\}$. При фиксированном контексте каждый тест входит в $\{a/A\}$ только один раз (при свободном контексте это условие, как правило, не выполняется). Таким образом, выполнены все требования понятия фиксированного (по уровню общности) контекста.

Рассмотрим модели АФП и бикластеризации на основе синдромного подхода. Зададим контекст $K_Z = \langle \Omega(\{a(z_a)\}), Z, I_Z \rangle$ следующим образом:

$$a \ I_Z \ z/Z \Leftrightarrow z_a = z/Z.$$

Справедливо предложение.

Предложение 6. Полное множество формальных понятий контекста K_Z образуют пары $(\{a\}_j, z_j)$, где $z_j \in Z$, а $\{a\}_j = \Omega(z_j)$. Всего имеется N понятий, где $N = |Z|$.

Каждому понятию $(\{a\}_j, z_j)$ контекста K_Z однозначно соответствует сопряженная пара множеств $(\{a\}_j, \{S\}_j)$ контекста $K_{\{S\}}$, где $\{S\}_j$ отвечает $z_j \in Z$, следовательно, между объектами j -го понятия (бикластера) имеется лишь *семейное сходство*: они связаны общим заключением z_j , при этом у них может не быть общих свойств (синдромов). Действительно, в рамках любого $\{S\}_j$ может существовать *директивная зона* (общее ядро синдромов)

$$\{S\}_{\Omega_j} = \bigcap_{a \in \Omega_j} \{S\}_a, \quad j \in Z. \quad (14)$$

и *зона возможности*: $\{S\}_j^c = \{S\}_j \setminus \{S\}_{\Omega_j}$. Если $\{S\}_{\Omega_j} = \emptyset$, то это означает, что у объектов j -го бикластера нет общих свойств (кроме семейного сходства).

Директивная зона и зона возможности формируют структуру понятия «центр - периферия».

Благодаря наличию зоны возможности процедура распознавания семейного класса z/Z для нового или знакомого прецедента обладает максимальной *пластичностью* и *устойчивостью* к шумам. Устойчивость к пропускам данных повышает *процедура восстановления данных на основе моделей знаний*: для каждого дискретного домена теста, входящего в описание прецедентов, по требованию строится синдромная модель знаний (домен теста выступает в качестве Z); с использованием моделей знаний производится восстановление значения требуемого уровня общности.

Учитывая также предвестники $\{R\}_j$, сопряженность пар множеств $(\{a\}_j, z_j)$ и $(\{a\}_j, \{S\}_j, \{R\}_j)$ будем обозначать следующим образом ($j \in Z$):

$$(\{a\}_j, z_j) \leftrightarrow (\{a\}_j, \{S\}_j, \{R\}_j), \quad \{a\}_j = \Omega(z_j), \quad \{S\}_j \subset \{S\}, \quad \{R\}_j \subset \{R\} \quad (15)$$

или в сокращенной нотации: $(\{a\}_j, z_j, \{S\}_j, \{R\}_j)$, $j \in Z$. Структура (15)

означає, що будь-яке емпіричне поняття повинно бути зрозумілим як *мікро-теорія* со своєю внутрішньої логічної структурою. Тільки звернення до внутрішньої структури понять або образів дозволяє ієрархічно пов'язувати їх з мисливими образами і теоретичними положеннями більш високих структурних рівнів (з судженнями, умозаключеннями, пропозиціями).

Важко відзначити, що пари $(\{a\}_j, z_j)$ належать до апріорної інформації, в той час як системні властивості $\{S\}_j$ і $\{R\}_j$ обчислюються, а точніше кажучи, формуються в результаті природної самоорганізації. Системні властивості базового рівня (ознаки) представляють собою відображення сутності (природних) здібностей спостерігача і досвіду його функціонування в матеріальному і соціальному оточенні. Подібні поняття, категорії, по-видимому, не усвідомлюються, вони використовуються автоматично, несвідомо і без помітних зусиль, сприймаючись просто як частина нормальної життєдіяльності. Використовувані таким чином поняття мають інший, більш важливий, психологічний статус порівняно з тими поняттями, які обов'язково усвідомлюються [4].

