

ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

№ 1 (14)

Херсон
2016

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2016. – № 1 (14). – 348 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 15 від 23.06.2016 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Адреса редакційної колегії:

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

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

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

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

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

ISSN 2313-4763

© Науковий вісник Херсонської
державної морської академії, 2016

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ВИСОКОТОЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ МОРСЬКИХ СУДЕН

Бень А. П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, E-mail: a_ben@i.ua;

Паламарчук І. В., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності Херсонської державної морської академії, E-mail: ihor3107@meta.ua

У статті розглядаються питання створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден. Визначено ключові напрямки досліджень в даній галузі, показано вплив людського фактора на процеси прийняття рішень з управління судном. Важливою проблемою сьогодення є підвищення точності дотримання суднами планованої траєкторії руху. Наявність значної кількості морських аварій, що трапились останнім часом, у тому числі з значною кількістю людських жертв та тяжкими техногенними наслідками, головною причиною яких став «людський чинник» і відхилення переконливо свідчить про необхідність створення сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден, що враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння та прийняття нею рішень в складних навігаційних умовах та критичних ситуаціях. Розробка таких систем потребує врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами управління судном. Показано, що створення високоточної інтелектуальної системи управління рухом суден дозволить одночасно вирішувати комплекс задач з стратегічного та оперативного управління рухом судна з позицій досягнення завданого рівня безпечності та економічної ефективності. Головною ідеєю наукового дослідження є вивчення особливостей перебігу процесів формування та прийняття рішень судноводієм із метою вдосконалення процесу взаємодії судноводія з інформаційною навігаційною системою, підвищення якості рішень, які ним приймаються, та розробка новітніх підходів до побудови високоточних інтелектуальних систем управління рухом судна.

Визначено, що важливим напрямком подальших досліджень є вивчення впливу маневрених характеристик суден на процеси формування керуючих впливів в високоточних інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень судноводія.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, інтелектуальна система управління рухом судна, людський фактор, управління судном, судноводіння.

Вступ. Розвиток сучасного судноплавства нерозривно пов'язаний із широким впровадженням нових інформаційних технологій, стрімким розвитком засобів супутникової навігації та електронних картографічних інформаційних та навігаційних систем. Існуючі на сьогодні розробки в галузі створення інформаційних систем управління рухом суден спрямовані в основному на розрахунок безпечних зон руху і не враховують впливу так званого «людського чинника» на процеси сприйняття інформації судноводієм, формування та прийняття ним рішень, а також загальної взаємодії всіх учасників навігаційної ситуації. Необхідність використання розумових здібностей судноводія призводить до затримки прийняття рішення, запізніле виконання якого ускладнює процес управління маневруванням, включаючи передаварійний стан. Важливою проблемою сьогодення є також підвищення точності дотримання суднами планованої траєкторії руху. Наявність значної кількості морських аварій, що трапились останнім часом, у тому числі з значною кількістю людських жертв та тяжкими техногенними наслідками, головною причиною яких став «людський чинник» і відхилення переконливо свідчить про необхідність створення сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден, що враховують особливості процесу взаємодії людини з технічними засобами судноводіння та прийняття нею рішень у складних навігаційних умовах і критичних ситуаціях. Розробка таких систем є найважливішою проблемою сьогодення, що відноситься до питань безпеки сучасного суспільства.

Актуальність дослідження. За тематикою дослідження необхідно відзначити роботи [1, 2, 3], які присвячені питанням створення систем попередження зіткнення суден

та роботи [4, 5], що пов'язані з питаннями визначення безпечних маневрів судна та траєкторії його руху. У роботах [6, 7] розглядаються питання координатії взаємодії суден під час розходження. Широке коло робіт зарубіжних авторів присвячено створенню систем уникнення зіткнень суден і систем підтримки рішень судноводія [8, 9]. Разом з тим, слід зазначити, що в наведених напрацюваннях створення високоточних інтелектуальних систем управління рухом судна у комплексі не розглядалося, і потребує подальшого розвитку та вдосконалення.

Розробка та впровадження нових високоточних інтелектуальних систем управління рухом суден дозволить істотно підвищити рівень безпеки сучасного судноплавства. Застосування засобів штучного інтелекту для моделювання навігаційних ситуацій, що склалися, забезпечить формування в реальному часі множини альтернатив можливих рішень судноводія з управління рухом судна, та вибір найбільш ефективних з них за критеріями гарантованої безпеки, часу виконання та економічності [10, 11]. Прикладний аспект дослідження полягає у розробці прототипів високоточної інтелектуальної системи управління рухом судна, що дозволить моделювати реальні навігаційні ситуації з метою формування та вибору найбільш ефективних рішень з управління судном. На даний час ця проблема остаточно ще не вирішена.

Постановка задачі. Метою дослідження є визначення базових принципів побудови інтелектуальних високоточних систем управління рухом суден.

Основна частина. На поточний момент часу авторами напрацьовано значний доробок у галузі створення інтелектуальних систем управління рухом суден. Проведенні дослідження дозволяють стверджувати, що проблема підвищення ефективності взаємодії людини з комп'ютеризованими системами управління є однією з актуальних проблем сьогодення, вирішення якої полягає в площині створення систем підтримки прийняття рішень судноводія. На базі сучасного тренажерного обладнання в Херсонській державній морській академії проводяться дослідження щодо впливу «людського фактору» на процеси прийняття рішень з управління судном.

Дослідження особливостей створення інтелектуальних високоточних систем управління рухом суден [10, 11, 12, 13] дозволило визначити, що прийняття рішень з управління судном вимагає врахування особливостей інформаційної взаємодії судноводія з технічними засобами, можливостей формування множини альтернатив управлінських рішень в режимі реального часу, можливості заповнення бази знань інтелектуальної системи одночасно кількома шляхами: експертного оцінювання, на підставі прийнятих раніше рішень у навігаційних ситуаціях, що мали місце, та на підставі процедур логічного висновку.

Головною ідеєю наукового дослідження є вивчення особливостей перебігу процесів формування та прийняття рішень судноводієм з метою вдосконалення процесу взаємодії судноводія з інформаційною навігаційною системою та підвищення якості рішень, які ним приймаються, та розробка новітніх підходів до побудови високоточних інтелектуальних систем управління рухом судна. Проведення дослідження базується на сучасних методах створення інтелектуальних систем в судноводінні [13, 14, 15].

Створення високоточної інтелектуальної системи управління рухом морських суден потребує застосування на методів штучного інтелекту, багатокритеріальної оптимізації, та теорії прийняття рішень, із застосуванням яких розроблено:

- методи та алгоритми визначення найбільш безпечної траєкторії руху судна в ситуації можливого зіткнення;
- моделі розрахунку траєкторій руху суден, що маневрують, відповідно до вимог МППЗС-72;
- методи визначення рівня небезпеки навігаційної ситуації, що склалася;
- методологію визначення полюсу повороту судна й очікуваної траєкторії його руху.

Особливістю інтелектуальної системи, що створюється, є застосування комбінованого підходу до формування бази знань на основі процедур експертного оцінювання, сценарно-прецедентного підходу та логічного висновку.

За результатами проведених досліджень було визначено наступні концептуальні засади до побудови систем підтримки прийняття рішень в судноводінні:

1. База знань СППР повинна містити та накопичувати інформацію за трьома напрямками: декларативна інформація, що регламентує законодавчу базу управління процесами розходження суден (МППЗС-72), експертна інформація – формалізовані знання експертів у предметній галузі – досвідчених судноводіїв, та база прецедентів – інформація стосовно розвитку подій в навігаційних ситуаціях, що вже мали місце в минулому.

2. СППР судноводія повинна будуватися на принципах моделювання руху суден, що мають цілеспрямовану поведінку, направлену на уникнення зіткнення та виконання вимог Міжнародних правил попередження зіткнень суден (МППЗС-72) під час руху. Необхідна наявність засобів прогнозування розвитку навігаційної ситуації та візуального подання такого прогнозу.

3. Математичні моделі, що застосовуються в СППР судноводія, повинні відповідати вимогам адекватності, ненадлишковості та технічної здійсненності – перспективним є поєднання моделей, що базуються на принципах штучного інтелекту з математичними моделями, які описують процеси руху суден.

4. Функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень судноводія в здійснюється режимі в реальному часу, що вимагає їх інтеграції з наявними на судні засобами контролю руху та навігаційної ситуації.

5. Форми відображення інформації в інтелектуальних системах управління рухом судна повинні забезпечувати її швидке сприйняття та високий рівень усвідомлення судноводієм, тому при візуалізації навігаційних ситуацій є доцільним застосування методів когнітивної графіки.

6. Необхідно забезпечити можливість інформаційної взаємодії між береговими системами управління рухом та інтелектуальними системами управління рухом суден, що обумовлює необхідність розробки уніфікованих протоколів обміну інформацією в таких системах.

Слід зазначити, що важливою відмінною рисою дослідження є застосування системного підходу до проблем вибору оптимальної траєкторії руху судна та врахування особливостей процесу взаємодії «оператор – комп'ютеризована система» в інтелектуальних системах управління рухом суден.

Було визначено, що таким системам притаманний ряд специфічних рис, обумовлених галуззю їх практичного застосування, які мають бути враховані у процесі їх створення та експлуатації, а саме:

- функціонування в режимі реального часу накладає певні часові обмеження на процеси оцінювання навігаційної ситуації, формування множини можливих альтернатив з прийняття рішень, та надання відповідної інформації особі, що приймає рішення (ОПР);

- множина альтернатив із прийняття рішень, що формує система підтримки прийняття рішень (СППР), повинна відповідати вимогам, визначених в міжнародних нормативних документах, які регламентують рух суден, принципам «доброї морської практики» та досвіду ОПР, що складно формалізувати у вигляді математичних моделей;

- процес взаємодії автоматизованих систем управління з ОПР має циклічний характер: «формування інформаційного повідомлення – сприйняття інформації – оброблення інформації та прийняття рішень – здійснення керуючих дій», більша частка часу в якому припадає на бік ОПР;

- приймаючи до уваги той факт, що кількість інформації, що необхідна оцінювання навігаційної ситуації значна, а ОПР має певні фізіологічні обмеження на обсяги інформаційних повідомлень, що можуть сприйматися ним одночасно, важливе

значення набуває ефективна комунікативна взаємодія між членами команди навігаційного містка.

З урахуванням вищезазначених особливостей створення інтелектуальних систем управління рухом морських суден у результаті проведення наукового дослідження розроблено:

1. Модель контролю за рухом судна, що враховує його маневрові характеристики, особливості району плавання та поточної навігаційної ситуації.
2. Методологію оцінювання рівня небезпеки навігаційної ситуації, що склалася.
3. Методику визначення множини припустимих рішень з управління рухом суден в районі маневрування з урахуванням обмежень МППЗС-72.
4. Методологію інтеграції розроблених методів і алгоритмів у єдину високоточну інтелектуальну систему управління рухом суден.
5. Критерії оцінювання ефективності функціонування розробленої системи.

Прикладними здобутками проведеного наукового дослідження стали:

- прикладний метод визначення оптимальної траєкторії руху суден у ситуації можливого зіткнення;
- база даних навігаційних ситуацій і прецедентів (найбільш успішно вживаних рішень судноводіїв), що мали місце в минулому;
- методика оцінювання якості прийнятого рішення з управління рухом судна за критеріями безпечності та економічної ефективності;
- прототип програмного забезпечення високоточної інтелектуальної системи управління рухом суден.

Створена інтелектуальна високоточна система управління рухом суден забезпечує моделювання реальних навігаційних ситуацій з метою формування та вибору найбільш ефективних рішень з управління судном у надзвичайних ситуаціях. Це дозволяє одночасно вирішувати комплекс задач із високоточного управління рухом судна з позицій досягнення завданого рівня безпечності й економічної ефективності. На основі проведених досліджень запропоновані нові методи побудови інтелектуальних систем управління рухом суден адаптовані до вимог електронної навігації (E-navigation) та чинного законодавства в галузі судноплавства.

У прикладному плані робота спрямована на створення програмного продукту, застосування якого дозволить вирішити важливе науково-прикладне завдання в галузі інформаційних технологій в судноводінні – підвищення безпеки управління суднами за рахунок впровадження новітніх інформаційних технологій, що забезпечить зниження аварійності на морському транспорті та збереження людських життів.

Висновки. В умовах інтенсивного застосування сучасних інформаційних технологій у судноводінні розробка та створення сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден являє собою актуальну наукову і практичну задачу сьогодення. Розробка таких систем потребує врахування особливостей взаємодії людини з технічними засобами управління судном. Створення високоточної інтелектуальної управління рухом суден дозволить одночасно вирішувати комплекс задач з стратегічного та оперативного управління рухом судна з позицій досягнення завданого рівня безпечності та економічної ефективності.

Напрацювання, які були отримані під час виконання наукових досліджень, можуть бути використані в системах контролю руху морських суден, автоматизованих системах управління рухом безпілотних плавальних засобів.

Важливим напрямком подальших досліджень є вивчення впливу маневрених характеристик суден на процеси формування керуючих впливів в високоточних інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень судноводія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : ОНМА, 2013. – 135 с.
2. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути. Монография / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Фенікс, 2013. – 180 с.
3. Вагущенко Л. Л. Алгоритм выработки рекомендаций по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко // Судовождение : сб. науч. трудов ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2012. – Вып. 21 – С. 42–50.
4. Алексишин А. В. Расчет граничных пеленгов к зонам безопасности судов / А. В. Алексишин // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 8–15.
5. Алексишин А. В. Выявление ситуаций опасного сближения судов с помощью граничных пеленгов в автоматизированных комплексах судовождения / А. В. Алексишин // Проблеми техніки : науково- виробничий журнал ОНМУ. – Одесса, 2013. – № 1. – С. 117–123.
6. Цымбал Н. Н. Основные принципы учета навигационных опасностей различных типов при расхождении судов / Н. Н. Цымбал, Е. А. Петриченко // Судовождение : сб. науч. трудов ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2011. – Вып. 20. – С. 238–242.
7. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
8. Bi X.Y., Liu X.J. (2015) Research on Double Collision Avoidance Mechanism of Ships at Sea. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 1, pp. 13-16.
9. Lisowski J. (2014) Game Strategies of Ship in the Collision Situations. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 8, No. 1, pp. 69-77.
10. 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.
11. Бень А. П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / Бень А. П. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010) : матеріали другої науково-практичної конференції (Херсон, 25–27 травня 2010 р.). – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2010. – Т. 1. – С. 8–11.
12. Мальцев А. С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А. С. Мальцев // Судовождение : сб. научн. трудов ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – Вып. 11. – С. 74–86.
13. Мальцев А. С. Методологические основы маневрирования судов при сближении / [А. С. Мальцев, В. В. Голиков, И. В. Сафин, В. В. Мамонтов]. – Одесса : ИздатИнформ, 2013. – 221 с.
14. Патент на корисну модель UA № 97227, МПК (2015.01) G08G, 3/00. Пристрій для інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорій, С. Е. Мальцев, А. П. Бень. – Зареєстрований в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.03.2015.
15. Патент на корисну модель UA № 100293, МПК (2015.01) G08G, 3/00. Спосіб інформаційного забезпечення процесу управління судном / О. М. Товстокорій, С. Е. Мальцев, А. П. Бень. – Зареєстрований в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 27.07.2015.

REFERENCES

1. Vaguthenko L. L. (2013). *Sovremenniye informacionniye tekhnologii v sudovozhdenii*. Odessa : ONMA.

2. Vaguthenko L. L. (2013). *Raskhozhdenie s sudami smetheniem na paralleljnyu liniyu puti*. Odessa : Feniks.
3. Vaguthenko L. L. (2012). Algoritm vihrabotki rekomendacijj po raskhozhdeniyu s sudami. *Sudovozhdenie : sb. nauch. trudov ONMA*. Odessa : IzdatInform, 21, 42–50.
4. Aleksishin A. V. (2012). Raschet granichnikh pelengov k zonam bezopasnosti sudov. *Naukoviyj visnik Khersonskoj derzhavnoj morskoi akademii : naukoviyj zhurnal. Kherson : Vidavnictvo KhDMA, № 2 (7)*, 8–15.
5. Aleksishin A. V. (2013). Vihyavlenie situacijj opasnogo sblizheniya sudov s pomothju granichnikh pelengov v avtomatizirovannih kompleksakh sudovozhdeniya *Problemi tekhniki : naukovy- virobnichij zhurnal ONMU*. Odessa, 1, 117–123.
6. Cihmbal N. N. & Petrichenko E. A. (2011). Osnovnihe principih ucheta navigacionnih opasnosteyj razlichnikh tipov pri raskhozhdenii sudov. *Sudovozhdenie : sb. nauch. trudov ONMA*. Odessa : IzdatInform, 20, 238–242.
7. Cihmbal N. N., Burmaka I. A. & Tyupikov E. E. (2007). *Gibkie strategii raskhozhdeniya sudov*. Odessa : KP OGT.
8. Bi X.Y. & Liu X.J. (2015). Research on Double Collision Avoidance Mechanism of Ships at Sea. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9, No. 1, 13-16.
9. Lisowski J. (2014). Game Strategies of Ship in the Collision Situations. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8, No. 1, 69-77.
10. Benj A. P. (2009). Metodih ocenki opasnosti traektorii dvizheniya sudov v sistemakh podderzhki prinyatiya resheniyj. *Vestnik KhNTU: sb. nauch. trudov Khersonskogo nacionaljnogo tekhnicheskogo universiteta, 1 (34)*, 429–433.
11. Benj A. P. (2010). Principi pobudovi sistem pidtrimki priyinyattya rishenj sudnovodiya. *Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti (MINTT-2010) : materialy drugoi naukovy-praktichnoi konferencii*. Kherson : Vidavnictvo KhDMI, 8–11.
12. Maltsev A. S. (2006). Intellectualnihe gibridnihe sistemih podderzhki prinyatiya resheniyj pri raskhozhdenii sudov. *Sudovozhdenie : sb. nauchn. trudov ONMA, 11*, 74–86.
13. Maltsev A. S., Golikov V. V., Safin I. V. & Mamontov V. V. (2013). *Metodologicheskie osnovih manevrirovaniya sudov pri sblizhenii*. Odessa : IzdatInform.
14. Patent na korisnu modelj UA № 97227, MPK (2015.01) G08G, 3/00. Pristriyj dlya informacijnogo zabezpechennya procesu upravlinnya sudnom / O. M. Tovstokorijj, S. E. Maljcev, A. P. Ben. – Zareestrovaniyj v Derzhavnomu reestri patentiv Ukraïni na korisni modeli 10.03.2015.
15. Patent na korisnu modelj UA № 100293, MPK (2015.01) G08G, 3/00. Sposib informacijnogo zabezpechennya procesu upravlinnya sudnom / O. M. Tovstokorijj, S. E. Maljcev, A. P. Ben. – Zareestrovaniyj v Derzhavnomu reestri patentiv Ukraïni na korisni modeli 27.07.2015.

Бень А. П., Паламарчук И. В. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

В статье рассматриваются вопросы создания высокоточных интеллектуальных систем управления движением морских судов. Определены ключевые направления исследований в данной области, показано влияние человеческого фактора на процессы принятия решений по управлению судном. Важной проблемой сегодняшнего дня является повышение точности соблюдения судами планируемой траектории движения. Наличие значительного количества морских аварий, произошедших в последнее время, в том числе с большим количеством человеческих жертв и тяжёлыми техногенными последствиями, главной причиной которых стал «человеческий фактор» и отклонения убедительно свидетельствует о необходимости создания современных высокоточных интеллектуальных систем управления движением судов, учитывающие особенности процесса взаимодействия человека с техническими средствами судовождения и принятия им решений в сложных навигационных условиях и критических ситуациях. Разработка таких систем требует учета особенностей взаимодействия человека с техническими средствами управления судном. Показано, что создание высокоточной интеллектуальной системы управления

движением судов позволит одновременно решать комплекс задач по стратегическому и оперативному управлению движением судна с позиций достижения требуемого уровня безопасности и экономической эффективности. Главной идеей научного исследования является изучение особенностей протекания процессов формирования и принятия решений судоводителем с целью совершенствования процесса взаимодействия судоводителя с информационной навигационной системой, повышение качества решений, принимаемых им, и разработка новых подходов к построению высокоточных интеллектуальных систем управления движением судна. Определено, что важным направлением дальнейших исследований является изучение влияния маневренных характеристик судов на процессы формирования управляющих воздействий в высокоточных интеллектуальных системах поддержки принятия решений судоводителя.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, интеллектуальная система управления движением судна, человеческий фактор, управление судном, судовождение.

Ben A. P., Palamarchuk I. V. FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF MODERN HIGH-PRECISION INTELLIGENT VESSEL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS

The article deals with the creation of intellectual traffic control system ships. The key areas of research in this field, the influence of the human factor in decision-making processes of ships control. An important issue today is to increase the accuracy of compliance by ships planned trajectory. The presence of a significant number of maritime accidents which occurred recently, including a large number of casualties and severe technological implications, the main cause of which was the «human factor» and reject clearly demonstrates the need for a modern high-precision intelligent systems ship traffic control, taking into account features the process of human interaction with technical means of navigation and adoption of its decisions in difficult navigation conditions and critical situations. Development of such systems requires taking into account the features of human interaction with technical facilities ship control. It is shown that the creation of intellectual traffic ship control system will ship simultaneously solve complex problems of strategic and operational management positions with the movement of vehicles to achieve the objectives of safety and economic efficiency. The main idea of research is to study the features of the processes of formation and decision-making skippers to improve the process of interaction skippers with information navigation, improving the quality of decisions, which he accepted, and the development of new approaches to building intelligent systems precision motion control ships.

Determined that an important area of future research is to study the impact of maneuvering characteristics of ships on the development of control actions in precision intelligent decision support systems navigators.

Keywords: decision support system, intelligent system ship control system, ship control, human factor, navigation.

© Бень А. П., Паламарчук І. В.

Статтю прийнято
до редакції 14.06.16

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОРСКОГО ПОРТА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЕГО ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

Берестовой А. М., д.т.н., проф., заведующий кафедрой судовождения и морских перевозок Азовского морского института Национального университета «Одесская морская академия», E-mail: batami36@gmail.com;

Зинченко С. Г., к.э.н., начальник отдела системы управления качеством государственного предприятия «Мариупольский морской торговый порт», E-mail: s74@mail.ru

В настоящей статье рассмотрены вопросы структуры транспортно-технологической системы Мариупольского морского порта, сделан анализ взаимодействия транспортных систем морского региона. Поставлена проблема исследования объектов многокритериальной транспортной системы, а также предложена математическая модель исследования транспортных систем.

Ключевые слова: система, объект, транспорт, узел, развитие, схема, модель.