Нехай $Z = \{1, 2\} \equiv \{\text{фрукт+}; \text{фрукт-}\} \equiv \{\text{образ+}; \text{образ-}\}$. При такій опозиції можна говорити про *поняття позитивного контекста*. В загальному випадку мова йтиме про *поняття Z -контекста*. На основі контекста $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$ формується гранична синдромна модель знань $\{S^{\hat{c}}\}$ і бікластери $\{\{a\}_j, z_j, \{S^{\hat{c}}\}_j\}$. Банк тестів $\{G(\tau)\}$ виконує роль досвідченого знання існуючого автономно від поточної Z -задачі. Він формується в процесі рішення великої кількості різноманітних Z -задач і навчання. Цей приклад показує, що розвиваний підхід кардинально відрізняється від інших методів класифікації, зокрема, ДСМ-метода [2].

Висновки.

Пропонується підхід показує, як поняття і категорії пов'язані з *доконцептуальною структурою* досвідченого знання (орграфами доменів тестів, орграфами набросків, екстремальними шарами набросків, синдромами, асоціативними зв'язками і т.д.). Іншими словами, когнітивні моделі набувають фундаментальну значимість завдяки своїй здатності органічно вписуватися в рамки доконцептуальної структури досвідченого знання.

Література

1. Ігнатів Д. І., Кузнецов С. О. Бікластеризація об'єктно-ознакових даних на основі решіток замкнутих множин // Труды 12-ой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием .Т.1. — М.: Физматлит, 2008. — С. 175–182.
2. Кузнецов С.О. Методи теорії решіток і аналізу формальних понять в машинному навчанні // Новини Искусственного Интеллекта, 2004, № 3. - С.19-31.

3. B. Ganter and R. Wille. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations. – Springer, 1999.
4. Лакофф Джордж. Женщины, огонь и опасные вещи: Что категории языка говорят нам о мышлении. Пер. с англ. И.Б.Шатуновского. - М.: Языки славянской культуры, 2004. – 792 с.
5. Прокопчук Ю.А. Когнитивное моделирование на основе принципа предельных обобщений: методология, задачи, приложения // Искусственный интеллект, 2011. - №3.- С. 82 – 93.
6. Прокопчук Ю.А. Предельные синдромные и вероятностные модели знаний // Научный вестник Херсонской государственной морской академии, 2011. - №2(5). – С. 322 – 333.

У роботі розглядається специфіка когнітивного підходу до аналізу формальних понять і бікластеризації. Когнітивний підхід показує, як поняття та категорії пов'язані з доконцептуальною структурою опитного знання. Розглянуто моделі на основі замкнутих множин різного рівня спільності, на основі синдромного підходу і на основі орграфів начерків.

В работе рассматривается специфика когнитивного подхода к анализу формальных понятий и бикластеризации. Когнитивный подход показывает, как понятия и категории связаны с доконцептуальной структурой опытного знания. Рассмотрены модели на основе замкнутых множеств разного уровня общности, на основе синдромного подхода и на основе орграфов набросков.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СУДНОРЕМОНТОМ

Терещенко О.В.

Пуляєва Г.В.

Камінська Н.Г.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Останнім часом значно зросла потреба в автоматизації судноремонтних підприємств. Подібна ситуація виникла як у зв'язку із загальними тенденціями зростання обсягів судноремонтного виробництва в Україні, так і з новими управлінськими можливостями, які надають сучасні інформаційні технології. У цей час багато судноремонтних підприємств перебувають на порозі нового етапу розвитку: збільшуються темпи й обсяги виробництва, виникають нові джерела цільового фінансування, надходять складні замовлення на судноремонтні роботи. Це не тільки збільшує шанси на виживання, але й загострює галузеву конкуренцію. Кожне підприємство прагне підвищити свою привабливість для потенційного замовника та інвестора шляхом підвищення рівня своїх конкурентних переваг.

Актуальність. Для ефективної роботи судноремонтного підприємства велике значення має організація прийняття оперативних рішень щодо процесу судноремонту та стабільного завантаження ремонтних ділянок.

Відомо, що при виборі методів і підходів автоматизації планування судноремонтної діяльності необхідно враховувати багато основних факторів, які оптимізують процес судноремонту, враховують критерії оптимальності та наявні обмеження.

Виникає необхідність створення автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління судноремонтом. Якість СППР залежить від даних, на підставі яких приймаються рішення; аналітичних методів, що використовуються, і моделей обробки й аналізу даних; адекватності використання інструментальних засобів задачам прийняття рішень.

Основна частина. Аналіз існуючих інформаційних систем управління судноремонтним підприємством показує, що при вирішенні завдань управління судноремонтом необхідно вводити багато непрогнозованих параметрів, точні значення яких неможливо визначити заздалегідь. Таким чином, задача управлінням судноремонтом вирішується в умовах часткової невизначеності вхідних даних.

Недоліки існуючих інформаційних систем управління судноремонтом обумовлюють необхідність створення для вказаних цілей нових спеціалізованих інтелектуальних інформаційних систем управління.

У статті розглянуто створення системи підтримки прийняття рішень управління судноремонтом. Для цього необхідно формалізувати процес

прийняття рішень для управління судноремонтом, який складається з декількох етапів. На першому етапі сформовано модель технологічного циклу виконання судноремонтного замовлення у вигляді схеми із зворотним зв'язком, рис. 1:



Рисунок 1– Узагальнена принципова схема виконання судноремонтного замовлення

Ремонтний заказ Z поданий у вигляді:

$$Z = \{Idn^Z, Pr p^Z, X^Z, Y^Z, Q^Z, C^Z, Str^Z\}, \quad (1)$$

де $Z = \{1....g\}$ – кількість ремонтних замовлень; Idn^Z – ідентифікатор виду ремонтного замовлення; $Pr p^Z$ – вартість ремонтного замовлення; $X^Z = \{X_1^Z, X_2^Z, ..., X_v^Z\}$ – вхідні параметри ремонтного замовлення, до яких відносяться: проект судна, що ремонтується або його вузли, перелік ремонтних робіт; $Y^Z = \{Y_1^Z, Y_2^Z, ..., Y_b^Z\}$ – вихідні характеристики отриманих графіків ремонту, такі як трудомісткість, тривалість, витрати на матеріали, запчастини, енергетичні ресурси, собівартість виконання операцій; $Q^Z = \{Q_1^Z, Q_2^Z, ..., Q_w^Z\}$ – впливи зовнішнього середовища, у тому числі зміни вимог правил ремонту, застосування різних технологій, устаткування й оснащення для виконання ремонтних робіт, постановка у ремонт нових конструкцій; $C^Z = \{C_1^Z, C_2^Z, ..., C_h^Z\}$ – внутрішні властивості ремонтного замовлення, виконавці робіт, цехи та ділянки; $Str^Z = \{R_1^Z, R_2^Z, ..., R_l^Z\}$ – послідовність виконання ремонтних робіт замовлення.

Судноремонтне підприємство обробляє багато замовлень, тому для рівномірного завантаження й дотримання планів проведення ремонтних робіт необхідно враховувати наступні критерії: максимізація використання виробничих потужностей, дотримання технологічних послідовностей виконання робіт, мінімізація відхилень від ремонтного графіку, мінімізація витрат ресурсів, максимальний прибуток від виконання замовлення.

Аналіз завдань прийняття рішень на судноремонтному підприємстві дозволяє стверджувати, що найточніше їх можна представити у вигляді задач математичного програмування, але при цьому необхідно брати до уваги

неповноту та неточність вихідних даних про стан судна, що ремонтується [1,2].

Другий етап включає формалізацію задачі управління судноремонтним процесом на різних управлінських рівнях, на яких виникає необхідність прийняття рішень з вибору оптимальних ремонтних графіків (альтернатив) для виконання замовлень.

Кожне ремонтне замовлення розглядається як система, що будується із двох складових – набором робіт та технологічних переходів між ними, рис. 2.

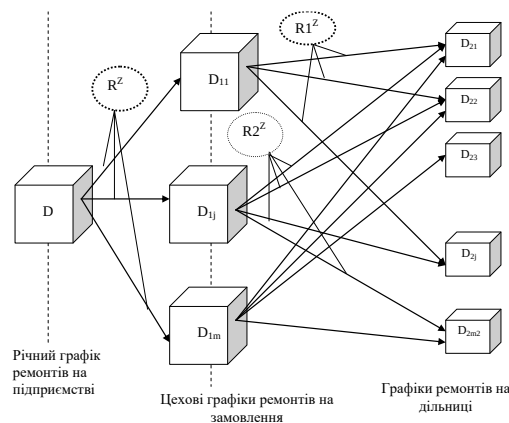


Рисунок 2 – Схема планування графіків ремонту на підприємстві

$$D = \{D_1, D_2\} \quad (5)$$

де D – множина елементів річного графіку ремонту; D_1 – елементи першого рівня (цехові графіки ремонту на окремі замовлення); D_2 – елементи другого рівня (графіки ремонту на окремих ділянках)

Технологічні зв'язки між роботами на різних рівнях:

$$R^Z = \{R_1^Z, R_2^Z\} \quad (6)$$

де R_1^Z – послідовності робіт на першому рівні; R_2^Z – послідовності робіт на другому рівні.