Введение. В современных условиях развития промышленно-транспортного региона Восточной Украины с перспективой повышения производительности, увеличения номенклатуры и объемов производства аграрного сектора требуется совершенствование работы объектов морского транспорта, в частности морского порта и особенно его инфраструктуры. Развитие морского порта должно учитывать также оборонную и энергетическую стратегии Украины.

Морской порт сам по себе является сложной промышленно-транспортной системой, которая постоянно развивается и взаимодействует с другими промышленно-транспортными системами, в том числе смежными портами, производственными, внешними транспортными и другими системами. Названные системы постоянно развиваются и в своем развитии влияют друг на друга. Оценочные показатели их развития носят мультикритериальный характер.

Эффективность работы морского порта оценивается в основном эффективностью функционирования его транспортной инфраструктуры, составом и техническим состоянием ее объектов. Промышленность и транспорт Восточного региона Украины активно развиваются в силу технико-экономического развития страны и ее вхождения в мировые промышленно-транспортные системы [1]. При развитии промышленно-аграрного региона увеличивается номенклатура грузов и объемы их транспортировки через морской порт.

При этом транспортную инфраструктуру порта составляют процессы и объекты различных видов транспорта, в том числе автомобильного, железнодорожного, водного, объекты портофлота, погрузо-разгрузочные и складские средства, непрерывные виды транспорта и другие, которые также развиваются.

Постановка проблемы. Развитие процессов и объектов промышленно-транспортной системы порта требует значительного увеличения расходов природных, энергетических и трудовых ресурсов, поэтому необходимо принять решение, в каком направлении, какие процессы и объекты развивать, с учетом повышения эффективности работы всей системы.

В этих условиях возникает необходимость разработки метода адекватной оценки использования природных, энергетических и трудовых ресурсов транспортно-технологической системы (ТТС) морского порта, что позволит определить приоритетность совершенствования объектов и процессов, и на этой основе выявить направления, а также резервы экономии названных ресурсов.

Оценка рационального использования названных ресурсов представляет определенную сложность и она возможна только на многокритериальной основе. На этой

же основе целесообразна разработка метода оценки взаимосвязи внешних и внутрипортовых транспортно-технологических систем и эффективности их функционирования.

Цель статьи. Разработать основы метода оценки взаимодействия транспортных систем морского порта на базе использования природных, энергетических и трудовых ресурсов.

Анализ последних достижений и публикаций. Исследованиям в сфере взаимодействия систем уделено внимание в работах ученых: Сай В. М. [2], Сурмин Ю. П. [3], Сыч Е. Н. [4], Хлестова О. А. [5] и других. Большинство современных авторов в основу развития предприятий морского транспорта положили механизмы рыночных отношений. При этом вопросам эффективного взаимодействия систем, развития процессов и объектов транспортной инфраструктуры порта уделено недостаточное внимание.

Основное содержание работы. Транспорт охватывает технологии и объекты в транспортно-технологическом процессе «производство – транспорт – потребление грузов» [1].

Организация синтеза внутренних и внешних транспортных процессов перемещения материальных потоков между производителями и потребителями, связанными с транспортировкой грузов, и взаимосвязи между данными системами описана в [6].

Элементы в системе находятся не сами по себе, а связаны друг с другом. Системы также формируют связи между собой. Под связью понимается любого рода взаимодействие между частями системы. Связь выступает в виде качества, которое заключается в том, что все предметы, явления объективной действительности находятся в бесконечно многообразной зависимости и в многообразных отношениях.

Связи выступают важнейшей характеристикой сложной системы. Чем сложнее система, тем больше возможностей для ее совершенствования. В системе постоянно возникают новые связи, взаимодействия, в результате чего в ней образуются новые свойства. Система, в которой функционирует морской порт, разработана авторами и представлена в виде логистически-пирамидальной схемы (рис. 1).

Морской порт, как транспортный узел, представляет собой сложную мультимодальную систему в совокупности со смежными видами транспорта, совместно выполняющими операции по обслуживанию возрастающих перевозок грузов, проходящих через порты, ж/д станции, автопредприятия, аэропорт, промышленный транспорт и подъездные пути, трубопроводы, средства транспортировки энергоносителей, системы оборонного назначения, агропромышленного комплекса и тому подобные.

Предложенная схема логистически-пирамидальной транспортной системы (рис. 1) связывает в единое целое транспортные, материальные, информационные и другие логистические потоки Восточного региона Украины. Она является сложной, самодостаточной, замкнутой и одновременно взаимодействует с системами других регионов.

В настоящей работе исследование развития системы транспорта Восточного региона Украины осуществлено с позиций расхода природно-энергетических ресурсов (ПЭР) в ТТС порта из расчета на единицу транспортируемой продукции. Каждый элемент системы потребляет ресурсы и производит полезно используемые в дальнейшем и неиспользуемые (вредные) отходы, загрязняющие окружающую среду.

На взаимодействие транспортных систем морского порта влияют факторы: технико-технологические, природно-климатические, социально-экономические, экологические и другие [1].

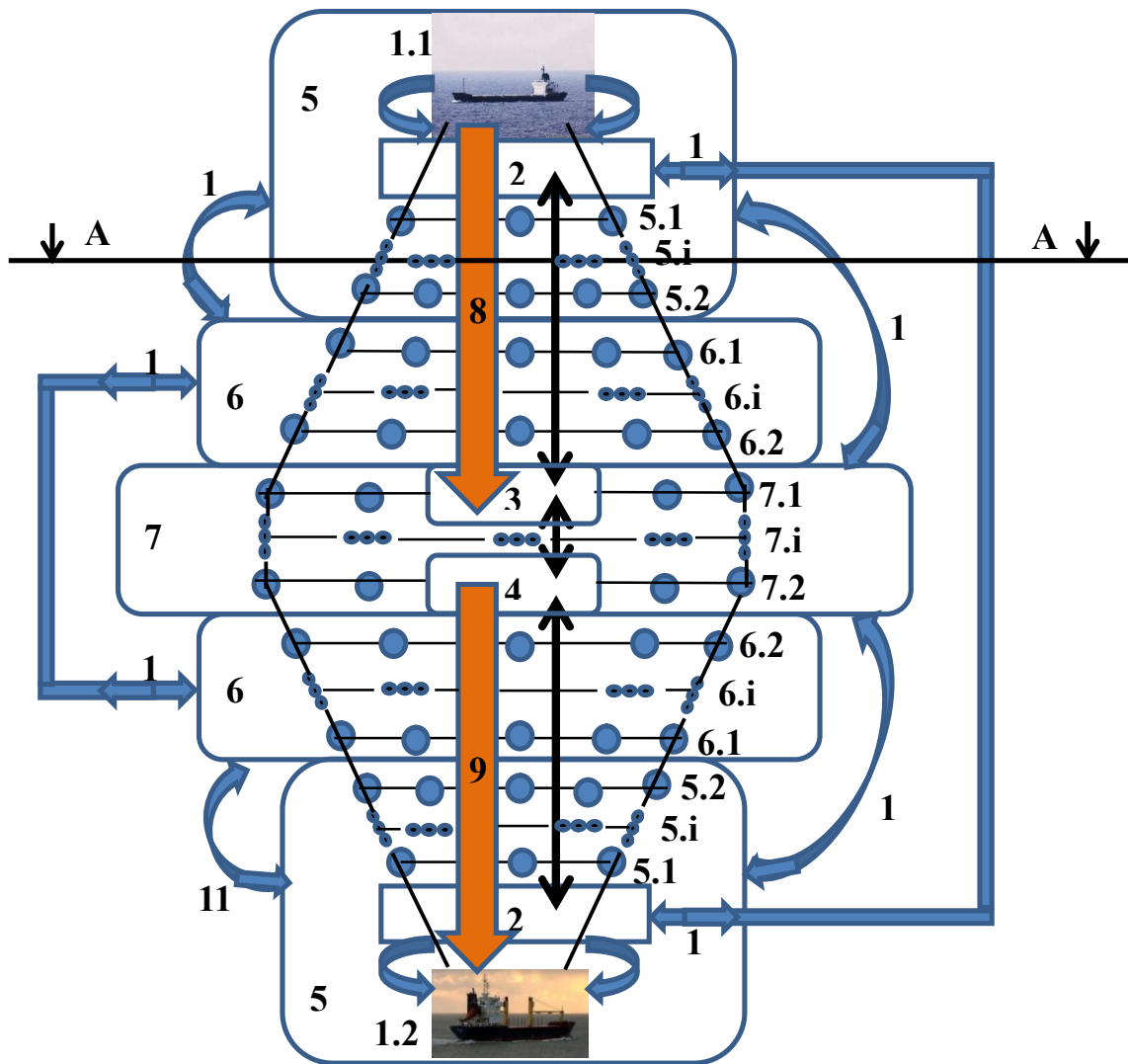


Рисунок 1 – Логистически-пирамидальная транспортная система обеспечения работы морского порта в промышленно-аграрном регионе:

1 – судно у морского порта: 1.1 – прибытие судна; 1.2 – отправление судна; 2 – причал морского порта; 3 – потребители; 4 – поставщики; 5 – транспортно-технологическая система (ТТС) порта: 5.1 – система ж/д транспорта; 5.2 – система автотранспорта; 5.i – прочие системы; 6 – внешние (для порта) ТТС: 6.1; 6.2; 6.i – системы специального; промышленного транспорта и др.; 7 – ТТС производителей и потребителей: 7.1; 7.2; 7.i – магистральный транспорт; складские и другие системы; 8 – выгрузка груза с судна; 9 – погрузка груза на судно; 10 – взаимосвязи ТТС порта и ТТС производителей (потребителей); 11 – взаимосвязи ТТС порта с внешними ТТС; 12 – реверсивные связи внутри ТТС порта

Условные обозначения:

 грузовые и транспортные потоки

 взаимосвязи ТТС

 информационные связи

 сечение по АА – составляющие (рис. 2а и 2б) конкретной ТТС, отдельного вида транспорта в ТТС морского порта

Составляющие систему процессы и объекты показаны на рис. 2, который представляет собой структуру разреза по А-А рис. 1, а именно – взаимные связи составляющих процессов и объектов конкретной ТТС морского порта.

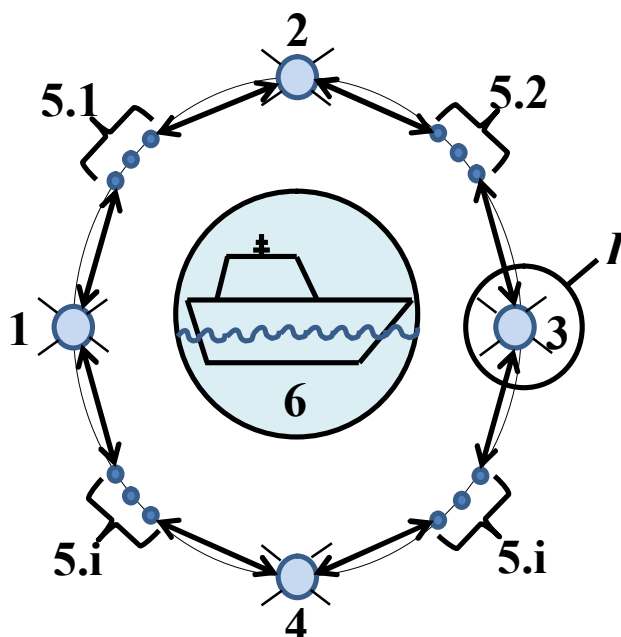


Рисунок 2 – Схема составляющих отдельных процессов и объектов ТТС порта:

1 – причал; 2 – погрузочно-разгрузочные средства; 3 – средства транспортировки и перемещения груза (*I*; выделен в рис. 3); 4 – склад; 5 – объекты и процессы управления: 5.1 – механизации и автоматизации; 5.2 – хранения; доработки и подготовки груза; 5.i – техобслуживания и ремонта транспортной подсистемы и др.; 6 – судно под грузовыми операциями в порту

На рис. 3 представлена схема потребляемых ресурсов отдельным (*I-м*) объектом ТТС порта.

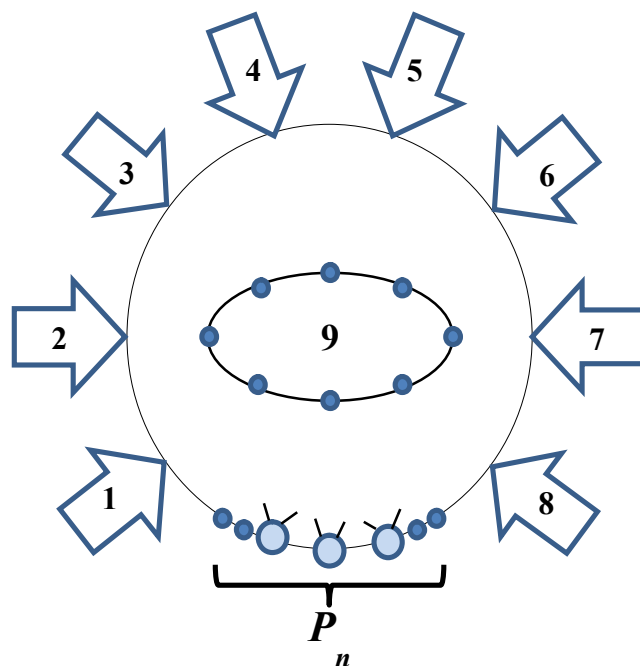


Рисунок 3 (объект (*I*) рис. 2) – Схема потребления природно-энергетических и трудовых ресурсов отдельными объектами и процессами одной из ТТС порта:

1 – атмосфера; 2 – гидросфера; 3 – литосфера; 4 – фитосфера; 5 – биосфера; 6 – территории; 7 – трудовые ресурсы; 8 – энергоресурсы; 9 – отдельный объект ТТС порта; P_n – расходные ресурсы ТТС порта (кроме рассматриваемых в пп. 1–8)

Взаимосвязь между узлами системы, а также количественные характеристики ее связей могут быть представлены с помощью матриц смежности и потоков, что обеспечивает возможность хранения и обработки сетей в электронном виде [2].

Операционная оценочная модель транспортной системы морского порта на уровне оценки потребления ПЭР объектами и процессами ТТС может быть представлена [5]:

$$Un = f(x_{ki}, y_{ki}), \quad (1)$$

где Un – полезность (значение) критерия, который характеризует качество транспортно-технологической схемы, f – функция, задающая соотношение между Un , x_{ki} и y_{ki} , x_{ki} – управляемые переменные, y_{ki} – изменяемые и постоянные параметры (либо величины), которые не поддаются управлению, но влияют на Un .

Для транспортных систем, рассматриваемых как совокупность процессов, протекающих во времени и пространстве, определяется параметр интенсивности процесса λ_{IT} в данном его сечении l и в заданный момент времени T (отсчет от некоторого момента времени принятого за начало координат) [6]:

$$\lambda_{IT} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N}{\Delta t}, \quad (2)$$

где Δt – некоторая окрестность точки отсчета с координатой T в виде интервала $[T - \delta t, T + \delta t]$; N – количественное значение показателя процесса в системе, прошедшее через его поперечное сечение за момент времени Δt , (например: тонн перевезенного груза, единиц экологических загрязнителей (ПДК), единиц энергозатрат и т.д.).

Данные факторы носят как внешний, так и внутренний характер. Внешние факторы характеризуются тем, что элементы системы индифферентны по отношению друг к другу, а особенность внутренних в том, что образуемая ими система выступает как единство подобных элементов. Функционирование связей как внутри систем, так и между собой представляет собой постоянное воспроизводство функционального эффекта, который сводится к способности системы делать то, что принципиально не может сделать каждый ее отдельный элемент [3].

В настоящее время основной путь взаимодействия систем – совместное использование ими устаревшего и нового оборудования, особенно суброгацийных [7] и современных судов.

Зная интегральные затраты $G_{инт.м. i}^r$ и затраты на перевозку потребителю груза k -го вида, определяется оптимальный план работы ТТС порта и устанавливаются рациональные связи в ней. При этом должны быть соблюдены условия обязательного удовлетворения как совокупного спроса в регионе, так и по каждому потребителю продукции. Ограничениями являются установленные лимиты ресурсов при минимизации производственно-транспортных затрат.

Поскольку логистически-пирамидальная система (рис. 1) объединяет несколько ТТС: поставщиков, внешнего транспорта, порта и потребителей, соответственно имеются несколько уровней переменных на уровне ТТС порта (рис. 1, поз. 5). При этом рассматривается отдельный объект ТТС порта (рис. 2, поз. 3), где учитывается количество и интенсивность потребления ресурсов, объемы перевозок грузов от поставщиков в порт и из порта потребителям, вид транспорта.

Математическая модель решения данной многокритериальной задачи может иметь цель найти значения переменных x_i^r , Y_{ijk}^t , $Y_{\varphi i \psi}^t$, при которых минимизируется величина целевой функции [8]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} G_{инт.м. i}^r x_i^r + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l S_{ijk}^t (1+E)^{T-t} Y_{ijk}^t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{\psi=1}^{\Psi} \sum_{\varphi=1}^{\Phi_{\psi}} S_{\varphi i \psi}^t (1+T)^{T-t} Y_{\varphi i \psi}^t, \quad (3)$$

и выполняются условия:

– общий объем поставок груза k -го вида за время t не может превышать соответствующего объема производства:

$$\sum_{r=1}^{R_i} a_{ik}^{rt} x - \sum_{j=1}^n Y_{ijk}^t \geq 0 \begin{pmatrix} i = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, l \\ t = 1, 2, \dots, T \end{pmatrix}, \quad (4)$$

– заданная потребность j -го процесса или объекта в грузе k -го вида за время t должна быть полностью удовлетворена:

$$\sum_{i=1}^m Y_{ijk}^t = d_{jk}^t \begin{pmatrix} j = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, l \\ t = 1, 2, \dots, T \end{pmatrix}, \quad (5)$$

– все ТТС совместно должны перевезти не меньше заданного объема за определенное время:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} a_{ik}^{rt} Y_{jk}^t x_i^r \leq P_f^t \begin{pmatrix} f = 1, 2, \dots, F \\ t = 1, 2, \dots, T \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Производственно-транспортные задачи с непрерывными переменными решаются с помощью методов линейного программирования. Изложение алгоритмов при решении этих задач требуют значительного объема исследований, связанных с взаимоувязкой множества иногда противоречивых параметров.

В современных условиях оценки в ТТС использования природно-энергетических и трудовых ресурсов иногда недостаточно верно определяется и учитывается ценность ПЭР.

На основании исследований [6] использование ПЭР в ТТС в стоимостном выражении представлено на диаграмме рис. 4, из которой видно, что литосфера и фитосфера являются наиболее дорогостоящими составляющими по затратам на 1 тонну транспортируемого груза. В то же время, такие затраты, как гидросфера, энергетические и трудовые ресурсы являются наименее ценными.

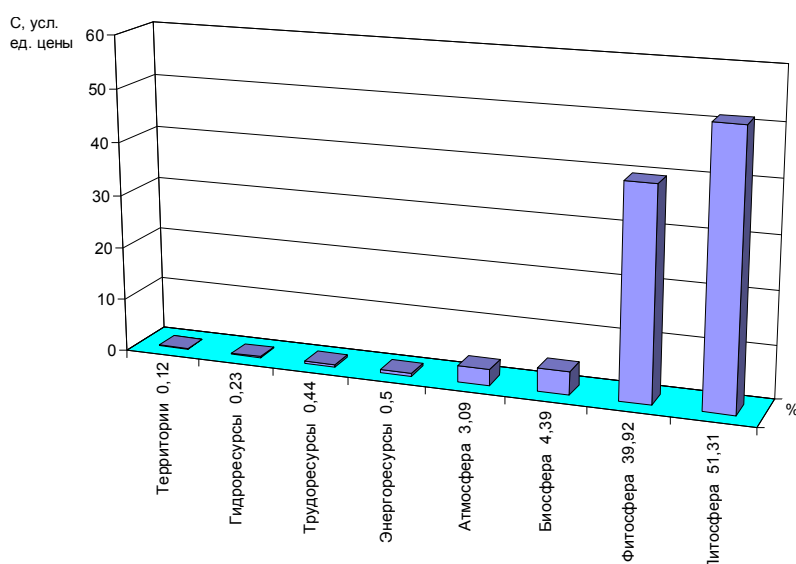


Рисунок 4 – Гистограмма распределения затрат ПЭР в стоимостном выражении на одну тонну транспортируемого груза в ТТС

При этом, интересы каждой отдельной системы транспорта, даже в конкретной системе, между ее составляющими, создают противоречивые ситуации по приоритетам развития и взаимоувязки значительного количества, порой взаимоисключающих,

отдельных технологий и объектов. В этом случае оценочные критерии также могут быть противоречивыми.

Из методов многокритериальной оптимизации для данных условий развития ТТС наиболее приемлемыми являются человеко-машинные процедуры, в которых применим диалог лица, принимающего решение и ЭВМ. При этом не требуется задавать функцию предпочтения в явном виде. Для реализации алгоритма требуется минимум информации лица, принимающего решение о функции, который необходим для проведения вычислений [9].

Выводы. Анализ процессов и объектов ТТС морского порта показал, что при значительном уровне ресурсосбережения не существует соответствующих методов их оценки, позволяющих выбрать рациональное направление повышения эффективности работы транспортных объектов порта. Классификация систем, их взаимодействие, а также внутренние связи между их элементами представляет собой сложную проблему, которая еще не полностью разрешена в науке, в частности, оценки многокритериальных транспортных систем с учетом затрат ПЭР, и поэтому данная проблема требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестовой А. М. Проблемы эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях его развития / А. М. Берестовой, С. Г. Зинченко, Л. Ф. Хлопецкая // Судовождение : сб. науч. трудов. – НУ ОМА, Вып. 26. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016. – С. 175–182.
2. Сай В. М. Планетарные системы управления на железнодорожном транспорте. / В. М. Сай. – М. : ВINITI, 2003. – 336 с.
3. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / Ю. П. Сурмин. – К. : МАУП, 2003. – 368 с.
4. Сыч Е. Н. Повышение эффективности функционирования прогрессивных технологических систем морских перевозок грузов : тексты лекций / Е. Н. Сыч – М. : ЦРИА «Морфлот», 1982. – 68 с.
5. Хлестова О. А. Повышение эффективности транспортно-технологической схемы доменного производства : дисс. кандидата техн. наук: 05.22.12 / О. А. Хлестова. – Днепропетровск, ПГТУ, 2015. – 172 с.
6. Берестовой А. М. Синтез процессов и объектов в материальных потоках транспорта затвердевающих жидкостей: дисс. доктора техн. наук / А. М. Берестовой. – Мариуполь, ПГТУ, 2002. – 528 с.
7. Берестовой А. М. Повышение уровня безопасности мореплавания субро-гацийных морских судов / А. М. Берестовой, С. Н. Перепечаев, А. А. Черныш // Материалы международной научно-технической конференции. – Мариуполь : АМИ ОНМА, 2014. – С. 67–69.
8. Семененко А. И. Логистика. Основы теории : учебник для вузов / А. И. Семененко, В. И. Сергеев. – СПб. : Издательство «Союз», 2001. – 544 с.
9. Вопросы анализа и процедуры принятия решений : сборник переводов / под редакцией И. Ф. Шахова. (пер. с англ.) – М. : Мир, 1976. – 232 с.