Кінцевими є ділянчні графіки. Для розрахунку графіків запропоновано використання методу критичного шляху з накладенням на нього нечіткості вхідних даних, яка з'являється вже на рівні цехів.

Метод критичного шляху забезпечує використання логічної системи координат і точної термінології для аналізу й обговорення замовлення. Використання цього методу призводить до впровадження детального планування проектів, що забезпечує стандартні формати для планової документації [3].

Вхідну множину робіт замовлень приймаємо як $Kr = \{kr_1, kr_2, \dots, kr_k\}$, сформовану з попередніх кошторисів на отримані замовлення. Кожне замовлення складається як множина:

$$kr_z = (sr_i, lr_i, tf_i, Tr_i, tb_i, \alpha_i), i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

де n – загальна кількість робіт у замовленні Z ; sr_i – кошторисна вартість роботи [грн]; lr_i – кількість працівників, задіяних на виконання

роботи [чол.]; tf_i – граничний термін виконання роботи [день, місяць, рік]; Tr_i – тривалість роботи [календ. дн.]; tb_i – плановий період виконання роботи, заданий діапазоном $tb_i = [\min(tb_i), \max(tb_i)]$ [день, місяць, рік]; α_i – коефіцієнт збільшення вартості роботи при її затримці.

Рішення з управління ремонтним процесом будуються та корегуються на основі побудованих і вчасно скоректованих графіків ремонтів. Тому важливим є процес побудови і подальшого корегування графіку ремонту, як на окреме замовлення, так і для підприємства в цілому на певний період.

Замовлення на ремонтні роботи можна представити у вигляді мережі $(U, D), |U| = n$ без контурів з правильною нумерацією вершин. Серед множини вершин виділено входи U_0 й виходи U_n мережі. Дуги мережі відповідають певній ремонтній роботі, а вершини – подіям (моментом закінчення однієї або декількох робіт). У чіткому випадку для кожної ремонтної роботи $(i; j)$ задається її тривалість t_{ij} .

Ремонтне замовлення характеризується нечіткою інформацією щодо тривалості строків виконання окремих етапів ремонту, що задані функціями належності $\mu_{ij}(\bullet): \mathcal{R}_+ \rightarrow [0; 1]$ тривалості робіт (i, j) , $i, j \in U$, яка може бути отримана від експертів у процесі виконання ремонтних робіт. Для оптимізації ремонтних робіт використовується метод нечіткого критичного шляху.

Комплексна оптимізація мережевих моделей полягає у знаходженні оптимальних співвідношень показників витрат економічних ресурсів та термінів виконання запланованих робіт відповідно до певних виробничих критеріїв та обмежень. Оптимізація ремонтного графіку на замовлення є процесом поліпшення виконання всього комплексу робіт з використанням наявних матеріальних, фінансових та трудових ресурсів, що призводить до скорочення тривалості ремонту.

Третій етап включає розробку алгоритмів вирішення задач багатокритеріального вибору побудованих альтернатив, представлених графіками ремонтів. Система критеріїв повинна мати комплексний характер порівняння альтернатив, виходячи з особливостей графіків ремонту. Таке порівняння проводиться за наявності великої кількості якісних та кількісних критеріїв і показників, що може бути реалізовано у рамках застосування методу аналізу ієрархій Т.Сааті [4]. Для вирішення завдання знаходження ефективності альтернатив (графіків ремонту), упорядкованих у процесі методу аналізу ієрархій, використовуємо метод скалярних згорток [5]. У процесі формування графіків устанавлюється баланс у пріоритетах за різними напрямками з урахуванням ресурсних та термінових обмежень, визначаються пріоритети та вносяться відповідні зміни до графіків ремонтів.

Сформовані графіки ремонтів на замовлення подано як множини альтернативних варіантів їх виконання, що відрізняються за показниками термінів, фінансів та ресурсів (множина $[Графік_1, \dots, Графік_n]$ – альтернативні графіки виконання ремонтних замовлень). Зазначені множини графіків є базою для створення оптимальних графіків виконання ремонтних робіт для

кожного замовлення, які визначаються шляхом звуження множини $[Графік_1...Графік_n]$ при накладанні на неї множини оціночних критеріїв $[y_1...y_m]$ на кожному управлінському рівні. Алгоритм формування таких графіків складається з трьох етапів, наведених на рис. 3.

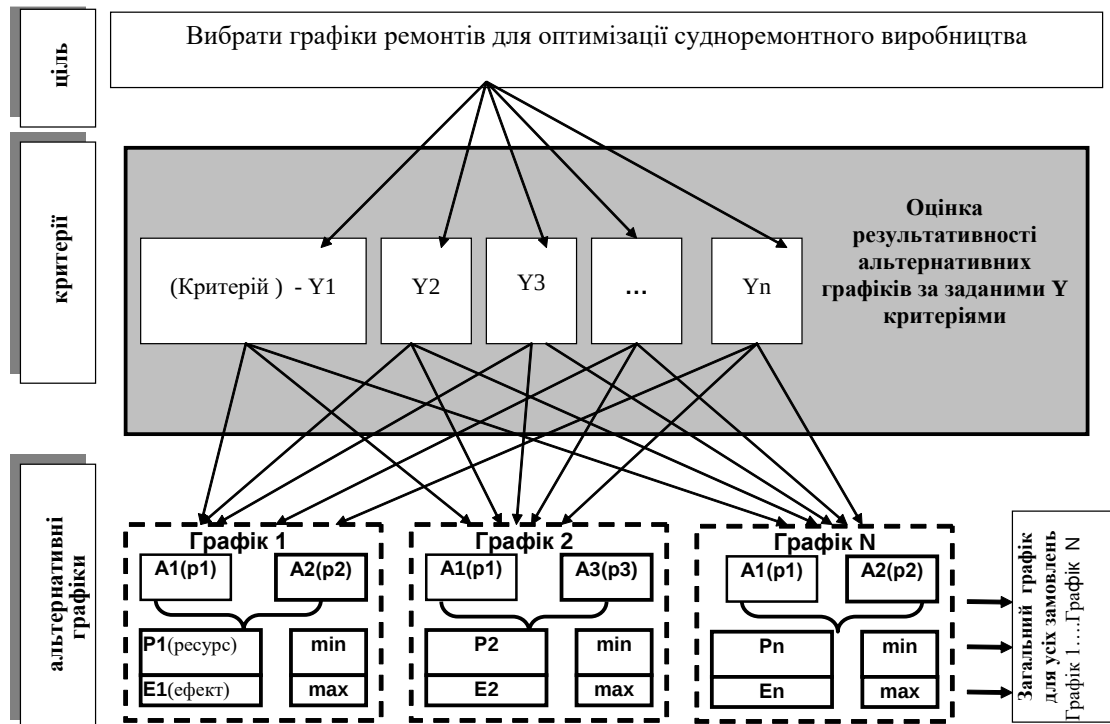


Рисунок 4 – Алгоритм формування оптимальних графіків виконання замовлень

На першому етапі визначається кількість ремонтних замовлень та проект річного графіку ремонтів. На другому етапі виконується оцінка ефективності створених графіків ремонтів за допомогою заданої множини критеріїв $[y_1...y_m]$ з урахуванням пріоритетів виконання робіт на різних рівнях. Процес вибору варіантів управлінських рішень здійснюється відповідно до принципів багатокритеріальної оптимізації шляхом формування узагальненого критерію. На третьому етапі здійснюється вибір остаточних варіантів графіків ремонтів. Даний етап дозволяє проаналізувати різні комбінації варіантів управлінських рішень, які можуть бути реалізовані для досягнення цілей підприємства в умовах обмежень, що накладаються. Для сформованої множини вибраних графіків виконання ремонтних замовлень, можемо визначити ефективність їх використання з позицій роботи підприємства в цілому. У процесі прийняття рішень можуть використовуватись критерії, оцінка яких змінюється у певному діапазоні, не наближаючись до гранично-допустимих значень (це може призвести до критичних наслідків для об'єкта).

Висновки. Розроблена СППР дозволяє здійснювати адаптивне управління ходом виконання ремонтних робіт згідно з інформацією, що

отримується в процесі дефектації вузлів і агрегатів суден. СППР забезпечує раціональне завантаження ремонтних підрозділів підприємства у відповідності із змінами, необхідність внесення яких обумовлена зовнішніми чинниками та потребою одночасного виконання кількох ремонтних замовлень.