REFERENCES

1. Berestovoyj A. M., Zinchenko S. G. & L. F. Khlopeckaya (2016). Problemih ehkspluatacii i remonta objhektov transportno-tekhnologicheskoyj sistemih morskogo porta v usloviyakh ego razvitii *Sudovozhdenie : sb. nauch. Trudov*, 26, 175-182.
2. Sayj V. M. (2003). *Planetarnihe sistemih upravleniya na zheleznodorozhnom transporte*. M. : Viniti.
3. Surmin Yu. P. (2003). *Teoriya sistem i sistemnihyj analiz : ucheb. posobie* K. : MAUP.

4. Sihch E. N. (1982). *Povihshenie ehffektivnosti funkcionirovaniya progressivnykh tekhnologicheskikh sistem morskikh perevozok Грузов.* М. : CRIA «Morflot».
5. Khlestova O. A. (2015). *Povihshenie ehffektivnosti transportno-tekhnologicheskoy skhemih domennogo proizvodstva. Candidate's thesis.* Dnepropetrovsk : PGU.
6. Berestovoy A. M. (2002). *Sintez processov i objektiv v materialnykh potokakh transporta zatverdevayushchikh zhidkostey. Doktor's thesis.* Mariupol : PGU.
7. Berestovoy A. M., Perepechaev S. N. & Chernysh A. A. (2014). *Povihshenie urovnya bezopasnosti moreplavaniya subrogatsionnykh morskikh sudov. Materiali mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii.* Mariupol : AMI ONMA, 67–69.
8. Semenenko A. I. & Sergeev V. I. (2001). *Logistika. Osnovih teorii : uchebnik dlya vuzov.* SPb. : Izdatelstvo «Soyuz».
9. Shakhova I. F. (Ed.). (1976). *Voprosih analiza i procedurih prinyatiya resheniy : sbornik perevodov.* М. : Mir.

Берестовий А. М., Зінченко С. Г. ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ МОРСЬКОГО ПОРТУ ПРИ ВДОСКОНАЛЕННІ ЙОГО ПРОЦЕСІВ І ОБ'ЄКТІВ

У цій статті розглянуті питання структури транспортно-технологічної системи Маріупольського морського порту, зроблений аналіз взаємодії транспортних систем морського регіону. Вирішено проблему дослідження об'єктів многокритеріальної транспортної системи, а також запропоновано математичну модель дослідження транспортних систем.

Ключові слова: система, об'єкт, транспорт, вузол, розвиток, схема, модель.

Berestovoy A. M., Zinchenko S. G. FOUNDATIONS OF MODELING OF TRANSPORT SYSTEMS SEAPORT WITH PERFECTION ITS PROCESSES AND FACILITIES

This article describes how to structure the transport and technological system of the Mariupol Sea port objects, made an analysis of existing traffic on the example of region. Posing the problem of multicriteria research facilities of the transport system, as well as the mathematical model study of transport systems.

Keywords: system, object, transport, assembly, development, diagram, model.

© Берестовий А. М., Зінченко С. Г.

Статтю прийнято
до редакції 11.04.16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РИСКИ СУДОХОДСТВА В ДИАГРАММЕ ИСИКАВЫ

Вильский Г. Б., к.т.н., доцент, вице-президент по научно-организационной работе высшего учебного заведения «Международный технологический университет «Николаевская политехника», E-mail: g_vilsky@mksat.net

Предложена модель-диаграмма с графической идентификацией рисков информационной безопасности судоходства. Даются методические рекомендации по построению диаграммы Исикавы для облегчения работы судоводителей при плавании в прибрежных водах и стеснённых условиях движения судна. Показаны достоинства и недостатки разработки при использовании для выявления причинно-следственных связей аварийности морских судов.

Ключевые слова: диаграмма, идентификация, информационный риск, модель, причина, судоходство, угроза, фактор.

Постановка проблемы, актуальность, связь с государственными программами. Несмотря на усилия предпринимаемые учёными и специалистами в морской практике и науке проблема снижения рисков происшествий на судах остаётся острой [1]. Её обусловленность связана с недостатком у судоводителей наглядного графического представления возможных факторов опасности приводящих к аварийности в судоходстве. Существующие широко известные средства отображения приближающейся опасности не позволяют в полной мере обеспечить принятие быстрого решения для безопасного движения судов. Вместе с этим уже разработан новый подход к морской информационной безопасности в судоходстве, представленный кластерно-вероятностной информационной моделью иллюстрирующей угрозы и риски на маршруте движения [2]. Применение графической модели-диаграммы в качестве руководящих документов важно для поддержки принятия безопасных решений командой на мостике судна и операторами систем управления движением судов. Решение данной проблемы непосредственно совпадает с выполнением задач государственного значения приведенных в: Указе Президента Украины № 582/2002 от 10.04.2000 «О мерах по защите информационных ресурсов государства»; Постановлении КМУ № 294 от 12.03.2012» Некоторые вопросы определения среднесрочных приоритетных направлений инновационной деятельности общегосударственного уровня на 2012–2016 годы «п.7» Развитие навигационных систем различного назначения в разделе «Освоение новых технологий высокотехнологичного развития транспортной системы, ракетно-космической отрасли, авиа- и судостроения, вооружения и военной техники». Предлагаемая к рассмотрению проблема согласуется с государственной морской политикой. Целесообразность настоящей разработки и реализации подобной информационной модели актуальна для управления безопасностью судоходства при плавании в прибрежных морских и на внутренних водных путях.

Анализ последних публикаций и постановка задачи исследования. Представление процессов и состояния безопасности мореплавания, с отражением взаимосвязи внутренних и внешних факторов опасностей и угроз в навигационно-информационном поле судоходства, осуществляется вербальными, математическими, табличными и графическими информационными моделями в виде диаграмм [3]. При создании подобных и доступных графических информационных моделей для демонстрации изменений данных за определенный период времени или для иллюстрирования сравнения объектов широко используются графики, гистограммы, круговые, линейчатые, поверхностные диаграммы [4]. Изображение непрерывного изменения данных судовождения с течением времени в едином масштабе отображают графиками. Они идеально показывают тренды переменных данных с равными интервалами. На графиках категории данных навигационного поля равномерно распределяют вдоль горизонтальной оси, а их значения равномерно отображают вдоль

вертикальной оси. Динамику процентного вклада каждого значения с течением времени или по упорядоченным категориям показывают в виде нормированного графика с накоплением [5]. В круговой диаграмме демонстрируют размер элементов одного ряда данных пропорционально сумме элементов. Точки данных на круговой диаграмме выводятся в виде процентов от всего круга. Целесообразность их использования наступает, когда требуется: отобразить только один ряд данных, все значения параметров процесса неотрицательны и больше 0, количество категорий не более семи и все они соответствуют частям общего круга [6]. Линейчатые диаграммы иллюстрируют сравнение отдельных категорий опасных факторов и рисков, при этом метки осей имеют большую длину, а выводимые значения представляют собой их длительность. В сгруппированных линейчатых и объемно-линейчатых диаграммах категории рисков располагают по вертикальной оси, а их величины по горизонтальной оси, при этом используют объемные горизонтальные прямоугольники. Данные, которые связаны с проявлением вероятностных показателей изображают в виде поверхностной диаграммы. Диаграмма этого типа показывает изменение величин по двум измерениям в виде поверхности. Объемные поверхностные диаграммы показывают изменение величин по двум измерениям в виде поверхности. Приемлемая погрешность представляемых результатов достигается в случаях, когда требуется найти оптимальные комбинации в двух наборах данных, например, как на топографической карте, при этом цвета и штриховки выделяют зонами с одинаковым диапазоном значений. Поверхностные диаграммы используют для иллюстрации категорий рисков с набором данных, представляющих собой числовые значения. Для демонстрации изменения навигационного контента за определенный период времени или для иллюстрации сравнения опасностей используют гистограммы. Применяют гистограммы с группировкой, объемные и нормированные с накоплением. На них выводят значения в виде плоских вертикальных прямоугольников. Столбец объемной гистограммы с группировкой представляет данные с трехмерной перспективой. Рассмотренные известные работы, где рекомендуют диаграммы, которые не позволяют судоводителям и операторам обеспечить: наглядность показа связей между происшествием судна и вызвавшими его причинами; проведение анализа цепочки факторов угроз, воздействующих на проблему безопасности движения судов; получение информации необходимой для принятия управляющих решений на мостике судна. В связи с этим поставлена задача разработки качественно новой информационной модели-диаграммы с идентификацией рисков в судоходстве.

Формулирование целей статьи. Разработать графическую модель идентификации рисков информационной безопасности судоходства на основе диаграммы Исикавы.

Изложение материалов исследования. В морской практике существует утверждение, что в случае, когда переходной процесс в управлении судном приводит к желаемому стабильному результату, его необходимо считать стандартным и не отступать от него до тех пор, пока не наступит необходимость в последующем переходном цикле изменения параметров движения, который улучшит этот процесс. При наступлении такого момента времени на практике проверяется новый режим процесса, который снова утверждается и соблюдается как норма. Процессы с изменением режимов управления движением судов контролируются и сопоставляются с рекомендованными для маршрута документами по безопасному плаванию. Оригинальным инструментом системного подхода к моделированию графической идентификации угроз и рисков безопасности мореплавания может служить идея отображения каузальных связей профессора Токийского университета Каору Исикава [7]. Исследуемое поле проблемы отображения информационных рисков судоходства с возникновением аварийного состояния достаточно наглядно может представляться его графической «Диаграммой Исикавы». Она используется как аналитический инструмент для просмотра действия возможных факторов и выделения наиболее важных причин, действия которых порождают конкретные следствия и поддаются управлению, что особенно важно при

плаванні в стеснених умовах. Її успішно поєднують з «мозговим штурмом» на стадіях визначення списку факторів, впливаючих на результат. Причинно-слідственный характер діаграми в графічному зображенні представляє в стислій формі і логічній послідовності розподіл причин, приведших до аварійності судна. Отражаючи каузальні зв'язи морського происшествія, діаграма по характерному зовнішньому вигляду нагадує скелет кісток риби. На схемі графічної моделі проблематики аварійності позначається основною жирною горизонтальною стрілкою, а ризики показуються стрілками, похилившимися до основної горизонталі з нахилом вліво. Углиблення рівня аналізу в моделі досягається додаванням до стрілок ризиків стрілок впливаючих на них факторів загроз. Дальніше уточнення з розділенням факторів загроз (а їх виявлено 15), по їх зростаючій специфічності, робиться до тих пор, поки з'являться і виявляться істинні причини загроз руху судна. З допомогою причин і загроз, приводячих до серйозним ризикам судна і в цілому судноходству в «Діаграммі Ісикави», встановлюється можливість вибору пріоритетності казуальних факторів аварійності, і таким чином забезпечується безпека переходів судна по маршруту.

Ключова задача розробки моделі-діаграми ідентифікації полягає в тому, щоб охопити все дерево можливих впливів на основні категорії ризиків. Фактично максимальна глибина такого дерева ризиків досягає шести рівнів, що відповідає «Правилу шести Р» (6 ризиків). В цьому випадку створена модель-діаграма ризиків стає повною і виробляє достатньо об'єктивну і ясну картину всіх можливих основних причин аварійності в судноходстві. Разом з цим не виключаються і інші причини і загрози судну, уточнюючі характеристики аварійності. Головними умовами ефективності моделі-діаграми є забезпечення правильності підпорядкування і взаємозалежності факторів небезпечності, а також чіткість схемного оформлення для легкого розгляду і читання. Методика побудови моделі в вигляді діаграми Ісикави передбачає виконання наступних етапів:

- визначення всіх причин і загроз, впливаючих на аварійність;
- систематизація каузальних факторів і смислових розділів;
- ранжування і оцінка загроз і причин всередині розділів;
- аналіз одержаної структури;
- виявлення і відсічення каузальності, впливати на яку неможливо;
- опущення малозначимих причин і загроз.

При побудові діаграми Ісикави причини і фактори загроз слід об'єднувати, розглядаючи їх в послідовності – від «мелких до середнім кісткам» і від «середніх до великим кісткам». Виконання графоаналітичної схеми діаграми складається з шести дій.

Перше діє. В складанні діаграми Ісикави передбачає встановлення необхідності точного визначення проблеми і категоричності предмету безпеки судноходства. Лаконичність опису проблематики записують в вигляді формулювання на робочому полі в прямокутнику з правої сторони. Від прямокутника вліво проводять пряму горизонтальну лінію.

Друге діє. З огляду на розумну достаточність і в відповідності з «Правилом шести Р», в рибий скелет над і під горизонтальною лінією заповнюють групу категорій ризиків, притаманних происшествіям з судами. Склад ризиків з їх формулюваннями і вираженнями формалізації наведено в табл. 1.

Третє діє. Вибрані категорії ризиків вписують в прямокутники, від яких проводять нахилні з'єднання до вже існуючої горизонтальної лінії. Фрагмент діаграми з з'єднанням причин, загроз і ризиків аварійності судна показано на рис. 1.

Таблица 1 – Состав рисков с формулировками и формализацией

Категории рисков		Формулировка понятия риска	Формализованное выражение риска
КАТЕГОРИИ РИСКОВ	СТОЛКНОВЕНИЕ	Сближение судов, сопровождаемое причинением ущерба самим судам, их принадлежностям, грузу, экипажу и пассажирам.	$Y(n) = M(n)/2X$ – процент повреждений, полученный при столкновении, где: $X = (M1 + M2 + \dots M(n)) / 100$, полученный коэффициент; $(M1 + M2 + \dots M(n))$ – суммарная масса столкнувшихся кораблей
	ПОСАДКА НА МЕЛЬ	Спектр расчетных сценариев с посадкой на песчано-илистый грунт в условиях мелководья, ударом о подводный камень, посадкой на рифы, и «обсыхание» при отливе.	$F_n(x) = \exp \left\{ -w \sum_{i=1}^N \lambda_i \int_0^{L_i} F_{\zeta_i}(x + U_i(l)) dl \right\}$ где L – длина маршрута; w – ширина судна; l – расстояние от начала маршрута; F_{ζ_i} – плотность распределения высот вершин для отдельных акваторий; N – число возвышенностей на единицу площади акватории; $U(l)$ – функция текущего уровня поверхности воды
	НАВАЛ	Энергия, переданная причальному сооружению при швартовке судна или его стоянке.	Энергия навала $E_n = \gamma E_k$, в которой γ – коэффициент безопасности в пределах 1,25..2,0; E_k – кинетическая энергия судна, кДж
	ЛЕДОВЫЙ	Опасные ледовые явления, включающие сверххранное появление льда или замерзание акватории, навалы льда, подвижки льда, частичный отрыв припая, обледенение.	Неустановившееся прямолинейное движение судна во льдах $M \frac{dV}{dt} = -R_c(V, w) - R_{лч}P + Vn_e(H_g)$, где M – масса судна вместе с присоединенными массами воды и льда, т; R_c – сопротивление воды и ветра движению судна, кН; $R_{лч}$ – чистое ледовое сопротивление движению судна, кН; P_e – упор винта, кН; V – скорость судна, м/с; n – частота вращения винта, рад/с; H_g – шаг винта, м
	ТЕХНОГЕННЫЙ	Возрастающее количество негативных изменений состояния судна происходящих под влиянием децентрализирующих, разрушающих факторов на судовые технические системы.	Уровень риска, выраженный через ущерб $R = \sum_{i=1}^n R_i Y_i$, где R_i – вероятность возникновения опасного события i -го вида или типа; Y_i – величина ущерба при i -ом событии.
	ТЕРРОРИЗМ	Устрашение, насильственное действие, насилие или угроза действиям судну и/или его экипажу.	$ALE = (AV \times EF = SLE) \times ARO$ AV – стоимость ресурса; EF – мера уязвимости ресурса к угрозе; ARO – оценка вероятности угрозы; SLE ($SLE = AV \times EF$) – оценка ожидаемого ущерба от реализации определенной угрозы; $ALE = SLE \times ARO$ – ожидаемые потери от угрозы за определенный период времени

Четвертое действие. Каузальные факторы аварийности или действующие факторы угроз распределяют по установленным категориям рисков («столкновение», «посадка на мель», «навал», «ледовый», «техногенный», «терроризм») и указывают на диаграмме в виде линий, примыкающих к линиям категорий рисков. Независимо от наклона каждой угрозы, её наименование располагают в горизонтальном положении, параллельно центральной оси диаграммы. К факторам угроз относят основные и второстепенные причины, в которых характерная особенность проявляется в недостаточности, неполноте,

неправильности, ненадёжности, небрежности, неудовлетворённости в наблюдении за состоянием внутренней и внешней «среды», и выполнении «контроля» режимов эксплуатации.

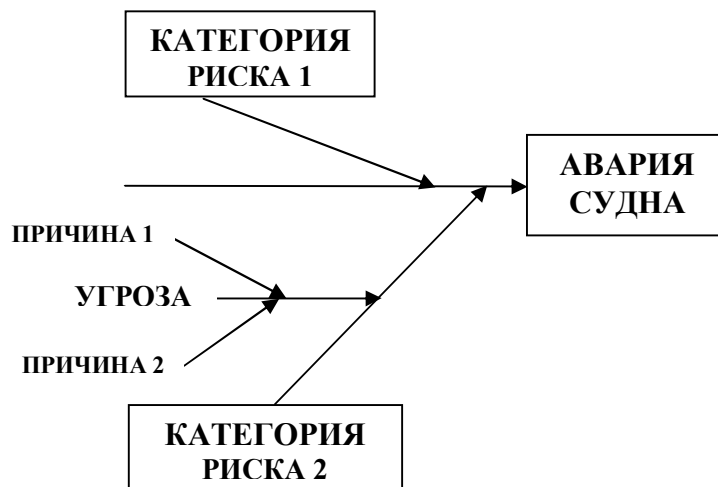


Рисунок 1 – Фрагмент сопряжения причин, угроз и рисков аварийности судов в диаграмме Исикавы

Пятое действие. Каждую из угроз разлагают на составляющие и отвечают на вопрос – «По какой причине возникла угроза?». Ответы фиксируют в виде ветвей более низкого уровня. При этом детализация причин продолжается до тех пор, пока не будет найдена «корневая» угроза по рассматриваемому риску.

Шестое действие. Выделяют наиболее значимые причины и угрозы, первоочередно влияющие на риски аварийности судов. Полная картина рисков и угроз аварий в судоходстве представленная моделью-диаграммой Исикавы, показана на рис. 2.

Следующим и завершающим шагом после построения диаграммы становится распределение факторов по степени их важности. С помощью предложенной идентификационной модели-диаграммы определяют не только состав и взаимозависимость причин и угроз, влияющих на аварийность, но и выявляют относительную значимость этих факторов. Следует учитывать, что необязательно все причины и угрозы, включенные в диаграмму, будут оказывать сильное влияние на показатель её качества. Ценность данного инструмента для судоводителя проявляется в разной степени и зависит от изменения состояния навигационно-информационного поля на маршруте судна. С её помощью хорошо проясняется и достаточно полно учитываются все существенные угрозы и риски, влияющие на безопасность судоходства. Её применение обеспечивает выяснение причин организационного характера, или установление недостатков, дефектов и отказов в технических системах участвующих в управлении судном / судами.

К достоинствам модели-диаграммы как надёжного инструментария в анализе безопасности судоходства относятся:

- наглядность показа связей между происшествием судна и вызвавшими его причинами;
- возможность проведения анализа цепочки факторов угроз, воздействующих на проблему безопасности движения судов;
- представление взаимосвязей между причинами и сопоставление их относительной важности;
- получение информации, необходимой для принятия управляющих решений на мостике судна;

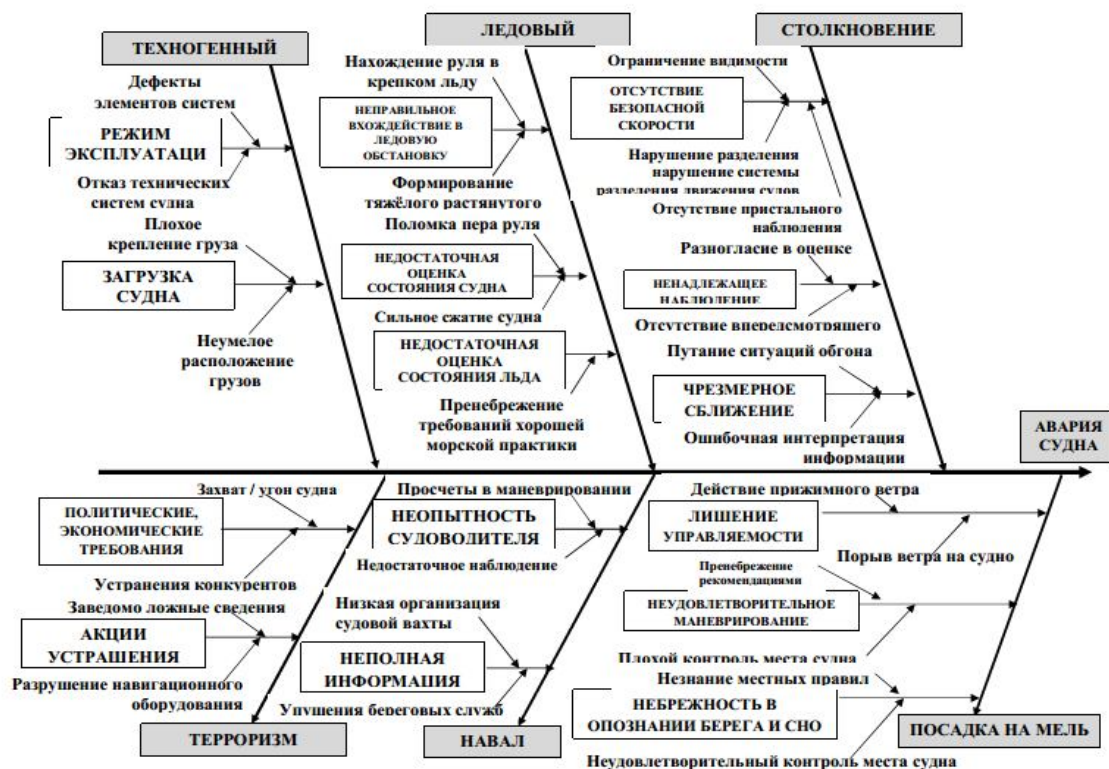


Рисунок 2 – Риски и угрозы судоходству в модели-диаграмме Исикавы

Недостаток диаграммы Исикавы состоит в сложности применения при высокой вероятности путаницы в морской практике, а также громоздкости графического представления изображения всех «ветвей», которые компенсируется наличием программного обеспечения, благодаря которому возможно фрагментарное рассмотрение изображения любого компонента.

Выводы и предложения. Разработана графическая идентификационная модель, отражающая риски информационной безопасности судоходства. Представленная моделью диаграмма Исикавы с причинами, угрозами и рисками мореплавания достаточно полно проясняет причинно-следственные связи аварийности и обеспечивает выяснение недоработок организационного характера, установление недостатков в системах управления движением судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильский Г. Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов : учебное пособие. / Г. Б. Вильский, А. С. Мальцев, В. В. Бездольный, Е. И. Гончаров. – Одесса : Фенікс, 2007. – 450 с.
2. Вильский Г.Б. Информационная безопасность судовождения : монография / Г. Б. Вильский. – Миколаїв : Видавництво ФОП Швець В. Д., 2014. – 336 с.
3. Исаева Л. Г. Анализ возможных типов диаграмм состояния простейших двухкомпонентных систем : автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата физ-мат. наук. : спец. 01.04.07 «Физика твёрдого тела» / Л. Г. Исаева. – Черноголовка, Институт Физики твёрдого тела АН СССР, 1984. – 32 с.
4. Типы диаграмм. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://support.office.com/ru-ru/article/Типы-диаграмм-a6187218-807e-4103-9e0a-27cdb19afb90> – Дата доступа: апрель 2016. – Название с экрана.
5. Жоголев Е. А. Графические редакторы и графические грамматики / Е. А. Жоголев // Программирование. – 2001. – № 3. – С. 30–42.

6. Новиков Ф. А. Язык описания диаграмм / Ф. А. Новиков, К. Б. Степанян // Информационно-управляющие системы : научный журнал. – СПб : ГУАП, 2007. – № 4. – С. 28–36.
7. Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.

REFERENCES

1. Viljsky G. B., Maltsev A. S., Bezdoljniy V. V. & E. I. Goncharov. (2007). *Navigacionnaya bezopasnostj pri lozmanskoj provodke sudov : uchebnoe posobie*. Odessa : Feniks.
2. Viljsky G. B. (2014). *Informacionnaya bezopasnostj sudovozhdeniya*. Mikolaïv : Vidavnictvo FOP Shvecj V. D.
3. Isaeva L. G. (1984). Analiz vozmozhnikh tipov diagramm sostoyaniya prosteyshikh dvukhkomponentnikh sistem. *Extended abstract of candidate's thesis*. Chernogolovka, Institut Fiziki tvyordogo tela AN SSSR.
4. Tipih diagramm. *support.office.com* Retrieved from <https://support.office.com/ru-ru/article/Tipih-diagramm-a6187218-807e-4103-9e0a-27cdb19afb90>.
5. Zhogolev E. A. (2001). Graficheskie redaktorih i graficheskie grammatiki *Programmirovaniye*, 3, 30–42.
6. Novikov F. A. & Stepanyan K. B. (2007). Yazihk opisaniya diagramm *Informacionno-upravlyayuthie sistemih : nauchniy zhurnal*. SPb : GUAP, 4, 28–36.
7. Ishikawa K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. London, Prentice Hall.

Вільський Г. Б. ІНФОРМАЦІЙНІ РИЗИКИ СУДНОПЛАВСТВА У ДІАГРАМІ ІСІКАВИ

Запропоновано модель-діаграму з графічною ідентифікацією ризиків інформаційної безпеки судноплавства. Даються методичні рекомендації щодо побудови діаграми Ісікави для полегшення роботи судноводіїв при плаванні в прибережних водах і обмежених умовах руху судна. Показані переваги та недоліки розробки при використанні для виявлення причинно-наслідкових зв'язків аварійності морських суден.

Ключові слова: діаграма, ідентифікація, інформаційний ризик, модель, причина, судноплавство, загроза, фактор.

Vilsky G. B. INFORMATION THE RISKS OF NAVIGATION IN THE DIAGRAM OF ISHIKAWA

A model diagram with graphic identification information security risks of shipping. We give guidelines for the construction of the diagram Ishikawa to facilitate the work of navigators when sailing in coastal waters and the cramped conditions of the vessel. Advantages and disadvantages of using development to identify causal relationships accident ships.

Keywords: diagram, identification, information risk, model, reason, shipping, the threat factor.

© Вільський Г.

Статтю прийнято
до редакції 28.04.16

УДК 347.799.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА КАЗЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ «МОРСКАЯ ПОИСКОВО- СПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА»

Годованюк С. П., аспирант кафедры судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии, E-mail: selivanstas@mail.ru;

Селиванов С. Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии, E-mail: selivanstas@mail.ru

Согласно Постановлению КМ Украины от 24.02.2016 № 158 действует с 10.03.2016 принято решение «О восстановлении единой системы поиска и спасания на море». Организовано самостоятельное казенное предприятие (КП) «Морская поисково-спасательная служба». На сегодня в связи с широкой компьютеризацией всех видов деятельности человечества появилась реальная потребность в повышении управляемости предприятия, сокращение бумажного документооборота и сокращении затраты на организацию взаимодействия головного предприятия с подразделениями предприятия и др.

Для этого, чтобы повысить эффективность управления инновационной деятельностью на предприятии должны применяться современные информационные технологии, кроме того необходимо создание интегрированной автоматизированной системы. В статье проведен анализ понятия CALS-технологии и принципы, которые лежат в основе указанной технологии. Рассмотрена реализация принципов CALS-технологии в информационных системах предприятия и CALS-технологии в проектировании сложных систем для создания перспективного КП «Морская поисково-спасательная служба».

Ключевые слова: управление, система морского поиска и спасания, CALS-технологии, информационная система, интегрированная информационная среда, математическое обеспечение, проектировании сложных систем.

Введение. Согласно Постановления КМ Украины от 24.02.2016 № 158, действует с 10.03.2016 принято решение «О восстановлении единой системы поиска и спасания на море». Организовано самостоятельное казенное предприятие (КП) «Морская поисково-спасательная служба».

За организацию эффективного поиска и спасания судна, терпящего бедствие, и координацию проведения поисково-спасательных операций в пределах определенного поисково-спасательного района несет ответственность спасательно-координационный центр (СКЦ), закрепленный за данным районом. К каждому району и СКЦ прикреплена береговая станция (радиостанции), в функции которой (ых) входит прием и передача оповещения о бедствии и связь для координации проведения поисково-спасательных операций. Каждая станция имеет надежную телефонную и телексную связь с СКЦ. В поисково-спасательных районах могут быть выделены определенные части, в которых, в помощь спасательно-координационному центру, создаются спасательные подцентры (СПЦ).

На сегодня в связи с широкой компьютеризацией всех видов деятельности человечества появилась реальная потребность в повышении управляемости предприятия, сокращении бумажного документооборота и затрат на организацию взаимодействия головного предприятия с его подразделениями и др.

В этих условиях задачей КП «Морская поисково-спасательная служба» является повышение эффективности управления инновационной деятельностью на предприятии, тем самым обеспечение повышения качества организации, координации и проведение поисково-спасательных работ и оказания помощи пострадавшим; решение проблемы обмена информацией между различными подразделениями предприятия; обеспечение устойчивого функционирования и дальнейшее развитие национальной системы поиска

и спасения в морском поисково-спасательном районе Украины; поддержание судами, плавсредствами, авиационными средствами, техническими средствами и береговыми подразделениями постоянной аварийно-спасательной готовности для осуществления поиска и спасения; реализация, развитие и использование систем морской подвижной связи и внедрение комплекса национального сегмента Глобальной морской системы связи при бедствиях и для обеспечения безопасности (ГМССБ) и другое.

Эта задача является **актуальной**.

Для этого, чтобы повысить эффективность управления инновационной деятельностью на предприятии должны применяться современные информационные технологии, кроме того необходимо создание интегрированной автоматизированной системы [1].

К современным информационным технологиям наибольшее распространение получили технологии известные под общим обозначением CALS – это аббревиатура (Computer Aided Logistic Support) – перевод с английского определяется как «компьютерная поддержка логистических систем». В настоящее время эту аббревиатуру принято расшифровывать иначе, а именно Continuous Acquisition and Life cycle Support, что может быть представлено как компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла. Первая часть – Continuous Acquisition (непрерывные поставки) означает непрерывность информационного взаимодействия, например с подразделениями предприятия. Вторая часть – Life Cycle Support (поддержка жизненного цикла изделия) – означает системность подхода к информационной поддержке всех процессов жизненного цикла изделия, в том числе процессов эксплуатации, обслуживания, ремонта и т.д. [2].

Целью настоящей работы является использование CALS-технологий в управлении инновационной деятельностью на предприятии «Морская поисково-спасательная служба», создание интегрированной информационной среды предприятия, изучение концепции и механизм использования CALS-технологий в информационных системах предприятия и в проектировании сложных систем для создания перспективного КП «Морская поисково-спасательная служба».

Для достижения цели разрабатываются и адаптируются методические и программные средства, обеспечивающие взаимодействие подразделений предприятия в рамках единого информационного пространства.

В соответствии целью, объектом и предметом исследования были поставлены следующие задачи:

- проанализировать понятие CALS-технологии и принципов, которые лежат в основе указанной технологии;
- рассмотреть реализацию принципов CALS-технологии в информационных системах предприятия и CALS-технологии в проектировании сложных систем для создания перспективного КП «Морская поисково-спасательная служба».

Изложение основного материала.

CALS-технологии в информационных системах предприятия. Основное содержание CALS, принципиально отличающее эту концепцию от других, составляют базовые принципы и технологии, которые реализуются (полностью или частично) в течение жизненного цикла любого изделия, независимо от его назначения и физического воплощения.

Базовыми принципами CALS являются:

- безбумажный обмен данными с использованием электронной цифровой подписи;
- анализ и реинжиниринг бизнес-процессов;
- параллельный инжиниринг;
- системная организация постпроизводственных процессов жизненного цикла изделия – интегрированная логистическая поддержка.

Основа, ядро CALS это интегрированная информационная среда, которая представляет собой распределенное хранилище данных, существующее в сетевой компьютерной системе, охватывающей (в идеале) все службы и подразделения предприятия, связанные с процессами жизненного цикла изделий. В интегрированной информационной среде действует единая система правил представления, хранения и обмена информацией. В соответствии с этими правилами в интегрированной информационной среде протекают информационные процессы, сопровождающие и поддерживающие жизненный цикл изделия на всех его этапах. Здесь реализуется главный принцип CALS: информация, однажды возникшая на каком-либо этапе жизненного цикла, сохраняется в интегрированной информационной среде и становится доступной всем участникам этого и других этапов (в соответствии с имеющимися у них правами пользования этой информацией). Это позволяет избежать дублирования, перекодировки и несанкционированных изменений данных, а также ошибок, связанных с этими процедурами, и сократить затраты труда, времени и финансовых ресурсов.

Доказав свою эффективность, которая выражается повышением качества за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений, концепция CALS начала активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики.

Как уже указывалось выше, целью использования CALS-технологий является информационная интеграция всех процессов жизненного цикла изделий, в том числе в рамках международного сотрудничества. Поэтому важную роль в решении этой проблемы играет применение международных стандартов. Международные и национальные CALS-стандарты определяют формат и содержание информационных моделей.

Стандартный способ представления данных позволяет решить проблему обмена информацией между различными подразделениями предприятия. Использование международных стандартов обеспечивает корректную интерпретацию хранимой информации, возможность оперативной передачи функций одного подрядчика другому, который, в свою очередь, может воспользоваться результатами уже проделанной работы. Чтобы CALS-технологии стали давать ощутимую отдачу, следует разработать продуманную стратегию внедрения этих технологий, связанную с технологическим процессом предприятия и четко следовать ей.

По аналогии с системами автоматизированного проектирования в составе CALS различают лингвистическое, информационное, математическое, программное, методическое, техническое и организационное обеспечение системы.

В интегрированной информационной среде информация создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника жизненного цикла к другому при помощи прикладных программных средств. Программное обеспечение CALS представлено программными комплексами, предназначенными для поддержки единого информационного пространства этапов жизненного цикла [3].

Математическое обеспечение CALS включает методы и алгоритмы создания и использования моделей взаимодействия различных систем в CALS-технологиях. Среди этих методов, в первую очередь, следует назвать методы имитационного моделирования сложных систем, методы планирования процессов и распределения ресурсов.

Для работы с CALS на первой стадии формируется рабочая группа. Рабочая группа должна включать как сотрудников производственных отделов предприятия (конструкторов, технологов и т.п.), так и специалистов отдела автоматизации (программистов и системных аналитиков). Все сотрудники рабочей группы должны пройти обучение по соответствующим CALS-технологиям и программным продуктам. Для сохранения преемственности решений целесообразно иметь рабочую группу с постоянным составом в течение всего процесса внедрения CALS-технологий.

Для реализации CALS-технологий создаются многопрофильные рабочие группы, которые объединяют в своем составе экспертов различных специальностей. Нормативную базу разработок составляют международные и национальные стандарты, регламентирующие различные аспекты CALS-технологий.

Далее необходимо провести анализ существующего на предприятии информационного обеспечения.

На основе проведенного анализа формируется концепция интеграции в информационное пространство посредством внедрения CALS-технологий на предприятии. Формирование концепции включает выбор показателей оценки эффективности процессов, формирование целей внедрения CALS-технологий и стратегии их достижения. Основными показателями являются: качество работы, затраты и длительность процессов разработки.

Опыт внедрения CALS-технологий на зарубежных предприятиях показывает, что:

- затраты на подготовку технической документации сокращаются на 40 %;
- затраты на разработку эксплуатационной документации сокращаются на 30 %.

После анализа мы видим, что внедрение CALS-технологий приводит к существенной экономии и получению дополнительной прибыли, а также повышает эффективность управления инновационной деятельностью на предприятии.

Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на безбумажную электронную технологию проектирования, изготовления и сбыта наукоемкой продукции.

Следующий важнейший блок вопросов применения CALS-технологий – решение задач анализа и реинжиниринга (реинжиниринг – это радикальное переосмысление и перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений главных современных показателей деятельности компании – таких как стоимость, качество, сервис и темпы) процессов организации и управления производством [4]. В условиях рыночных отношений проблема создания на предприятии эффективно действующей системы менеджмента качества является вопросом выживания [5]. CALS-технологии позволяют создать на предприятии эффективно действующую компьютерную систему управления качеством продукции, соответствующую международным стандартам ИСО.

CALS-технологии в проектировании сложных систем для создания перспективного КП «Морская поисково-спасательная служба». В общем случае, на стадии концептуального, внешнего проектирования системы, когда определяется ее облик и осуществляется переход к стадии разработки тактико-технического задания на проектирование системы, исследователь осуществляет более широкое взаимодействие, чем это может быть определено с помощью обычных исследовательских моделей. Ведь в процессе работы исследователю необходимо осуществлять тесное взаимодействие с различными сторонами, обладающими самой разнообразной информацией, необходимой для создания новой системы. В данном случае исследователю приходится совмещать исследовательские функции с административно-управленческой деятельностью, поэтому корректнее использовать термин «администратор системы» [6].

При создании КП «Морская поисково-спасательная служба» взаимодействующими с администратором системы сторонами являются:

- заказчик системы;
- потенциальный разработчик системы;
- НИУ, осуществляющие научно-техническое сопровождение работ;
- пользователи системы;
- потенциальные потребители системы.

В такой постановке ведение диалога исследователем, осуществляющим внешнее проектирование КП «Морская поисково-спасательная служба», с заинтересованными сторонами также может быть описано с использованием принципов диалогового

моделирования. В данном случае удобнее применить термин «интерактивное» моделирование (от interaction – взаимодействие, взаимосвязь).

Тогда процесс интерактивного взаимодействия исследователя может быть представлен как с помощью ЭВМ, так и в режиме непосредственного обращения исследователя к различным моделям и источникам информации, необходимым в процессе создания системы. И в том и другом случае взаимодействие исследователя с ЭВМ (заинтересованными сторонами) осуществляется на основе разрабатываемой сценарной модели (сокращенно «сценарий»). В общем случае возможно комбинированное взаимодействие с компьютерной моделью системы и с заинтересованными сторонами, причем участники взаимодействия также могут использовать компьютерные модели [7].

В обобщенном виде сценарий формирования облика КП «Морская поисково-спасательная служба» может быть представлена в виде процесса, состоящего из следующих основных этапов.

Первый этап. По своей сути он является предпроектной стадией создания КП «Морская поисково-спасательная служба», далее КП, на этапе работ производится сбор исходной информации по вопросу создания КП и осуществляется формирование банка данных. В процессе выполнения последующих этапов работ сбор и обновление необходимой для проектирования информации продолжается. Это вызвано, в первую очередь, сложностью решаемой научной задачи и расширением сферы взаимодействия разработчика системы с заинтересованными сторонами.

Второй этап. На этом этапе, который условно может быть назван концептуальным, производится выработка концепции создания системы. В соответствии с принятой интерпретацией на данном этапе осуществляется выявление основных направлений создания КП, исходя из общих тенденций развития системы поиска и спасения. Решения, принятые на этом этапе, в значительной мере определяют техническую политику создания системы. Поэтому данный этап является чрезвычайно важным и ответственным.

На *третьем этапе* работ, производится постановка задачи формирования облика КП в соответствии с принятой концепцией создания системы. Постановка задачи подразумевает выбор и обоснование более широкого набора показателей эффективности и качества системы. На данном этапе работ большое внимание уделяется технико-экономическим показателям. На этом же этапе осуществляется выбор методов решения поставленной задачи. Производится конкретизация частных задач, решаемых КП.

Четвертый этап. Данный этап является основным этапом внешнего проектирования комплекса, на котором выполняется разработка системных моделей КП и моделей его функционирования. На этом этапе осуществляется моделирование основных структурных и функциональных свойств создаваемой системы и производится оценивание основных показателей эффективности и качества КП. Отличительной особенностью четвертого этапа работ является широкое использование математических методов и их реализации в виде программного продукта на ЭВМ.

Пятый этап. На этом этапе производится анализ результатов, полученных при моделировании основных структурных и функциональных свойств разрабатываемого КП. Особенностью данного этапа является широкое привлечение широкого круга специалистов, как в области применения к спасательным технологиям, так и специалистов из смежных областей, связанных с выполнением специальных работ по поиску и спасению. Полученные в ходе моделирования КП результаты должны быть подвергнуты тщательному анализу как при решении частных прикладных задач, так и при решении задач комплексного плана. Особое внимание рекомендуется обратить на координацию и согласованность выполнения всех работ в интересах поиска и спасения. В процессе проведения анализа полученных результатов отдельные модельные эксперименты могут быть дополнены и уточнены по исходным данным заинтересованных в создании КП сторон.

На *шестом этапе* внешнего проектирования КП «Морской поисково-спасательной службы» осуществляется выработка предложений по созданию КП и определяются основные этапы его создания. Данный этап работ сопровождается проверкой и отработкой методов и способов применения сил и средств комплекса для решения широкого круга задач выполнения КП. На этом же этапе осуществляется выработка тактико-технических требований для подготовки технического задания на проектирование системы.

В соответствии с принятой CALS-технологией процесс внешнего проектирования КП с учетом выделенных этапов можно описать в виде следующего сценария интерактивного (диалогового) взаимодействия стороны, осуществляющей внешнее проектирование КП со сторонами, обеспечивающими информационную и компьютерную поддержку процесса создания системы [8]. Стороны, осуществляющие информационную и компьютерную поддержку процесса создания системы определены в пункте 1 работы.

Действие первое. Цель действия – ознакомить администратора системы с принципами организации взаимодействия с моделью формирования облика КП.

Взаимодействие администратора системы с моделью формирования облика КП основывается на следующих принципах:

- администратору системы предлагается различная исходная информация по его запросу;
- администратор системы может определять возможные пути решения задачи формирования облика КП;
- администратор системы может задавать перечень требований к КП;
- по заданным администратором системы требованиям осуществляется моделирование структурных и функциональных свойств КП;
- администратор системы совместно с заинтересованными в создании КП сторонами может получать конечные и промежуточные результаты моделирования;
- администратор системы по результатам анализа полученных в ходе моделирования системы результатов может вводить дополнительные исходные данные для моделирования и осуществлять коррекцию требований к КП;
- для управления процессом формирования облика КП администратору системы по его запросу выдаются консультативные справки и необходимая вспомогательная информация.

Действие второе. Цель действия – ввести администратора системы в состояние вопроса создания КП.

Администратору системы предлагается следующая исходная информация:

- общая концепция развития единой системы поиска и спасения на море;
- исходная информация по вопросу повышения мобильности сил и средств поиска и спасения;
- анализ опыта по поиску и спасению;
- анализ возможностей современных средств поиска и спасения;
- справочная информация, выдаваемая администратору системы по его запросу.

Действие третье. Цель действия – принять концепцию формирования облика КП.

Администратору системы предлагается:

- самостоятельно обосновать концепцию создания поиска и спасения;
- определить основные направления создания КП в соответствии с общей концепцией развития единой системы поиска и спасения на море.

По запросу администратору системы выдается концепция формирования облика КП.

Администратор системы совместно с заинтересованными сторонами:

- осуществляет сравнительный анализ основных положений обоснованной им концепции;
- при необходимости проводит уточнение концепции формирования облика КП.

Действие четвертое. Цель действия – уточнить задачу формирования облика КП путем введения ограничений, налагаемых принятой концепцией создания единой системы поиска и спасание на море.

На основании принятой концепции администратор системы:

- вводит ограничения на возможности формирования облика КП;
- обосновывает основные пути создания комплекса;
- определяет перечень частных задач, решаемых комплексом;
- устанавливает организационные основы их решения в ходе общего процесса формирования облика КП.

Действие пятое. Цель действия – задать перечень характеристик для описания возможностей, качества и эффективности КП.

Администратору системы предлагается выбрать набор характеристик, отражающих основные свойства перспективного комплекса.

Администратор системы может:

- самостоятельно ввести предложенный им самим набор характеристик;
- выделить необходимые, по его мнению, характеристики из предложенного ему перечня.

Указанные действия относятся к подготовительной стадии внешнего проектирования КП.

С шестого действия осуществляется стадия непосредственного моделирования КП в соответствии с принятой концепцией создания комплекса и выбранными характеристиками.

Действие шестое. Цель действия – задать базовую структуру КП.

Администратор системы запрашивает:

- данные о структуре действующей единой системы поиска и спасание на море;
- данные о СКЦ и СПЦ;
- данные базирования флота и их основные характеристики;
- данные распределения флота по СКЦ и СПЦ, место базирования и их основные характеристики;
- координаты потенциальных мест аварий и происшествий, возможная частота их возникновения.

На основании запрошенных данных администратор системы:

- осуществляет привязку мест базирования флота к основным структурным образованиям КП;
- задает зоны ответственности СКЦ и СПЦ по регионам;
- проводит расчеты расстояний и времени от СКЦ базирования флота до потенциальных мест аварий и происшествий в заданных регионах;
- определяет наибольшие удаления и, соответственно, время достижения потенциальных опасных мест аварий и происшествий для заданных регионов;

Основным результатом данного действия является выявление базовой структуры начального этапа формирования облика КП.