Впровадження запропонованої інформаційної технології підтримки прийняття рішень спрощує планування процесів судноремонту на підприємстві. Практичне впровадження розробленої СППР дозволило скоротити терміни виконання ремонтних робіт та підвищити рівень завантаження ремонтних підрозділів підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Терещенкова О.В. Модель выбора альтернативных ремонтных графиков судоремонтного предприятия / О.В.Терещенкова // Проблемы інформаційних технологій, 2010.– № 1 (007). – С.57–61.
2. Терещенкова О.В. Моделирование процессов управления производством на судоремонтном предприятии / О.В.Терещенкова, А.П.Бень, Т.В.Маломуж // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції ISDMIT–2005, Євпаторія.– Т.4.– С.50–53.
3. Филипс Д.А. Методы анализа сетей / Д.А.Филипс. – М.: Гарсиа Диас, 1984. – 190с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 316с.
5. Воронин А.Н. О формализации выбора схемы компромиссов в задачах многокритериальной оптимизации // Извн. АН СССР. Техн.кибернет. 1984.- №2.

АНОТАЦІЯ

У статті розглядається проблема процесу **автоматизації судноремонтних підприємств**. На основі аналізу існуючих інформаційних систем управління судноремонтним підприємством, запропоновано створення системи підтримки прийняття рішень управління судноремонтом, сформовано модель технологічного циклу виконання судноремонтного замовлення, а також описано процес побудови і подальшого корегування графіку ремонту.

Ключові слова: судноремонтний процес, ремонтний графік, багатокритеріальна оптимізація, мережні методи планування, метод нечіткого критичного шляху, система підтримки прийняття рішень.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема **автоматизации судоремонтных предприятий**. На основе анализа существующих информационных систем управления судоремонтным предприятием, предложено создание системы

поддержки принятия решения управления судоремонтом, сформулирована модель технологического цикла выполнения судоремонтного заказа, а также описан процесс построения и дальнейшего корректирования графика ремонта.

Ключевые слова: судоремонтный процесс, ремонтный график, многокритериальная оптимизация, сетевые методы планирования, метод нечеткого критического пути, система поддержки принятия решений.

ABSTRACT

The problem of automation ship repairing companies is considered in this paper. The creation Decision Support System of ship repair management has been suggested on the Basis analysis of existing information systems management ship repairing company. The model of technological cycle execution ship repair order has been formulated. And also, process of building and further correction of the schedule repair has been described.

Keywords: Ship repairing process, Decision Support System (DSS), multicriterial optimization, network methods of planning, maintenance schedules, fuzzy critical path method.

1.

[illegible]

[illegible]

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А		
Б	Л	Т
В	М	Ф
Г	Н	Х
Д	О	Ч
І	П	Ш
	Р	
К	С	

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

До друку приймаються статті з результатами власних оригінальних досліджень, що мають наукову і практичну значущість і не публікувалися досі. До друку **не приймаються суто оглядові статті**. Відповідальність за зміст статті несе автор.

Згідно з вимогами п. 3 Постанови Президії Вищої Атестаційної Комісії України № 7-05/1 від 15.01.2003 р., наукові статті, що надаються до друку, повинні містити наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

Обсяг статей – до 15 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел.

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 – 12.

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 – 14, інтервал – 1.

Параметри сторінки: поля зверху, знизу, праворуч – 2,0 см, ліворуч – 2,5 см, колонтитули – 1,3 см, абзацний відступ – 1,25 см.

Формули набираються у редакторі формул Microsoft Equation. Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Розміри (опція меню редактора Equation Editor):

- Звичайний 14 пт.
- Крупний індекс 7 пт.
- Дрібний індекс 5 пт.
- Крупний символ 20 пт.
- Дрібний символ 14 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими. Формат рисунків (.tif, .psx, .bmp та ін.) має бути сумісний з редактором тексту **Microsoft Word 2000**.

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 30 до 100 слів надаються: на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

Документи, що подаються до редакції.

Для публікації автор повинен надати до відділу 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:

- коротка 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 напрямам журналу.

ЗМІСТ

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

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

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (6), 2012

Відповідальний за випуск *Врублевський Р.Є.*
Науковий редактор *Ляшкевич А.І.*
Технічний редактор *Клементьєва О.Ю.*
Коректор *Шор А.Л.*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В.Г.*

Підписано до друку 26.07.2011. Формат 84×108/32.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 28,5. 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