Дальнейшая организация работы может быть связана с дальнейшими действиями по формированию облика КП, например с решением военно-прикладных задач, что может являться дальнейшим продолжением действий и решений администратора системы.

Выводы. В Украине концепция CALS и стандарты по CALS-технологиям пока не нашли широкого применения. Основными причинами этого являются:

- общее отставание в процессах компьютеризации хозяйственной, производственной и коммерческой деятельности;
- отсутствие отечественной нормативной базы, позволяющей перейти от традиционных методов организации процессов проектирования, производства, испытаний, эксплуатации и так далее, основанных на бумажном документообороте, к новым, основанным на электронном взаимодействии и обмене данными. Применение

компьютерных технологий для обмена информацией только дублирует бумажный документопоток. Это противоречит самой концепции CALS, которая предполагает равноправное использование информации в любой форме, в том числе юридическую эквивалентность бумажных и электронных документов, снабженных цифровой подписью;

- недостаток информации о существовании концепции CALS, опыте применения CALS в других странах, а отсюда недостаточное понимание преимуществ и потенциального эффекта, достигаемого за счет применения CALS;
- отсутствие рынка предложений и услуг в области CALS;
- недостаток подготовленных, квалифицированных и сертифицированных специалистов, а также системы их подготовки и аттестации.

Важнейшей проблемой, которую предстоит решать в ближайшее время в области информационных технологий, является электронное описание изделий в процессах конструирования, технологической подготовки производства и производства продукции. Эта проблема чрезвычайно актуальна для предприятий, поставляющих лицензии по технологии производства наукоемких изделий, в первую очередь, изделий военной техники.

В работе рассмотрена реализация принципов CALS-технологии в информационных системах предприятия и CALS-технологии в проектировании сложных систем для создания перспективного КП «Морская поисково-спасательная служба». Предложено для формирования облика КП «Морской поисково-спасательной службы» использовать совокупность методов концептуального, внешнего проектирования больших систем, известных под общим названием CALS-технологий. При таком подходе процесс обоснования КП представлен в виде сценарной модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клар Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клар. – М. : Радио и связь, 1990. – 544 с.
2. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.
3. Норенков И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмич. – М. : Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.
4. Медынский В. Г. Реинжиниринг инновационного предпринимательства / В. Г. Медынский, С. В. Ильдеменов. – М. : ЮНИТИ, 2008. – 414 с.
5. Медынский В. Г. Инновационный менеджмент / В. Г. Медынский. – М. : Инфра-М, 2008. – 295 с.
6. Малышев Н. Г. Основы оптимального управления процессами автоматизированного проектирования / Н. Г. Малышев, Н. В. Мицук. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
7. Норенков И. П. Автоматизированное проектирование / И. П. Норенков. – М. : Высшая школа, 2000. – 188 с.
8. Максименко А. М. Управление проектными и научно-исследовательскими разработками с помощью ЭВМ / А. М. Максименко. – Л. : ЛДНТП, 1986. – 20 с.

REFERENCES

1. Klir Dzh. (1990). *Sistemologiya. Avtomatizaciya resheniya sistemnykh zadach*. M. : Radio i svyazj.
2. Norenkov I. P. (2002). *Osnovih avtomatizirovannogo proektirovaniya*. M. : Izd-vo MGTU imeni N. Eh. Bauman.
3. Norenkov I. P. & Kuzjmik P. K. (2002). *Informacionnaya podderzhka naukoemkikh izdelij. CALS-tekhnologii*. M. : Izd-vo MGTU imeni N. Eh. Bauman.

4. Medihnskiy V. G. & Iljemenov S. V. (2008). *Reinzhiniring innovacionnogo predprinimatelstva*. M. : YuNITI.
5. Medihnskiy V. G. (2008). *Innovacionnihyj menedzhment*. M. : Infra-M.
6. Malihshev N. G. & Micuk N. V. (1990). *Osnovih optimaljnogo upravleniya processami avtomati-zirovannogo proektirovaniya*. M.: Ehnergoatomizdat.
7. Norenkov I. P. (2000). *Avtomatizirovannoe proektirovanie*. M. : Vihsshaya shkola.
8. Maksimenko A. M. (1986). *Upravlenie proektnimi i nauchno-issledovateljskimi razrobotkami s pomothju EhVM*. L. : LDNTP.

Годованюк С. П., Селіванов С. Є. ВИКОРИСТАННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ У КЕРУВАННІ ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ НА КАЗЕННОМУ ПІДПРИЄМСТВІ «МОРСЬКА ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНА СЛУЖБА»

Згідно Постанови КМ України від 24.02.2016 № 158, діє з 10.03.2016, ухвалене рішення «Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі». Організоване самостійне казенне підприємство (КП) «Морська пошуково-рятувальна служба». На сьогодні у зв'язку із широкою комп'ютеризацією всіх видів діяльності людства з'явилася реальна потреба в підвищенні керованості підприємства, скорочення паперового документообігу і скороченні витрати на організацію взаємодії головного підприємства з підрозділами підприємства і ін. Для цього, щоб підвищити ефективність керування інноваційною діяльністю на підприємстві повинні застосовуватися сучасні інформаційні технології, крім того необхідне створення інтегрованої автоматизованої системи. До сучасних інформаційних технологій найбільше поширення одержали технології відомі під загальним значенням. У статті проведений аналіз поняття CALS-технології і принципи, які лежать в основі зазначеної технології. Розглянута реалізація принципів CALS-технології в інформаційних системах підприємства і CALS-технології в проектуванні складних систем для створення перспективного КП «Морська пошуково-рятувальна служба».

Ключові слова: керування, система морського пошуку і рятування, CALS-технології, інформаційна система, інтегроване інформаційне середовище, математичне забезпечення, проектуванні складних систем.

Godovanjuk S. P., Selivanov S. E. USE CALS-TECHNOLOGIES IN MANAGEMENT INNOVATIVE ACTIVITY AT THE STATE ENTERPRISE «SEA SEARCH AND RESCUE SERVICE»

According to the Decision of KP of Ukraine from 24.02.2016 № 158 operates from 10.03. 2016 the decision is accepted «About restoration of uniform system of search and rescuing on the sea». The independent is organised the state enterprise (KPI) «Sea search and rescue service». For today in connection with the wide the real requirement in has appeared a computerisation of all kinds of activity of mankind increase of controllability of the enterprise, reduction of paper document circulation and reduction Expenses for the organisation of interaction of headquarters plant with divisions of the enterprise, etc. For this purpose, to raise a management efficiency innovative activity at the enterprise Modern information technologies should be applied, creation besides is necessary the integrated automated system. To modern information technologies the greatest distribution was received by technologies known under the general designation CALS is the abbreviation (Computer Aided Logistic Support) – a translation from English is defined as «Computer support of logistical systems». In article the analysis of concept CALS is carried out – technologies and principles which underlie the specified technology. Realisation is considered CALS-technology principles in information systems of the enterprise and CALS-technologies in designing of difficult systems for creation perspective KPI «Sea search and rescue Service».

Keywords: management, system of sea search and rescuing, CALS-technology, the information system, the integrated information environment, a software, designing of difficult systems.

© Годованюк С. П., Селіванов С. Є.

Статтю прийнято
до редакції 22.05.16

ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ РАЗВИТИЯ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ

Карамушка М. В., к.т.н, доцент кафедры экономической кибернетики и управления проектами Херсонского национального технического университета,
E-mail: karamushkamarina@mail.ru

В статье исследованы теоретические вопросы, связанные с инвестиционными проектами развития судоходных компаний. Исследованы основные направления деятельности судоходной компании в зависимости от состояния мирового фрахтового рынка, в том числе прогнозирование конъюнктуры сухогрузного трампового рынка. Рассмотрены ситуации, отражающие изменение направлений основной деятельности компании при изменении характера спроса и предложения. Обоснована последовательность принятия решений по обоснованию проектов развития судоходной компании.

Ключевые слова: судоходная компания, развитие, инвестиционный проект, конъюнктура, принятие решений.

Введение. Морской транспорт по характеру своей деятельности является «международной» отраслью: основная функция морского транспорта – обеспечение внешнеторговых связей между различными государствами. Поэтому морское судоходство играет ключевую роль в жизни мировой экономики, занимает центральное место в единой системе глобальных транспортных перевозок и имеет огромное значение в хозяйстве многих стран.

Для всех стран мира, которые развивают морское судоходство, актуальными вопросами остаются вопросы поиска наиболее эффективных подходов к развитию судоходных компаний, для чего необходимо использовать новейшие методологии управления, например, методологию управления проектами.

Постановка задачи. При применении методологии управления проектами необходимо сделать анализ и систематизацию основных факторов и условий, определяющих основы подхода к управлению проектом развития судоходных компаний. При этом одним из основных факторов управленческой деятельности судоходной компании является инвестиционная деятельность.

Несмотря на то, что исследованиям инвестиционной деятельности вообще в экономической литературе уделяется много внимания, исследования инвестиций в управлении проектами развития судоходных компаний освещены недостаточно [1]. Однако они имеют существенные особенности. Основной задачей данной статьи является определение основных аспектов инвестиционной деятельности при управлении проектами развития судоходных компаний.

Основная часть. Поскольку морской транспорт обеспечивает достаточно широкий перечень услуг [2], в рамках единого судоходного рынка можно выделить его отдельные составляющие – локальные рынки, которые формируются соотношением спроса и предложения на специализированную продукцию. Грузовой тоннаж узкой специализации, такой как танкерный или рефрижераторный, образует самостоятельные локальные рынки. Эксплуатация флота в различных организационных формах судоходства (трамповой, в форме последовательных рейсов или линейной) порождает самостоятельные, но частично пересекающиеся рынки, но каждый со своим особым соотношением спроса и предложения.

Организационные формы судоходства зависят от состава флота: его общей численности, специализации, возрастной и стоимостной структуры, конструктивных особенностей. Наличие собственного флота компании может варьироваться в значительных пределах – от одного судна до нескольких сотен как у компаний-гигантов.

Необходимость укрепления конкурентных позиций [3] в отрасли судоходства потребовала от большинства компаний значительно разнообразить свою деятельность

в целях большего противостояния возможным рискам. Компании образуют дочерние предприятия в области брокерских операций, агентского обслуживания судов в портах, криюинга, судового менеджмента. Судовой менеджмент в последние десятилетия приобретает все большее распространение. Так называемые компании-операторы не являются собственно судовладельцами, а специализируются в области управления флотом. Рост их числа связан с расширением числа судовладельцев, а также с возникновением компаний, которые нуждаются в активной эксплуатации собственного тоннажа.

В первые годы компании-операторы выполняли функции отфрахтования, укомплектования и снабжения флота судовладельца. Позднее возникла дополнительная сфера их деятельности, связанная с набором, обучением судового и берегового персонала, накопленным опытом с наиболее экономным использованием отдельных типов судов и источников их снабжения, эффективных методов финансирования и возможностей регистрации тоннажа. Еще позднее их деятельность стала развиваться в направлении предоставления судовладельцам преимуществ в техническом обеспечении флота за счет оптовых поставок запасных частей и снабжения.

В наиболее общем виде назначение менеджментских компаний выражается в более эффективном осуществлении функций оперативного управления переданными судами, чем в случае их эксплуатации собственным владельцем. Критерием такой деятельности является обеспечение судовладельцу в соответствии с оговоренной оплатой по ставке передачи в менеджмент, высоких стандартов сервиса по разумным, конкурентоспособным ценам.

Рассмотрим современное состояние инвестиционных программ в судоходстве. При определении основных направлений инвестиционной политики необходимо помнить, что международное судоходство как специфический вид деятельности, подвержен влиянию множества случайных и неопределенных факторов, в том числе политической и экономической природы.

Судоходство как область деятельности связана со многими рисками судовладельца. Поэтому важнейшей задачей является эксплуатация флота с позиций наиболее эффективного использования имеющегося тоннажа.

Имеющийся тоннаж подвержен естественному процессу старения и требует своевременного и рационального обновления. Судостроение как единственная отрасль, обеспечивающая обновление флота судовладельцев, очень капиталоемкая, с длительным циклом выпуска готовой продукции, а, следовательно – с длительным циклом «связывания» средств. В связи с этим финансирование судостроения всегда было достаточно рискованным и требующим очень серьезных гарантий от всевозможных рисков в период строительства.

Известно [4], что период строительства новых судов от момента подачи заказа до момента его выполнения составляет до 3–4 лет. Суда могут иметь различные экономически оправданные периоды эксплуатации, которые зависят от их типов и характера эксплуатации. Так, период службы балкеров и танкеров составляет около 20 лет, суда-рефрижераторы и другие специализированные суда могут иметь период службы до 30 лет, а круизные и пассажирские суда могут эксплуатироваться в течение 40–50 лет. Однако, в среднем, экономически оправданный период эксплуатации судов грузового флота оценивается в 12–15 лет. Средний возраст в различных странах оценивается так [5]: наиболее старый флот в странах Восточной и Центральной Европы – 20,7 лет, на втором месте – социалистические страны Азии (15,8 лет), на третьем – развивающиеся страны (13,0 лет), далее следуют страны с открытой регистрацией (11,7 лет) и самый молодой флот в странах с развитой рыночной экономикой (10,3 лет).

На сегодня развитые страны стимулируют сокращение среднего возраста флота и расширяют строительство новых судов, чтобы поддержать общее превышение провозной способности флота над соответствующим спросом на рынке, приблизительно на уровне 30 %. Это стимулирует снижение фрахтовых ставок и способствует экономическому

развитию, в первую очередь, стран ЕС. Европейские экономисты установили [5], что если в мире ежегодно будет строиться 28–30 млн. т. дедвейта общей стоимостью примерно 20 млрд. долларов США, то это приведет к снижению фрахтовых ставок на 1–1,5%, что, в свою очередь, составляет более 5 млрд. долл. ежегодно, то есть в 5 раз больше, чем годовая сумма процентов, которые банки получают от кредитов, предоставленных на строительство флота.

Таким образом, очевидно, что вопросы инвестиционной политики судоходной компании являются важнейшим направлением ее управленческой деятельности и являются основными факторами при разработке проектов развития.

Различные организационные формы судоходства связаны с определенными техническими и экономическими условиями работы флота. Состояние компании, с точки зрения имеющегося тоннажа и его технико-эксплуатационных характеристик, результатов коммерческой деятельности, заключенных контрактов и соглашений, характеризует основные направления ее деятельности, среди которых можно выделить:

- управление флотом на перевозках в соответствии с принятыми организационными формами (трамповые, в форме последовательных рейсов, линейными);
- управление структурным составом флота с позиций возраста и специализации (рис. 1).

Управление флотом – сфера деятельности, которая связана с рисками. Источниками неопределенности в деятельности судоходной компании выступает вариативное состояние рынка, возникающие на этой основе изменения фрахтовых ставок и стоимости тоннажа.

В качестве основного фактора, который определяет состояние мирового судоходства, обычно принимается состояние мировой экономики, и в первую очередь это показатель валового национального продукта ведущих стран. В соответствии с ним рассчитывается суммарная масса продукции, требующей морской транспортировки.

Таким образом, формируется спрос на продукцию морского транспорта. Предложение состоит из суммарного тоннажа морского флота с учетом его производительности. Уровень фрахтовых ставок определяется соотношением спроса и предложения, а также колебаниями мировых цен на бункер и рядом других причин.

При определении уровня спроса принимаются во внимание два основных фактора: темпы роста промышленного производства и урожаи в ведущих странах-участницах мировой торговли зерном. На этом основании оценивается потребность в морских перевозках зерна, а также сырья для сталелитейной промышленности – железной руды и угля. На эти виды грузов приходится значительная часть мирового объема морских перевозок сухих грузов, поэтому даже незначительное изменение в объемах и направлениях их перевозок оказывает существенное влияние на состояние рынка в целом. Кроме этого оценивается (в основном экспертным путем) предполагаемый объем перевозок второстепенных грузов.

При составлении прогноза конъюнктуры сухогрузного трампового рынка предполагаемый объем перевозок сухих массовых грузов в сочетании со средней дальностью перевозки одной тонны груза дает определенный уровень спроса на тоннаж. Оценка предложения строится на основании данных о тоннаже и структуре флота балкеров, а также той части нефтерудовозного флота, которая занята в сухогрузном секторе.

На следующем этапе соотносятся размеры спроса и предложения на тоннаж, определяется «баланс» тоннажа, показатель которого сравнивается с данными предыдущего периода. На основании этого сравнения делается вывод об улучшении или ухудшении конъюнктуры рынка. Такая схема используется как при анализе ретроспективной ситуации, так и при составлении прогноза развития на ближайший период.

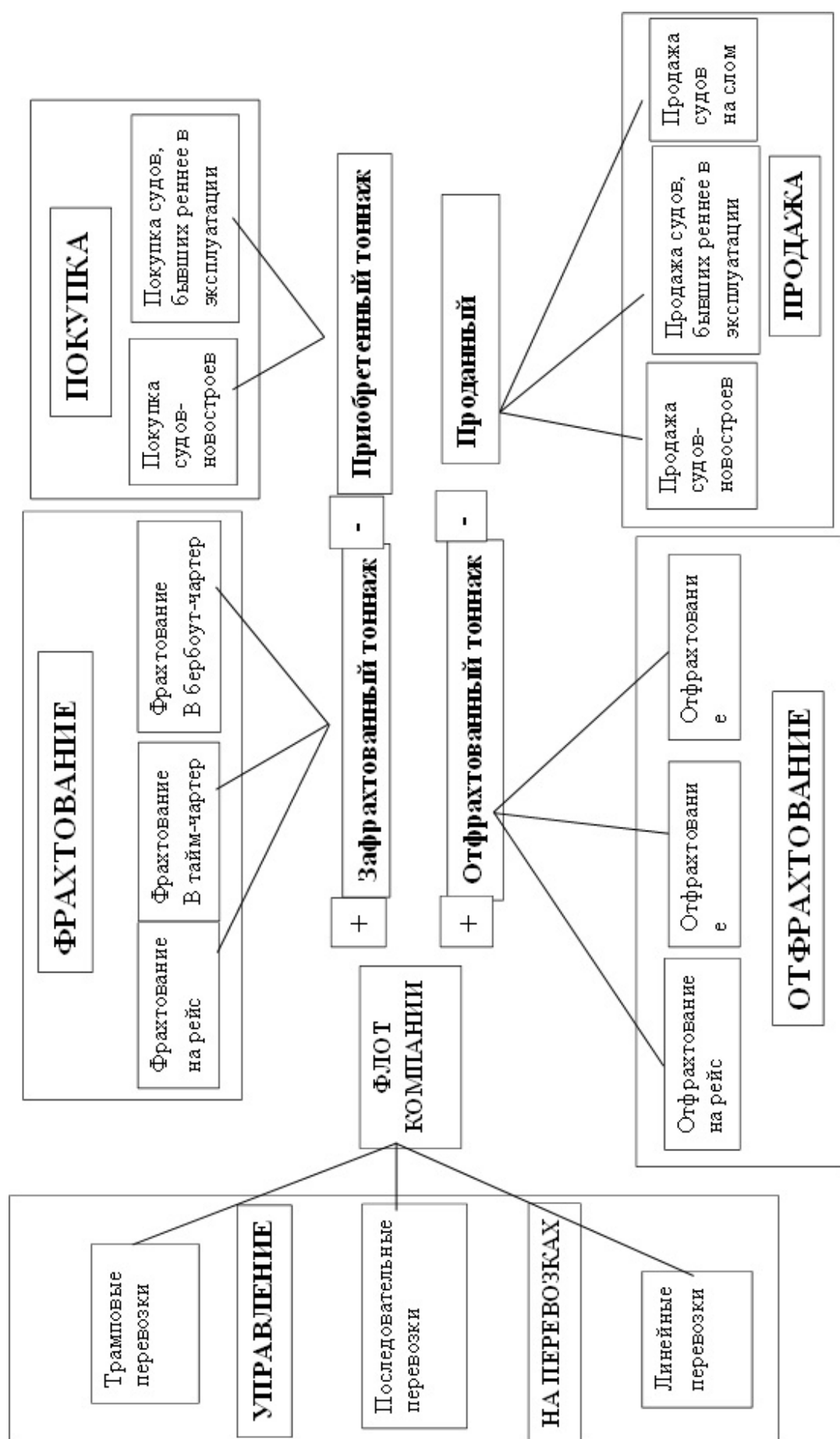


Рисунок 1 – Направления основной деятельности судоходной компании

Состояние мирового фрахтового рынка, который выражается в изменении спроса на тоннаж и его предложения, непосредственно затрагивает направления основной деятельности судоходной компании:

- изменяются требования к возрастной структуре и технико-эксплуатационным характеристикам судов, требует своевременного и целесообразного обновления флота;
- изменяется объем и структура грузопотоков, и, в связи с этим, соизмеряется ситуация с избытком или недостатком собственного тоннажа.

Ситуация, отражающая изменение направлений основной деятельности компании при изменении характера спроса и предложения, проиллюстрирована на рис. 2. Ситуация на рынке при наличии повышенного спроса на тоннаж судовладельца со стороны пользователей транспортных услуг приводит к росту объемов транспортной работы, фрахтовых ставок, перспективных значений прибыли компании и обуславливает тенденцию к увеличению собственного тоннажа за счет приобретения или, в случае нехватки капитала, оперируемого тоннажа за счет фрахтования. При отсутствии спроса возникает ситуация избыточности тоннажа и связанное с ней падение прибыли компании.

В связи с этим естественным направлением деятельности становится активизация отфрахтования или продажи флота.

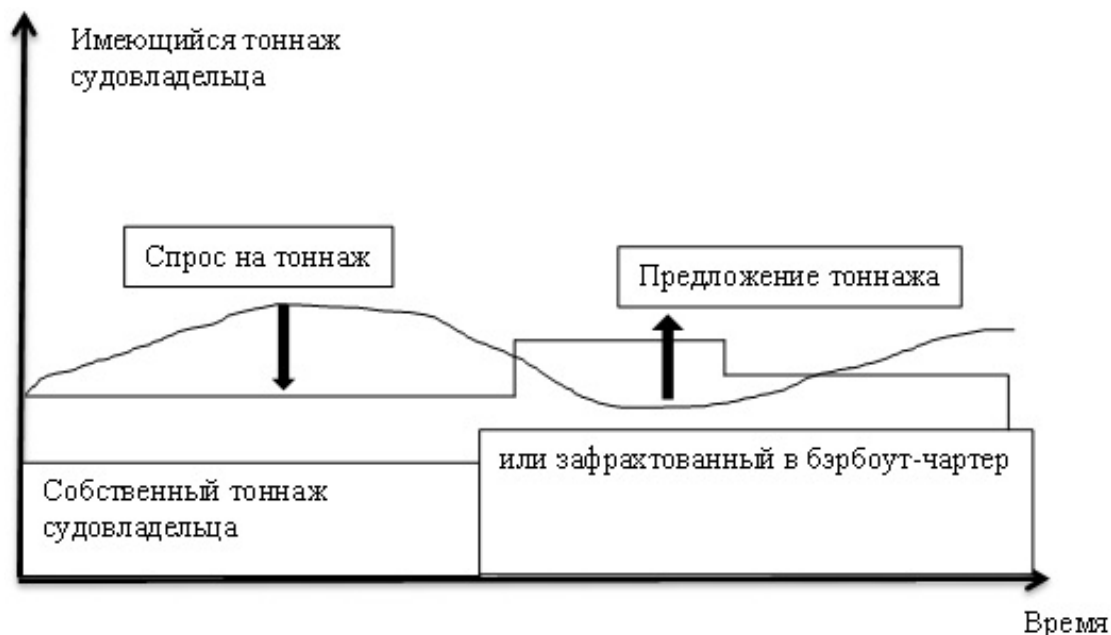


Рисунок 2 – Измерения характера спроса и предложения

Отличительные особенности различных направлений основной деятельности судоходной компании приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Отличительные особенности различных направлений основной деятельности судоходной компании

<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>
ПРИОБРЕТЕНИЯ НОВОГО СУДНА	
Полный контроль со стороны судовладельца. Передовая технология. Перспектива длительной работы. Перспектива получения высокой прибыли.	Полная ответственность судовладельца. Отсутствие защиты от форс-мажорных обстоятельств. Наличие постоянных расходов независимо от занятости судна. Высокая стоимость.
ПРИОБРЕТЕНИЕ СУДНА БЫВШЕГО В ЭКСПЛУАТАЦИИ	
Низкая стоимость. Полный контроль со стороны судовладельца.	Более высокие постоянные издержки независимо от занятости судна. Более короткий период службы. Отсутствие защиты от форс-мажорных обстоятельств.
ФРАХТОВАНИЕ В БЕРБОУТ-ЧАРТЕР	
Полный контроль со стороны фрахтователя течение договора.	Долгосрочность контракта, невозможность учетом изменений рынка. Обычно оплата всей стоимости судна в течение договора с последующим переходом в собственность фрахтователя. Наличие постоянных расходов независимо от занятости. Отсутствие защиты от форс-мажорных обстоятельств.
ФРАХТОВАНИЕ ТАЙМ-ЧАРТЕР	
Фиксированная фрахтовая ставка. Период времени определяется самим фрахтователем. Отсутствие ответственности за постоянные расходы.	Долгосрочность контракта, возможность расчетов из-за изменения состояния рынка. В большинстве случаев отсутствие защиты от форс-мажорных обстоятельств.
ОТФРАХТОВАН ЗАДАНИЕ НА РЕЙС	
Возможность гибкого учета состояния рынка и отбора клиентуры. Защита от форс-мажорных обстоятельств. Отсутствие ответственности за постоянные и переменные расходы.	Эпизодичность договора. Повышение ответственности за качество перевозки. Расходы на демередж.

Алгоритм принятия решений по обоснованию проектов, связанных с направлениями основной деятельности судоходной компании, представлен на рис. 3.

В рамках единого судоходного рынка обычно выделяют отдельные составляющие – самостоятельные локальные рынки. Грузовой тоннаж узкой специализации образует самостоятельные рынки. Эксплуатация флота в различных организационных формах судоходства также порождает относительно самостоятельные, но частично пересекающиеся рынки.

Анализ происходящих в мировой экономике процессов показывает, что рыночный характер международного судоходства обладает способностью к саморегулированию. В последние годы это получило отражение в сокращении заказов на суда и активизации списания судов на слом, что обеспечило сокращение дисбаланса между спросом и предложением тоннажа, а также в возникновении новых форм объединений судовладельцев для решения наиболее острых проблем.

Вместе с тем, сохранение избытка тоннажа, оживление процесса пополнения флота при появлении новых признаков улучшения конъюнктуры, говорят о возможности начала нового периода обострения конкуренции, выстоять в которой смогут судовладельцы,

которые быстрее других возобновили флот, а также перестроили работу с учетом изменяющегося рынка, предлагающих более высокое качество обслуживания.



Рисунок 3 – Алгоритм принятия решений по обоснованию проектов судоходной компании

В таких условиях особенно необходим научный анализ и обоснование возможных направлений инвестиций: приобретение нового тоннажа (судов-новостроек), приобретение тоннажа, который находился ранее в эксплуатации в других компаниях (тоннажа «second-hand»), модернизация существующих судов.

К основным причинам приобретения судов можно отнести следующие:

- необходимость обновления флота и его частичной замены;
- расширение возможностей компании и освоение растущих или новых грузопотоков;
- ожидания значительного роста прибыли в результате анализа текущей ситуации на рынке;
- усиление конкурентоспособности;
- приобретение на определенный срок с перспективой возможной продажи в будущем по более высоким ценам.

Продажа судов, как правило, является следствием:

- необходимость обновления флота, которая связана с естественным старением;
- возможного уменьшения расходов на содержание флота;
- вынужденной продажи, связанной с оплатой долгов, штрафов.

При проведении инвестиционной политики судоходная компания может иметь, с одной стороны, как основную цель, – приобретение судов с целью их дальнейшей эксплуатации, а с другой – использование в перспективе возможного фактора роста рыночной стоимости.

Известно, что стоимость судна определяется в зависимости от соответствия спроса на мировом судоходном рынке и с течением времени может меняться как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

К началу 70-х годов основным методом приобретения судов на мировом рынке было финансирование инвестиционных программ на основе собственных средств

судовладельца, но в последние десятилетия все большее распространение получило использование будущим владельцем заемных средств.

Примерно 40 лет назад в мировой экономике начался процесс, в результате которого банки стали главной движущей силой воспроизводства морского транспорта. Рост мировых инвестиций в промышленность и торговлю привел к резкому увеличению спроса на услуги, предоставляемые морским транспортом. При этом судовладельцы были уверены, что успех в их деятельности вполне зависел от размеров наличного тоннажа. Большие кредиты, которые предоставляются банками, достаточно быстро привели к повышенному росту заказов на новые суда, чрезмерного роста мощностей судостроения. Правительства многих стран обеспечили режим благоприятствования кредитной политики в развитии национального судоходства. Однако бум заказов на новые суда в начале 70-х годов прошлого века закончился избытком тоннажа, что в конечном итоге привело ко многим проблемам в сфере морских перевозок.

Среди ряда причин, которые способствовали широкому включению финансовых институтов в процесс расширенного воспроизводства морского транспорта, следует выделить две основные: во-первых, значительный рост спроса на внешнее финансирование, во-вторых, ответ на рост предложений финансовых средств на международном рынке ссудных капиталов, особенно на так называемом рынке «евродолларов».

С точки зрения финансовой состоятельности каждое вновь приобретенное компанией судно будет рассматриваться как актив компании, когда оно работает, и как пассив, когда оно не работает. При разработке проекта развития судовладельцы должны понимать, что финансируется не столько сама техническая конструкция, которой является судно, а ее применение, как фактическое, так и потенциально возможное.

Вывод. Вопрос поиска наиболее эффективных подходов к развитию судоходных является актуальным вопросом для всех стран мира, которые задействованы в морском судоходстве, и для решения этого вопроса необходимо использовать новейшие методологии управления вообще, методологии управления проектами в том числе. Прежде всего, нужно провести анализ и систематизацию основных факторов и условий, определяющих основы подхода к управлению проектом развития судоходных компаний.

Таким образом, в статье обосновано, что одним из важнейших факторов управления проектами развития судоходных компаний является инвестиционная деятельность, исследованы теоретические вопросы, связанные с инвестиционными проектами развития судоходных компаний. Исследованы основные направления деятельности судоходной компании в зависимости от состояния мирового фрахтового рынка, в том числе прогнозирование конъюнктуры сухогрузного трампового рынка. Рассмотрены ситуации, отражающие изменение направлений основной деятельности компании при изменении характера спроса и предложения. Проведен научный анализ и обоснование возможных направлений инвестиций: приобретение нового тоннажа (судов-новостроек), приобретение тоннажа, который находился ранее в эксплуатации в других компаниях (тоннажа «second-hand»), модернизации существующих судов. Обоснован алгоритм принятия решений по обоснованию проектов развития судоходной компании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черкесов-Цыбизов А. А. Экономика морского транспорта : учебное пособие для вузов морского транспорта / А. А. Черкесов-Цыбизов, В. И. Чекаловец, Н. Т. Примачев и др. – М. : Транспорт, 1987. – 436 с.
2. Торский В. Г. Маркетинг и менеджмент в судоходстве / В. Г. Торский, В.П. Топалов. – М. : Астропринт, 2008. – 84 с.
3. Рылов С. И. Фрахтование морских судов : учебное пособие / С. И. Рылов, Я. А. Горшков. – Одесса : ОГМУ, 1999. – 298 с.

4. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем : учебник для вузов. / В. И. Снопков. – Санкт-Петербург : АНО НПО «Мир и семья», 2001. – 560 с.
5. Електронний ресурс. – Режим доступу : <http://takr-kiev.ucoz.com/forum/81-145-1>

REFERENCES

1. Cherkasov-Cihbizov A. A., Chekalovec V. I., Primachev N. T et al. (1987). *Ehkonomika morskogo transporta : uchebnoe posobie dlya vuzov morskogo transporta*. M. : Transport.
2. V. G. Torskiy & Topalov V. P. (2008). *Marketing i menedzhment v sudokhodstv*. M. : Astroprint.
3. Rihlov S. I. & Gorshkov Ya. A. (1999). *Frakhtovanie morskikh sudov : uchebnoe posobie*. Odessa : OGMU.
4. Snopkov V. I. (2001). *Tekhnologiya perevozki грузов morem : uchebник dlya vuzov*. Sankt-Peterburg : АНО NPO «Mir i semjya».
5. Elektronniy resurs. *takr-kiev.ucoz.com* Retrieved fom <http://takr-kiev.ucoz.com/forum/81-145-1>

Карамушка М. В. ІНВЕСТИЦІЙНІ ПРОЕКТИ РОЗВИТКУ СУДНОПЛАВНИХ КОМПАНІЙ

У статті досліджено теоретичні питання, пов'язані з інвестиційними проектами розвитку судноплавних компаній. Досліджено основні напрями діяльності судноплавної компанії залежно від стану світового фрахтового ринку, у тому числі прогнозування кон'юнктури суховантажного трампового ринку. Розглянуто ситуації, що відбивають зміну напрямів основної діяльності компанії при зміні характеру попиту та пропозиції. Обґрунтовано послідовність прийняття рішень по обґрунтуванню проектів розвитку судноплавної компанії.

Ключові слова: судноплавна компанія, розвиток, інвестиційний проект, кон'юнктура, прийняття рішень

Karamushka M. V. INVESTMENT PROJECTS OF SEA SHIPPING COMPANY DEVELOPMENT

The article looks into theoretical questions related to investment projects of sea shipping company development. The main directions of sea shipping company activity based on the world freightage market's state, including predicting the conjecture of bulk-carrier tramp market, are investigated. Situations reflecting changes in a company's main activities due to changes in the supply and demands' character are looked into. A basis for a decision making sequence for making a basis for projects of sea shipping company development.

Keywords: sea shipping company, development, investment project, conjecture, decision making.

© Карамушка М. В.

Статтю прийнято
до редакції 17.04.16

«ТРИ КИТА» МИРОВОГО СУДОХОДСТВА XX ВЕКА

Лошкарев А. Г., старший преподаватель кафедры экономики и морского права Херсонской государственной морской академии, E-mail: stovba_t@rambler.ru;

Стовба Т. А., к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и морского права Херсонской государственной морской академии, E-mail: stovba_t@rambler.ru

Большая часть объема мировых перевозок осуществляется морским транспортом. Поэтому выявление закономерностей современного развития морского транспорта позволит предвидеть те трансформации, которые меняют структуру спроса на морские транспортные услуги и, соответственно, стимулируют создание новых типов судов и реформирование портового хозяйства. На основе анализа вклада самых влиятельных лиц мирового судоходства XX века – творцов этих революционных изменений – установить современные прогрессивные направления развития морского транспорта.

Установлено, что тремя самыми влиятельными лицами на развитие мирового судоходства XX века являются Аристотель Онассис, Малькольм Маклин и Тед Арисон, которые заложили основы прогрессивных направлений работы морского флота.

Выявлены тенденции развития мирового транспортного флота. Установлено, что при значительном увеличении объема перевозок наливных и навалочных грузов рост размеров танкеров и балкеров прекратился, так как дальнейшее увеличение их размеров резко снижает экономическую эффективность. Вместимость и размеры контейнеровозов продолжают расти, что обусловлено стабильным ростом грузопотока, ускорением грузопереработки и способствует снижению стоимости перевозки в пересчете на 1 контейнер. В круизном бизнесе рост размеров судов продолжается, так как существующие ограничения по заходу во многие интересные для туристов порты преодолеваются постановкой лайнеров на внешнем рейде с доставкой пассажиров на берег и обратно катерами.

Ключевые слова: морские транспортные услуги, изменение конъюнктуры фрахтовых рынков, тенденции развития мирового транспортного флота, увеличение размеров и дедевейта судов, контейнерные перевозки, преобразование рынка круизного судоходства.

Введение. $\frac{3}{4}$ поверхности земного шара занимают моря и океаны, которые являются удобными водными путями сообщения. Поэтому издревле люди использовали различные средства, начиная от плотов и челнов-однодеревек, применяемых первоначально для рыболовства, до судов для перевозки пассажиров и грузов.

Со временем, по мере роста объемов международной торговли, углубления географического разделения труда, вовлечения в товарооборот все большего количества сырьевых и топливных ресурсов, ускоренного развития ряда стран и регионов мира, усиления экономической и транспортной глобализации происходит постоянное увеличение объема мировых перевозок, большая часть которых осуществляется морским транспортом.

Использование естественных водных путей, возможность увеличения размеров транспортных средств, что приводит к уменьшению энергопотребления и снижает эксплуатационные расходы, применение новых, революционных технологий грузовых работ обеспечило сравнительно невысокую себестоимость перевозки грузов. Резкий рост объема морских перевозок при относительно невысокой их стоимости при одновременном значительном сокращении времени доставки товаров и привел во второй половине XX века к значительному увеличению производства при обеспечении снижения себестоимости товаров.

История развития морских перевозок чрезвычайно интересна и изучать ее, также как и вообще историю, лучше через биографии великих людей, творцов этих революционных изменений.

Анализ последних исследований, в которых положено начало решению проблемы. Авторы разделяют мнение М. де Сервантеса, который отмечал, что история – пример и поучение для настоящего, предостережение для будущего. Из истории можно многое почерпнуть и политикам, и промышленникам.

Оценивая степень научной разработанности темы исследования, необходимо отметить, что история и состояние мирового судоходства издавна находятся в сфере внимания многих ученых и практиков. Х. Ханке [1] раскрыл историю развития судостроения. К. Лебе уделил внимание специфике линейного и трампового судоходства, пассажирскому морскому сообщению, развитию портовой инфраструктуры [2]. Н. Т. Примачев и др. изучали проблемы экономической стабильности судоходства [3]. В. В. Винников и др. изложили концепцию формирования и реализации транспортных технологий на водном транспорте с учётом логистических систем по перевозке и переработке грузов [4]. А. Л. Кузнецов, Я. Я. Эглит приводят характеристики контейнеровозов, классификацию и типы судов для перевозки контейнерных грузов [5]. Клименко К. Н. рассмотрел эксплуатационные особенности специализированных судов для контейнерных перевозок, перспективы развития контейнерных перевозок на морском транспорте [6]. Р. Картрайт уделяет внимание проблемам развития и роста круизной индустрии [7]. Ф. Доусон, К. Гарин раскрывают причины и направления эволюции дизайна круизных судов [8, 9]. Б. Кудачи изучил феномен круизного лайнера в Северной Америке [10].

Однако авторы изучали отдельные проблемы и тренды морского транспорта, но уделяли недостаточно внимания ретроспективному анализу прогрессивных направлений развития мирового судоходства.

Целью статьи является изучение истории мирового судоходства XX века на основе анализа секретов успеха самых влиятельных лиц того времени, через призму которых можно выявить закономерности современного развития морского транспорта, что позволит не только оценивать текущее состояние фрахтовых рынков, но и предвидеть трансформации их конъюнктуры, которые меняют структуру спроса на морские транспортные услуги и, соответственно, стимулируют создание новых типов судов и реформирование портового хозяйства. Эти знания истории помогут работникам морского транспорта, а также образовательным учреждениям и представителям деловых кругов успешно адаптироваться к изменениям.

Результаты исследования. Тремя самыми влиятельными лицами в мировом судоходстве XX века газета «Ллойдс Лист» назвала Аристотеля Онассиса, Малькольма Маклина и Теда Арисона. Они оставили значительный след в мировой истории, став удачливыми судовладельцами и пионерами в создании и освоении новых прогрессивных направлений работы морского флота.

Аристотель Онассис хорошо известен морской общественности Украины как создатель судоходной империи и самый удачливый судовладелец. Все, за что он ни брался, от организации массовых перевозок нефти в начале XX века до китобойного промысла, приносило ему значительную прибыль.

С 1932 года он стал заниматься судостроительным бизнесом и в 1950-е годы XX ст. начал первым строить супертанкеры. Судовой магнат и международный бизнесмен в короткий срок создал флот супертанкеров и сухогрузов, который числом судов превосходил флоты многих стран [11].

Некоторые эксперты ставят под сомнение экономическую целесообразность гигантомании при постройке судов. Мировой опыт судоходства имеет множество тому примеров. Самые большие в мире танкеры дедвейтом более 500 тыс. т строились лишь в 70-х годах XX века. Сейчас современный танкер имеет дедвейт до 300 тыс. т. Это объясняется тем, что существующая технология добычи нефти и ее переработки не может обеспечить быструю погрузку и выгрузку танкера грузоподъемностью свыше 200–250 тыс. т. Такие перевозки будут нерентабельными, хотя себестоимость перевозки на танкере (при условии быстрой погрузки и выгрузки, что в настоящее время невозможно обеспечить) очень низка. Поэтому необходимо обоснованно подходить к выбору оптимальных размеров судов. И это касается не только танкеров.

Крупнейший в мире рудовоз «Berge Stahl» дедвейтом 365 тыс. т был построен в 1986 году. Из-за большой осадки (23 метра) судно могло обрабатываться лишь в двух портах в мире – в Понта да Мадейра (Бразилия) и в Европорту вблизи Роттердама.

Балкеры таких размеров в настоящее время не строят. Дедвейт самых крупных судов для перевозки навалочных грузов не превышает 200 тыс. т. Увеличение размеров балкеров было обусловлено низкой стоимостью навалочных грузов и желанием металлургических заводов усреднить состав руды, что возможно при больших ее запасах, однако значительная осадка таких гигантов не позволяет обрабатывать их в большинстве портов, тяготеющих к местам добычи и переработки навалочных грузов.

В середине 70-х годов XX века строили лесовозы дедвейтом 50 тыс. т, но они оказались слишком велики для данного груза, дедвейт самых крупных судов для перевозки лесных грузов теперь не превышает 40–45 тыс. т. [12, С. 38].

В отличие от Аристотеля Онассиса, имена Малькольма Маклина и Теда Арисона совершенно неизвестны не только большинству работников морского транспорта, но и многим специалистам, хотя их идеи и разработки охотно и с большой выгодой применяли пароходства Советского Союза, и даже в начале XXI века они являются актуальными и востребованными.

Малькольм Маклин является пионером в использовании контейнерных перевозок. Будучи водителем грузовика, М. Маклин простоял почти весь день в ожидании, пока докеры вручную разгрузят его машину с хлопком. Он наблюдал, как портовые грузчики застрапливали кипы хлопка, затем поднимали их на борт судна и спускали в трюм, где другие докеры перемещали и укладывали груз, что требовало больших физических усилий и затрат времени. Кроме того, такая погрузка всегда сопровождалась несчастными случаями и мелкими кражами. Тогда М. Маклину пришла идея о создании контейнера стандартного размера, в котором груз был бы предварительно уложен, что обеспечило бы доставку различными видами транспорта – автомобильным, железнодорожным или морским.

Долог и тернист был путь развития контейнерных перевозок. В апреле 1956 года из порта Ньюарк (штат Нью-Джерси) в порт Хьюстон (штат Техас) снялся теплоход «Ideal X» с 58 единицами 35-футовых контейнеров на борту [13, С. 4]. Это был обычный танкер типа Т-2 времен второй мировой войны, и контейнеры размещались на специально оборудованной палубе [14, С. 2]. В 1956 г. погрузка 1 тонны груза традиционным способом стоила 5,86 доллара, при использовании контейнерной технологии снизилась в 36,6 раза и составила менее 16 центов.

Первым ячеистым контейнеровозом считается переоборудованный из обычного сухогруза теплоход «Гейтуэй Сити». Его первый рейс был неудачен – по приходу судна в Пуэрто-Рико с грузом 225 35-футовых контейнеров портовые докеры отказались выгружать такой груз, и судно было вынуждено вернуться обратно [15, С. 108]. Контейнеризация грузов, ранее перегружаемых вручную, резко повышала производительность труда, но приводила к сокращению числа докеров, что вызывало их сопротивление внедрению новой технологии. В 1961 г. Тихоокеанской ассоциации судоходства удалось достичь компромисса с профсоюзами докеров. При перегрузке контейнеров вместо традиционных тарно-штучных грузов в портах профсоюзы получили значительные вклады в пенсионные фонды [16, С. 5]. Следует заметить, что использование контейнеров способствовало значительному снижению физических нагрузок для докеров при выполнении грузовых операций.

Контейнерные перевозки оказались весьма капиталоемкой транспортной системой и первая трансатлантическая линия начала работать только в 1965 году. В 1966 г. благодаря применению контейнерной технологии груз впервые доставили через Атлантику на борту судна «Fairland», при этом получателям он был доставлен на 4 недели быстрее, чем обычно [17, С. 3].

Необходимо было затратить значительные средства на изготовление контейнеров, строительство специализированных судов и терминалов для хранения контейнеров и перевалки на другие виды транспорта, создание действенной системы слежения за движением каждого контейнера. Но выгоды контейнеризации оказались намного выше затрат. В 1959 г. за 1 человеко-час на судно грузили в среднем 0,627 т груза, в 1979 г. благодаря использованию контейнерных технологий – 4234 т. При этом время пребывания судна в порту сократилось с 3 недель до 18 часов [16, С. 5]. Для сравнения: сейчас погрузка/выгрузка одного контейнера на специализированном терминале занимает 1–1,5 мин.

Дешевизна и быстрота перегрузки контейнеров изменила даже маршруты движения грузов. Так, ранее товары из Европы, предназначенные для портов западного побережья США, доставлялись по назначению судами, проходящими через Панамский канал. Сейчас контейнеры с этими товарами перегружаются в порту Монреаль на платформы и по железной дороге доставляются потребителям, при этом время доставки сокращается втрое. Такая же схема применяется при перевозке товаров из Японии и других стран Юго-Восточного региона в страны северной Европы через российские дальневосточные порты и далее по железной дороге до места назначения.

Универсальность и экономичность контейнерных перевозок грузов являются одной из причин роста популярности данного способа доставки. Основным преимуществом является возможность быстрой и сохранной доставки товаров «от двери до двери», причем стоимость такой перевозки ниже, чем при перемещении тарно-штучных грузов обычным способом с перевалками на другие виды транспорта с помощью ручного труда.

Линейный сервис по доставке контейнеров удобен и для судовладельцев, и для грузоотправителей, так как позволяет загружать суда в обоих направлениях и избегать «пустых рейсов», что, естественно, приводит к снижению стоимости перевозки. Кроме того, номенклатура грузов, которые можно перевозить в контейнере, обширна, что делает «универсальные контейнеры» весьма привлекательным способом транспортировки даже для грузовладельцев, ранее предпочитавших накапливать груз до размера паровой партии и перевозить его трамповыми судами. Теперь даже часть нефтеналивных грузов перевозится в специализированных танк-контейнерах.

Это привело к росту размеров и контейнеровместимости судов, что существенно снижает стоимость перевозки. Так, по оценкам экспертов, судно вместимостью 10 000 TEU снижает на 37 % операционные расходы в пересчете на 1 контейнер по сравнению с судном вместимостью 4 000 TEU [12, С. 37].

Контейнеровозы на сегодняшний день являются одними из самых востребованных типов коммерческих судов, поскольку позволяют сократить стояночное время судна за счет увеличения темпов грузовых работ, что ускоряет доставку грузов при весьма невысокой стоимости перевозки. Их размеры стремительно растут, и в настоящее время они являются самыми большими по размерам судами в мире, забрав пальму первенства у авианосцев и танкеров.

Совсем недавно, в начале нашего века, огромный резонанс вызвало строительство в Дании серии контейнеровозов типа «Emma Maersk» вместимостью по 15 500 TEU (длина – 397,7 м, ширина – 56,4 м, осадка – 15,5 м), первый из которых был построен в 2006 году.

А только через шесть лет, в конце 2012 года, был спущен на воду контейнеровоз вместимостью 16 020 TEU – CMA CGM Marco Polo (длина – 396 м, ширина – 54 м).

В июне 2013 года компания «Maersk Line» ввела в эксплуатацию головной контейнеровоз серии Triple-E – «Maersk Mc-Kinney Moller» вместимостью 18 000 TEU и длиной 400 м. В 2013–2015 гг. южнокорейской судостроительной компанией «Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering» выполнен заказ крупнейшего оператора контейнерных линий – датской фирмы «Maersk» на 10 контейнеровозов класса Triple-E (европейский, экологический, экономичный). Скорость будет составлять 23 узла против 25 узлов у судна

«Emma Maersk», но новые суда будут чрезвычайно экономичны. За счет широкой рекуперации тепловой энергии выхлопных газов, снижения гидродинамического сопротивления движителей, применения более легких материалов для корпуса и деталей механизмов при затратах 1 кВт-часа энергии судно класса Triple-E сможет переместить тонну груза на 184 км, в то время как «Emma Maersk» – лишь на 120 км [17, С. 75].

8 января 2015 года был спущен на воду очередной самый большой контейнеровоз в мире MSC Oscar – вместимостью 19 224 TEU (на 1224 TEU больше, чем «Maersk Mc-Kinney Moller»), а 25 января MSC Oscar уже отправился в свой первый рейс из порта Далянь (Китай) [18].

1 апреля 2015 года судовой верфь «Samsung Heavy Industries» объявила, что получила заказ на шесть ультра-больших контейнерных судов вместимостью по 21 100 TEU, заказчик – OOCL (Гонконг), стоимость контракта \$0,95 млрд. Корейская судовой верфь может строить суда такого класса благодаря развитой инфраструктуре, квалифицированному персоналу, современному оборудованию. Суда смогут взять на 1 тыс. двадцатифутовых контейнеров больше, увеличив высоту палубного штабеля на 1 контейнер. Поставка судов запланирована на ноябрь 2017 года [18].

Подсчитано, что при этом стоимость доставки одного 20-футового контейнера морем из района Юго-Восточной Азии до Европы будет на 26 % ниже, чем у современных судов [17, С. 77].

Для обработки таких контейнеровозов-гигантов возникла потребность в новых глубоководных подходных каналах, портах и терминалах, оснащении причалов новыми грузовыми средствами, интенсификации обработки судов (необходимо обеспечить не менее 200 перемещений контейнеров в час), реорганизации логистической цепи продвижения контейнеров, чтобы приход одного груженого судна не парализовал работу порта [12, С. 38]. Кроме того, необходимо обеспечить быстрый оборот большого числа контейнеров, подготовить дополнительные площадки для их хранения и транспортные средства для их перемещения.

Контейнерные терминалы существуют почти во всех крупных портах мира. Однако супер-контейнеровозы совершают рейсы, как правило, между 2 портами, так как только при этом обеспечивается их высокая рентабельность. Основными такими портами являются: Шанхай (35 млн. TEU в 2014 году), Сингапур (33,9 млн.), Гонконг (более 20 млн.), Шенжень (18 млн.), Пусан (18,7 млн.), Танжунг Пелепас (12,5 млн. TEU), Дубай (15,2 млн.), в Европе – Роттердам (10 млн.), Гамбург (7 млн.), в США – Лос Анжелес (8,4 млн.), Лонг-Бич (6,8 млн.) [15]. А уже из этих портов фидерные контейнеровозы перевозят их в другие порты, откуда наземный транспорт доставляет их конечным получателям.

Для покрытия несбалансированности потока контейнеров находят применение универсальные суда, большинство из которых строится с учетом возможности погрузки контейнеров. На некоторых направлениях даже используются так называемые конбалкеры, которые в одном направлении перевозят навалочный груз, а в другом – контейнеры.

Тед Арисон преобразил рынок круизного судоходства. Первоначально это была возможность интересного отдыха для весьма состоятельных людей. Первый круиз был совершен еще в 1867 году из США на Средиземное море на колесном пароходе «Квакер Сити». Он был подробно описан Марком Твеном в рассказе «Простаки за границей». После этого рейса круизы осуществлялись от случая к случаю и не оказывали какого-либо влияния на развитие пассажирского судоходства.

В 50-х годах XX столетия развитие авиатранспорта начало вытеснять пассажиров с пассажирских лайнеров. Освобождающуюся провозную способность пассажирских судов начали использовать в круизах. Но высокая стоимость билетов и непригодность судов для потребностей морских туристов не дала развития этому виду отдыха.

В начале 70-х годов Тед Арисон сделал то же, что и в свое время Генри Форд с автомобильным транспортом – сделал его доступным для людей со средним достатком. Созданная им в 1972 г. корпорация «Carnival» намного уменьшила стоимость морского круиза, вызвав тем самым значительный приток туристов. Если ранее соотношение числа пассажиров и членов экипажа составляло 2:1, то в компании его подняли до 3:1, что значительно уменьшило издержки [18]. При этом улучшению обслуживания туристов стали уделять больше внимания.

Это вызвало коренное изменение в круизном бизнесе, который стал доминирующим в эксплуатации пассажирского флота. В 70–80-х годах прошлого века Черноморское и Балтийское пароходства с высокой эффективностью использовали имеющиеся пассажирские суда в круизах, отфрахтовывая их зарубежным туристическим фирмам. Для расширения этого вида бизнеса даже приобретались у иностранных судовладельческих компаний крупнотоннажные пассажирские суда. Они получали названия по именам крупных деятелей культуры, творчество которых было хорошо известно за рубежом – «Федор Шаляпин», «Леонид Собинов» и др.

С этого времени мировой рынок круизного судоходства стал стремительно развиваться. Темп его роста составляет примерно 9,6 % в год. Для сравнения можем взять этот же показатель для других сегментов морского судоходства, где он находится на уровне 2,6–2,9 % в год. Общая пассажировместимость круизных лайнеров выросла с 1,5 млн. пассажиров в 1980 году до 20,86 млн. в 2012 году и продолжает стремительно расти [19, С. 186].

Следует заметить, что сегодня мультинациональная компания «Carnival Corporation & plc» по количеству перевозимых пассажиров является крупнейшим круизным туристическим оператором в мире: имеет 100 круизных судов с возможным единовременным размещением более 277 тыс. туристов, 20 дочерних круизных компаний со штатом 77 тыс. человек. Ежегодно корпорация «Carnival» может обслужить до 10 млн. туристов [20].

Основой рынка круизного судоходства являются крупнотоннажные пассажирские лайнеры. Ныне круизный флот насчитывает более 300 судов по всему миру (в 2004 г. – 184), каждое из которых имеет пассажировместимость около 3 тыс. туристов [19, С. 186]. Круизный лайнер «Voyuyadzher ov ze siz» имеет пассажировместимость 3000 человек, а его водоизмещение составляет 142 000 т. Обслуживает судно и пассажиров экипаж, состоящий всего лишь из 900 человек [3, С. 119].

Благодаря разработке новых маршрутов на основе анализа интересов путешествующих быстрыми темпами увеличивается численность морских круизных туристов. Поэтому морской круизный флот постоянно растет. На морских круизных судах совершенствуются конструкции лайнеров, усложняется инфраструктура, повышается уровень их комфортабельности благодаря внедрению различных инновационных программ организации досуга туристов. Среди отличительных особенностей современного круизного рынка является постройка гигантских круизных судов. Например, компания «Japan Contents Network» разрабатывает круизное судно «Princess Kaguya» пассажировместимостью 8 400 туристов [21].

Украина имеет колоссальный потенциал для развития круизного туризма благодаря наличию водных путей сообщения, благоприятному климату, богатому историко-культурному наследию. Однако круизный туризм в Украине значительно отстает от общемирового уровня развития. По мнению экспертов, круизная индустрия способствует развитию связанных с ней отраслей, что улучшает социально-экономическое положение региона, страны. Поэтому Украина, используя мировой опыт организации и развития круизов, может развивать этот вид бизнеса, зарабатывая, таким образом, денежные средства для повышения своего благосостояния.

Выводы и перспективы дальнейших научных исследований в данном направлении. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы относительно тенденций развития мирового транспортного флота:

1. Авторитетное издание «Ллойдс Лист» самыми влиятельными лицами мирового судоходства XX века назвало Аристотеля Онассиса, Малькольма Маклина и Теда Арисона, которые стали пионерами в создании и освоении прогрессивных направлений работы морского флота: увеличении размеров и дедевейта судов, использовании контейнерных перевозок, преобразовании рынка круизного судоходства.

2. При значительном увеличении объема перевозок наливных и навалочных грузов рост размеров танкеров и балкеров прекратился, так как дальнейшее увеличение их размеров резко снижает экономическую эффективность. Возобновление роста размеров таких судов может произойти при условии:

а) изменения конструкции судов, при которых повышение грузоподъемности не вызывает значительного увеличения линейных размеров судна (аналогично буксирным составам на реках);

б) создание высокопроизводительных терминалов на глубоководной акватории, где можно перегружать грузы на меньшие суда. Для наливных грузов такие терминалы существуют, но реальной потребности грузополучателей в значительном увеличении поступления груза не наблюдается.

3. За 1956–2015 гг. контейнеровместимость судов увеличилась в 331,4 раза (с 58 до 19 224 контейнеров). Контейнеровместимость судов и их размеры продолжают расти, что обусловлено, с одной стороны, стабильным ростом грузопотока, а с другой стороны тем обстоятельством, что увеличение размеров судов сопровождается значительным ускорением грузопереработки. Практически рост контейнеровместимости судов не увеличил время, затрачиваемое на погрузку и выгрузку. При сохранении роста объема контейнеропригодных грузов увеличение размеров судов может продолжаться.

4. В круизном бизнесе рост размеров судов продолжает иметь место, существующие ограничения по заходу во многие интересные для посещения порты преодолеваются постановкой судов на внешнем рейде с доставкой пассажиров на берег и обратно катерами. Однако аварийное происшествие либо теракт на судне со значительным числом пассажиров может иметь крупномасштабные негативные последствия.

Постоянное увеличение объемов морских перевозок, увеличение спроса на транспортные услуги мирового флота, прогресс в контейнерных перевозках морским транспортом вызывает необходимость инвестиций в мировое портовое хозяйство и береговую структуру морского транспорта, углубление специализации портов и терминалов, их техническое переоснащение путем применения высокопроизводительных грузовых средств. Этим вопросам будут посвящены последующие исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханке Х. Люди, корабли, океаны (6000-летняя авантюра мореплавания) / Х. Ханке; пер. с нем. – Л. : Судостроение, 1976. – 432 с.
2. Лебе К. Метрополии морей / Карл Лебе; пер. с нем. – М. : Прогресс, 1982. – 316 с.
3. Примачев Н. Т. Принципы интеграции в торговом судоходстве : монография / Н. Т. Примачев, А. Н. Примачев. – Одесса : Феникс; М. : ТрансЛит, 2006. – 360 с.
4. Винников В. В. Системы технологий на морском транспорте (перевозка и перегрузка) / [В. В. Винников, Е. Д. Крушкин, Е. Д. Быкова; под общ. ред. В. В. Винникова] : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса : Феникс; М. : ТрансЛит, 2010. – 576 с.
5. Кузнецов А. Л. Суда, используемые для перевозки контейнерного груза. Характеристики контейнеров : учеб.-справ. изд. / А. Л. Кузнецов, Я. Я. Эглит. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2008. – 52 с.
6. Клименко К. Н. Контейнерные и пакетные перевозки. / К. Н. Клименко. – М. : «Транспорт», 1978. – 192 с.
7. The development and growth of the cruise industry: Roger Cartwright & Carolyn Baird : Butterworth-Heinemann; 1999.
8. Cruise Ships: An evolution in design: Philip Dawson: Conway Maritime Press; 2000.
9. Devils on the deep blue sea: Kristoffer A Garin: Viking; 2005.
10. The cruise ship phenomenon in North America: Brian J Cudahy: Cornell Maritime Press; 2001.
11. Онассис Аристотель [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Онассис,_Аристотель 02.12.2015.
12. Ильницький К. Супер-пупер-«панамаксы» / К. Ильницький // Порты Украины. – 2006. – № 4. – С. 36–38.
13. Праздник – 50 лет первому контейнеру на море // Моряк Украины. – №6 (424). – 15.02.2006. – С. 4.
14. Шевченко М. Изменивший мир // М. Шевченко. – BlackSeaLines. – 2006. – № 3. – С. 2–4.
15. House, David J. Cargo work for maritime operations. 2015, 323 p.
16. У истоков контейнеризации // BlackSeaLines. – 2006. – № 3. – С. 5.
17. Санников В. Мазут не тонет / В. Санников // Популярная механика. – 2011. – № 11 – С. 74–78.
18. Новости отрасли // Порты Украины. – 2015. – № 03 (145). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://portsukraine.com/03/19/2015>.
19. Юрченко С. А. Особенности развития современного морского круизного туризма / С. А. Юрченко, Е. Е. Юрченко, А. Е. Кондрова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм». – 2014. – № 1144. – Т. 1. – Випуск 3. – С. 185–189.
20. Carnival Corporation & plc [Electronic resource]. – Way of access : <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=200767&p=irol-prlanding>
21. Судостроение : важное направление экономической деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://maritime-zone.com/articles/trends-of-world-shipbuilding/>.

REFERENCES

1. Khanke, K. (1976). *Lyudi, korably, okeany (6000-letnyaya avantiura moreplavaniya)*. Leningrad : Sudostroenie.
2. Lyobe, K. (1982). *Metropolii morey*. Moskva : Progress.
3. Primachev, N. T., & Primachev, A. N. (2006). *Printsipy integratsii v torgovom sydokhodstve*. Odessa : Feniks, Moskva : TransLit.
4. Vinnikov, V. V., Krushkin, Ye. D. & Bykova, Ye. D. (2010). *Sistemy tehnologiy na morskoy transporte (perevozka i peregruzka)*. Odessa : Feniks, Moskva : Translit.
5. Kuznetsov, A. L. (2008). *Suda, ispolzuyemyye dlya perevozki konteynernogo gruzha. Kharakteristiki konteynerov*. Sankt-Peterburg : Izd-vo GMA im. adm. S. O Makarova.
6. Klimenko, K. L. (1978). *Konteynernyye i paketnyye perevozky*. Moskva : Transport.
7. Cartwright, Roger & Baird, Carolyn (1999). *The development and growth of the cruise industry*. Butterworth-Heinemann.
8. Dawson, Ph. (2000). *Cruise Ships: An evolution in design*. Conway Maritime Press.
9. Garin, K. A. (2005). *Devils on the deep blue sea*. Viking.
10. Cudahy, B. J. (2001). *The cruise ship phenomenon in North America*. Cornell Maritime Press.
11. Onassys Arystotel. wikipedia.org. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Онассис,_Аристотель 02.12.2015.
12. Initskiy, K. (2006). Super-puper-«panamaksy». *Porty Ukrainy*, 4, 36–38.
13. Prazdnik – 50 let pervomu konteyneru na more. (2006). *Moryak Ukrainy*, 6, 4.
14. Shevchenko, M. (2006). Izmenivshiy mir. *Black Sea Lines*, 3, 2-4.
15. House, David J. (2015) Cargo work for maritime operations.
16. U istokov konteynerizatsii. *BlackSeaLines*, 3, 5.
17. Sannikov, V. (2011). Mazut ne tonet. *Populyarnaya mekhanika*, 11, 74-78.
18. Novosty otrasly. portsukraine.com. Retrieved from <http://portsukraine.com/>.
19. Yurchenko, S. A., Yurchenko, Ye. Ye. & Kondrova A. Ye. (2014). Osobennosti razvitiya sovremennogo morskogo kruiznogo turizma. *Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo universitetu imeny V. N. Karazina. Seriya «Mizhnarodny vidnosyny. Ekonomika. Krayinoznavstvo. Turyzm»*, 1144, 185-189.
20. Carnival Corporation & plc Retrieved from <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=200767&p=irol-prlanding>.
21. Sudostroyeniye : vazhnoye napravleniye ekonomicheskoy deyatel'nosti. *maritime-zone.com*. Retrieved from <http://maritime-zone.com/articles/trends-of-world-shipbuilding/>.

Лощкарьов О. Г., Стовба Т. А. «ТРИ КИТИ» СВІТОВОГО СУДНОПЛАВСТВА ХХ СТОРІЧЧЯ

Лева частина об'єму світових перевезень здійснюється морським транспортом. Тому визначення закономірностей сучасного розвитку морського транспорту дозволить передбачати ті трансформації, які змінюють структуру попиту на морські транспортні послуги і, відповідно, стимулюють створення нових типів суден та реформування портового господарства.

Метою дослідження обрано встановлення сучасних прогресивних напрямів розвитку морського транспорту на підставі аналізу внеску найвпливовіших осіб світового судноплавства ХХ сторіччя – творців цих революційних змін. Встановлено, що трьома особами, що найбільше вплинули на розвиток світового судноплавства ХХ століття є Арістотель Онассис, Малькольм Маклін і Тед Арісон, які заклали основи прогресивних напрямів роботи морського флоту.

Визначені тенденції розвитку світового транспортного флоту. Встановлено, що при значному збільшенні об'єму перевезень наливних і навалювальних вантажів зростання розмірів танкерів і балкерів припинилося, оскільки подальше їх збільшення різко знижує економічну ефективність. Місткість і розміри контейнеровозів продовжують зростати, що обумовлено стабільним підвищенням вантажообороту, прискоренням вантажообробки і сприяє зниженню вартості перевезення у перерахунку на 1 контейнер. У круїзному бізнесі зростання розмірів суден триває,

оскільки існуючі обмеження щодо заходу до портів, цікавих для туристів, долаються постановкою лайнерів на зовнішньому рейді з доставкою пасажирів на берег і назад катерами.

Ключові слова: морські транспортні послуги, зміна кон'юнктури фрахтових ринків, тенденції розвитку світового транспортного флоту, збільшення розмірів і дедвейту суден, контейнерні перевезення, перетворення ринку круїзного судноплавства.

Loshkaryev A., Stovba T. THREE «WHALES» OF WORLD SHIPPING OF XXth CENTURY

Great part of world transportation volume is carried out by a marine transport. Therefore the determination of the mechanism of modern development of marine transport will allow to foresee its transformations, that change the pattern of demand on marine transport services and, accordingly, stimulate creation of new types of ships and reformation of port facilities.

Purpose – to set progressive directions of development of world shipping on the basis of analysis of contribution of the most influential persons of world shipping of XX century – creators of these revolutionary changes. It is set, that three most influential persons for sea shipping development in XXth century are Aristotel Onasys, Malcom McLean and Ted Arison, who had settled the basics of progressive trends of sea fleet working. The tendencies of world cargo fleet development are revealed. It was stated that with significant increase of volumes of bulk and liquid cargoes transportation, the increase of bulkers and tankers dimensions stopped, because the following growth of their dimensions sharply decreases their economical effectiveness. Capacity and dimensions of container ships continue to grow due to stable increase of freight traffic, speeding of cargo terminals turnover, which favors to decreasing of shipping value, calculating to 1 container. In cruise business, the increase of the dimensions of the ships continues, because current limitations of calling at many interesting ports for tourists are overcome by putting ships at deep-sea outer roads and delivering passengers by motor boats.

Keywords: sea transport services, changing of infrastructure of freight markets, tendencies of development of world cargo fleet, changing of the dimensions and deadweight of the ships, container shipments, transforming of the cruise shipments market.

© Лошкарьов О. Г., Стовба Т. А.

Статтю прийнято
до редакції 21.01.16

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Мошенцев Ю. Л., к.т.н., профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, E-mail: urytmosh@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1377-7498;

Гогоренко А. А., к.т.н., доцент, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, E-mail: urytmosh@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9157-6659

Системы охлаждения для судовых двигателей могут иметь различные схемы. Использование рационального подхода к созданию схемы позволяет существенно снизить суммарную массу сердцевин теплообменников в системе, что снижает ее стоимость и габариты. При этом система может быть принципиально более простой и иметь меньшее число составляющих элементов. В частности, для двигателя типа 12ЧН 18,5/21,5 (мощность 1416 кВт при 1900 об/мин коленчатого вала) рассмотрены две возможные схемы систем охлаждения. Первая, типа ЕС12В, выполнена без использования современных методов формирования рациональных схем систем охлаждения двигателей. Вторая, альтернативная система типа 2ВК1М, сформирована с использованием современных методик проектирования и относится к так называемым малорасходным системам. В результате подробных расчетов обеих схем с использованием приемов минимизации суммарных масс сердцевин теплообменников установлено, что система 2ВК1М существенно легче, чем ЕС12В. Она содержит два насоса вместо трех, имеет один контур замкнутой циркуляции вместо двух, один пучок в охладителе наддувочного воздуха вместо двух, проще по конструкции и обеспечивает желательные габариты пучков охладителей наддувочного воздуха.

Ключевые слова: водо-водяной охладитель, охладитель масла, охладитель наддувочного воздуха, малорасходная система охлаждения, поверхность теплообмена.

Постановка проблемы. Известно, что в настоящее время объединением ведущих в мировом двигателестроении организаций проектируется новый двигатель типа 12ЧН 18,5/21,5 [1, 2], предназначенный для различных энергетических установок. Один из вариантов разработки предполагает установку данного двигателя на судах с его охлаждением забортной водой. Схема, системы охлаждения, предложенная разработчиками, достаточно современна, но не основана на последних способах интенсификации теплообмена в подобных системах. Применение современных методов проектирования систем охлаждения двигателей позволяют снизить суммарную массу сердцевин теплообменников в системе, уменьшить ее стоимость и габариты, снизить затраты на эксплуатацию системы и при этом упростить конструкцию основных элементов. В статье рассмотрены результаты расчетов предлагаемой и альтернативной систем охлаждения.

Целью статьи является представление результатов расчетов предлагаемой и альтернативной систем охлаждения для судового дизельного двигателя типа 12ЧН 18,5/21,5. Предложенные результаты дают количественное и качественное представление о сравниваемых системах. На основе представленных материалов обоснован выбор варианта системы охлаждения для проектируемого двигателя.

Изложение основного материала. Двигатель типа 12ЧН 18,5/21,5 – V-образный, имеет два одноступенчатых компрессора, по одному на каждый ряд. За каждым компрессором устанавливается отдельный охладитель наддувочного воздуха (ОНВ), состоящий из двух пучков. Первый из них (по ходу воздуха), ОНВ₁₁, охлаждается водой «горячего» контура, второй пучок, ОНВ₁₂, – водой «холодного» контура. Схема предлагаемой разработчиками системы охлаждения обозначена как ЕС12В (рис. 1). Система имеет два замкнутых контура – «горячий», в котором происходит охлаждение зарубашечного пространства двигателя и частично наддувочного воздуха, и «холодный», в котором охлаждается масло и частично наддувочный воздух. Соответственно есть водяной насос «горячего» (Н_{г.к}) и «холодного» (Н_{х.к}) контуров. Тепло

из замкнутых контуров отводится в забортную воду через водо-водяные охладители воды ВВО₁ и ВВО₂, которые прокачиваются насосом забортной воды (Н_{з.б.}).

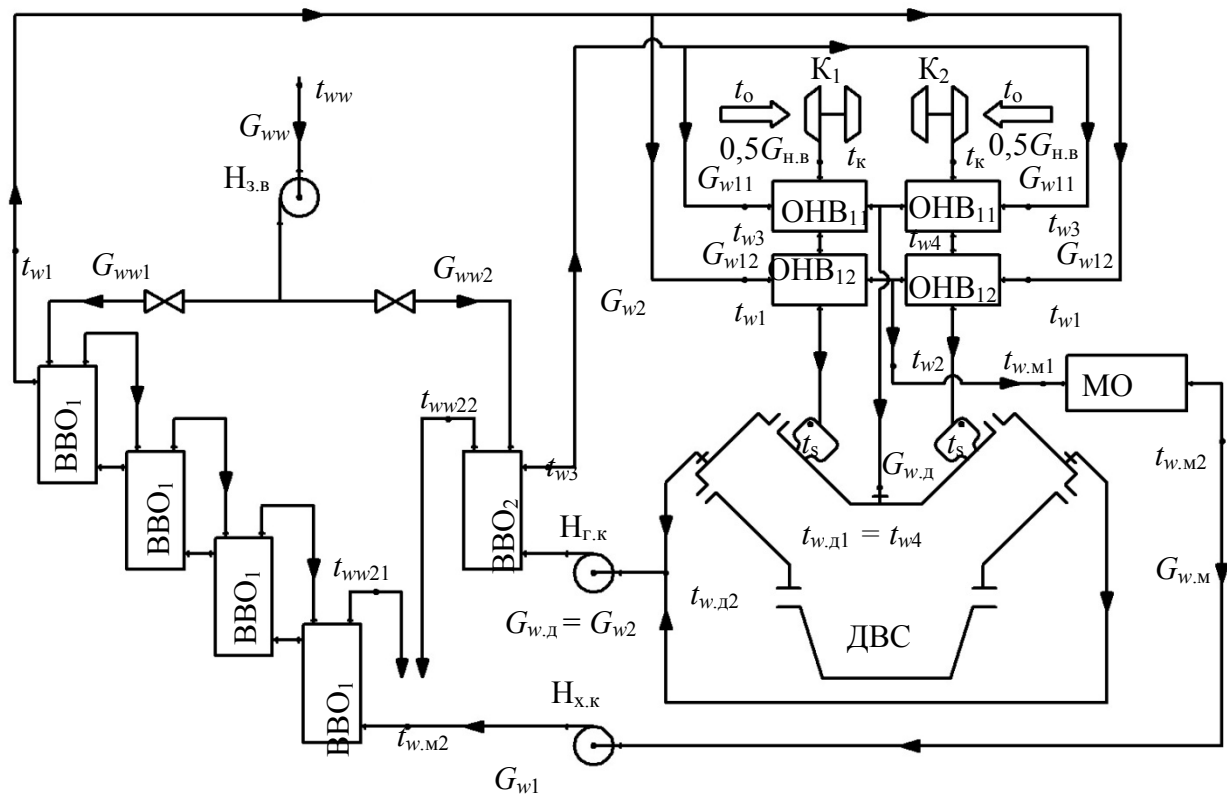


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы охлаждения типа EC12B

Работа системы понятна на основе представленной схемы. При расчетах системы использовались начальные параметры, представленные в табл. 1. Исходные данные табл. 1 получены на основе подробного моделирования цикла двигателя. Часть данных принята на основе анализа возможного применения двигателя и системы охлаждения, а также параметров возможных двигателей-аналогов [3].

Таблица 1 – Исходные данные для прямого расчета системы охлаждения

№, n/n	Параметр	Размерность	Значение	Примечание
1.	N_e	кВт	1416	Мощность на номинальном режиме
2.	n	об/мин.	1900	Частота вращения коленчатого вала
3.	t_o	°C	40	Температура окружающего воздуха
4.	t_{ww}	°C	36,2	Температура забортной воды
5.	P_o	кПа	100	Давление окружающего воздуха
6.	P_1	кПа	500	Давление за компрессорами
7.	t_k	°C	250	Температура воздуха за компрессорами
8.	t_s	°C	45	Желательная температура воздуха в ресивере
9.	t_{M1}	°C	90	Температура масла за двигателем
10.	$t_{w,d2}$	°C	108	Температура пресной воды за двигателем
11.	$G_{H.B}$	кг/с	5,87	Расход наддувочного воздуха через двигатель
12.	G_{w1}	кг/с	11,1	Расход воды насосом «холодного» контура
13.	G_{w2}	кг/с	24,4	Расход воды насосом «горячего» контура
14.	G_{ww}	кг/с	24,4	Расход воды насосом забортной воды
15.	G_M	кг/с	14	Расход масла
16.	Q_w	кВт	403	Тепловой поток от цилиндров двигателя в воду
17.	Q_M	кВт	175,4	Тепловой поток от масла

При расчетах системы предполагалось, что пучки ОНВ будут изготовлены на базе поверхности теплообмена (ПТ), производимой компанией Augubis (Швеция) [4]. ПТ изготавливается на основе коридорного пучка плоскоовальных труб с групповым ленточным сдвинуто-рассеченным оребрением. Основные плоскости оребряющих пластин расположены параллельно оси труб.

Водо-водяные охладители (ВВО) проектировались кожухотрубного типа с диагональными пучками гладких медных труб наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 1 мм (производитель ВВО ОАО «Бериславский машиностроительный завод», г. Берислав, Украина). Теплообменники имеют реверсивный ток взаимного течения теплоносителей и сегментные диафрагмы. ВВО₁ разделен на ряд противоточных реверсивных элементов.

Охладители масла (МО) также, как и ВВО, проектировались кожухотрубного типа с диагональными пучками монометаллических медных оребренных труб. Диаметр несущей трубки 12,5 мм, толщина стенки трубки 1,25 мм, наружный диаметр оребрения 24,5 мм, шаг между ребрами 2 мм. Производитель тот же, что и для ВВО. Теплообменник имеет реверсивный ток взаимного течения теплоносителей и сегментные диафрагмы.

Все теплообменники рассчитывались при условии максимального загрязнения ПТ с обеих сторон в соответствии со стандартами ТЕМА [5]. При расчетах систем охлаждения, в том числе и для ЕС12В, выполнялась минимизация суммы масс сердцевин всех теплообменников, M_{Σ} , так как эта величина в основном определяет стоимость и габариты системы [6]. В табл. 2 приводится величина M_{Σ} для системы ЕС12В, соответствующая минимально возможному значению, которое можно получить при заданных начальных условиях, используя приведенные ниже рекомендации по уменьшению массы системы.

Расчеты систем выполнялись на основе использования расчетного комплекса [7], позволяющего выполнять взаимосвязанные расчеты тепловой схемы, всех теплообменников и двигателя. Разработанный алгоритм расчета позволяет сохранять значения температур T_s , T_{wd2} , T_{m1} (табл. 2) постоянными. Было установлено, что минимизация M_{Σ} при расчетах системы ЕС12В с использованием расчетного комплекса достигается с учетом следующих соображений.

1. $\eta_{н.в11}$ (это и прочие обозначения в табл. 2) следует увеличивать до предела. Предел связан с достижением максимально допустимых габаритов ОНВ₁₁. С ростом $\eta_{н.в11}$ величина $\eta_{н.в12}$ убывает.

2. $\eta_{в1}$ необходимо максимально снижать. При этом растет $\eta_{н.в12}$. Уменьшение $\eta_{в1}$ следует вести до предела роста габаритов ОНВ₁₂ или его КПД.

3. Расход заборной воды через ВВО₁, G_{ww1} , следует увеличивать. С повышением расхода заборной воды G_{ww1} падает $\eta_{н.в12}$ при прочих равных условиях.

4. Уменьшение $\eta_{н.в12}$ из-за роста G_{ww1} следует компенсировать новым снижением $\eta_{в1}$ вплоть до нового достижения возможного максимума габаритов или КПД ОНВ₁₂. Снижение $\eta_{в1}$ уменьшает его массу (наибольшую в системе), соответственно уменьшается масса всей системы.

5. Увеличение расхода насоса заборной воды G_{ww2} , если оно ведет к увеличению G_{ww2} , позволяет уменьшить $\eta_{в2}$ и снизить его массу при прочих равных условиях.

В табл. 2 представлены габариты ОНВ₁₁ и ОНВ₁₂, полученные из условия минимизации M_{Σ} . Как видно, они не позволяют изготовить ОНВ с теми ограничениями на габариты, которые указаны в примечаниях к таблице. Если реализовать систему с пучками ОНВ, у которых габариты уложатся в заданные ограничения, придется отказаться от принципов минимизации M_{Σ} , изложенных выше. В этом случае сильно возрастут M_{Σ} и G_{ww} . В частности, при обеспечении габаритов ОНВ₁₁ $L \times B \times H = 237 \times 398 \times 382$ мм, и ОНВ₁₂ $L \times B \times H = 258 \times 3380 \times 362$ мм расход воды заборным насосом должен составить как минимум 30 кг/с, а суммарная масса сердцевин системы M_{Σ} при этом возрастет до 3354 кг. Можно отметить, что даже при такой M_{Σ} габариты пучков несколько превысят желаемые.

Таблица 2 – Основные результаты расчетов систем типа ЕС12В и 2ВК1М

Обозначение	Размерность	ЕС12В	2ВК1М	Наименование
1	2	3	4	5
Q_d	кВт	403,0		Тепловой поток от цилиндров в воду
Q_m	кВт	175,4		Тепловой поток в масло
G_{ww}	кг/с	24,4		Расход насоса забортной воды
G_{ww1}	кг/с	10,0	19,5	Расход забортной воды через ВВО ₁
G_{ww2}	кг/с	14,4	4,9	Расход забортной воды через ВВО ₂
G_{w1}	кг/с	11,1	5	Расход пресной воды через ВВО ₁ или ОНВ
G_{w2}	кг/с	24,4	1,7	Расход пресной воды через ВВО ₂ или МО
G_{w11}	кг/с	12,2	–	Расход воды через один пучок ОНВ ₁₁
G_{w12}	кг/с	5,55	–	Расход воды через один пучок ОНВ ₁₂
$G_{w.п}$	кг/с	–	17,7	Расход воды через перепуск
G_w	кг/с	–	24,4	Расход воды через двигатель
$G_{н.в}$	кг/с	5,87		Расход наддувочного воздуха через двигатель
$G_{н.в1}$	кг/с	2,94	–	Расход наддувочного воздуха через один пучок
G_m	кг/с	14,0		Расход масла
t_o	°С	40,0		Температура окружающего воздуха
t_{ww}	°С	36,2		Температура забортной воды
t_k	°С	255,3		Температура воздуха за компрессором
t_{s1}	°С	99,9	–	Температура воздуха за ОНВ ₁₁
t_s	°С	45,0		Температура воздуха в ресивере двигателя
t_{ww21}	°С	46,9	53,4	Температура забортной воды за ВВО ₁
T_{ww22}	°С	58,1	59,5	Температура забортной воды за ВВО ₂
$t_{w.д2}$	°С	108,0		Температура воды за двигателем
t_{w1}	°С	44,1	43,4	Температура воды на входе в ОНВ ₁₂ или ОНВ
t_{w2}	°С	51	102,4	Температура воды на выходе из ОНВ ₁₂ или ОНВ
t_{w3}	°С	95,1	–	Температура воды перед ОНВ ₁₁
$t_{w4}(t_{w.д1})$	°С	104,1	–	Температура воды за ОНВ ₁₁ (перед двигателем)
$t_{w.м1}$	°С	51	43,4	Температура воды перед маслоохладителем
$t_{w.м2}$	°С	54,8	67,9	Температура воды за маслоохладителем
$t_{м1}$	°С	90,0		Температура масла за двигателем
$t_{м2}$	°С	83,9		Температура масла за маслоохладителем
P_1	кПа	500	–	Давление воздуха за компрессором
ОНВ ₁₁				Пучок ОНВ в горячем контуре
схема*		1		Условное обозначение схемы
b		2	25	Число поперечных ходов воды
$k_{гн.в1}$	Вт/(кг·К)	183,8	211,2	Коэффициент использования массы пучка
$\eta_{н.в1}$		0,972	0,993	КПД
L^{**}	м	0,301	0,538	Длина по ходу воздуха
B^{**}	м	0,425	0,398	Ширина (перпендикулярно оси трубок)
H^{**}	м	0,421	0,390	Расстояние между досками
$M_{н.в1}$	кг	122	190	Масса двух пучков
ОНВ ₁₂				Пучок ОНВ в холодном контуре

Продолжение табл. 2.

1	2	3	4	5
схема*		1	–	Условное обозначение схемы
b		9	–	Число поперечных ходов воды
$k_{гн.в2}$	Вт/(кг·К)	183,8	–	Коэффициент использования массы пучка
$\eta_{н.в2}$		0,986	–	КПД
L^{**}	м	0,387	–	Длина по ходу воздуха
B^{**}	м	0,407	–	Ширина (перпендикулярно оси трубок)
H^{**}	м	0,431	–	Расстояние между досками
$M_{н.в2}$	кг	154	–	Масса двух пучков
BBO_1				Охладитель воды холодного контура
схема*		4		Условное обозначение схемы
b_p		4		Число противоточных реверсивных элементов
b_w		6	11	Число поперечных ходов пресной воды
$k_{гв1}$	Вт/(кг·К)	164,6	173,1	Коэффициент использования массы пучка
$\eta_{в1}$		0,662	0,900	КПД
D_T	м	0,77	0,495	Внутренний диаметр кожуха
L_T	м	0,92	2,56	Общая длина трубок теплообменников
$M_{в1}$	кг	514	366	Масса пучка
BBO_2				Охладитель воды горячего контура
схема*		4		Условное обозначение схемы
b_p		1	4	Число противоточных реверсивных элементов
b_w		4	27	Число поперечных ходов пресной воды
$k_{гв2}$	Вт/(кг·К)	199,2	197,2	Коэффициент использования массы пучка
$\eta_{в2}$		0,316	0,900	КПД
D_T	м	0,379	0,279	Внутренний диаметр кожуха
L_T	м	1,135	1,692	Общая длина трубок теплообменников
$M_{в2}$	кг	146	133	Масса пучка
МО				Маслоохладитель
схема*		4		Условное обозначение схемы
b_p		1	4	Число противоточных реверсивных элементов
b_m		4	25	Число поперечных ходов масла
$k_{гмо}$	Вт/(кг·К)	72,72	66,63	Коэффициент использования массы пучка
$\eta_{мо}$		0,155	0,527	КПД
D_T	м	0,438	0,438	Внутренний диаметр кожуха
L_T	м	0,436	0,528	Общая длина трубок теплообменников
$M_{мо}$	кг	77	94	Масса пучка
M_Σ	кг	1013	783	Суммарная масса сердцевин теплообменников
$\eta_{с.о}$		0,961		КПД системы по охлаждению воздуха

Примечания: * Условное обозначение схем: 1 – перекрестный ток при общем противотоке, поток с меньшей энергоемкостью перемешивается в каждом последующем сечении, поток второго теплоносителя между ходами перемешивается; 4 – однократный или многократный реверсивный ток при общем противотоке, после каждого реверса идет перемешивание потока.

** Предельно допустимые габариты для всего ОНВ: $L \times B \times H = 633 \times 380 \times 359$ мм (оговорены потенциальным заказчиком); для собственно пучков габариты должны быть еще меньше, приблизительно $L \times B \times H = 600 \times 360 \times 340$ мм.

На наш взгляд, систему охлаждения можно существенно улучшить, если изменить схему системы с учетом существующих рекомендаций по созданию высокоэффективных систем охлаждения двигателей [8]. Соответственно рассмотрим альтернативную систему.

Альтернативная схема системы охлаждения для рассматриваемого двигателя ранее была разработана авторами для двигателей аналогичного типа и назначения. Эта схема представлена на рис. 2 (далее обозначена как 2ВК1М).

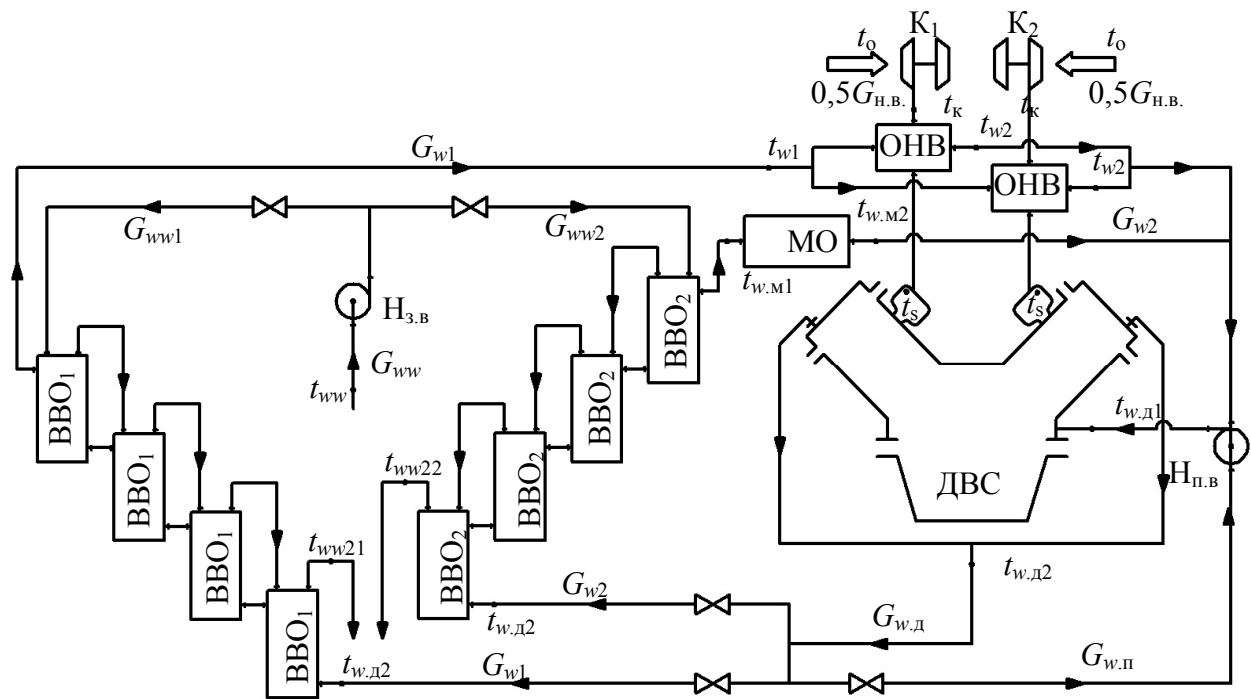


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы охлаждения типа 2ВК1М

При работе системы 2ВК1М одна часть расхода пресной воды G_w (обычно бóльшая), выходящей из двигателя, без всякого охлаждения поступает через перепуск на всасывание циркуляционного насоса с расходом $G_{w.п.}$. Вторая часть (обычно меньшая, $G_{w1} + G_{w2}$) направляется на два блока охладителей: ВВО₁ и ВВО₂. В этих водо-водяных охладителях пресная вода охлаждается заборной водой, прокачиваемой насосом заборной воды (Н_{з.в}) с расходом G_{ww} . После ВВО охлажденная пресная вода поступает на входы в ОНВ и МО, охлаждая наддувочный воздух и масло. Потоки пресной воды, выходящие из ОНВ и МО, поступают далее на вход в насос пресной воды (Н_{п.в}), где смешиваются с водой из перепуска. После смешения вода поступает на вход в двигатель. Смешение потоков воды обеспечивает необходимую температуру на входе в двигатель $t_{w.д1}$.

(как показано на рисунке), противоточно установленных в потоке заборной воды, способствует достижению высокого КПД всего блока.

ОНВ выполнен по схеме многократного перекрестного тока при общем противотоке, что позволяет обеспечить его высокий КПД при необходимой компактности и обеспечении допустимого сопротивления по воде. КПД ОНВ обеспечивается практически таким же, как и для полнопоточных конструкций. Переход на большое число ходов способствует росту КПД. Снижение скорости воды, связанное с необходимостью обеспечения допустимого водяного сопротивления, ведет к снижению коэффициента теплопередачи и снижению КПД. Два противоположно действующих фактора в итоге практически уравниваются. Низкая температура воды на входе и высокий КПД ОНВ обеспечивают низкую температуру воздуха в ресивере двигателя (за ОНВ), что и является основным достоинством малорасходных систем охлаждения.

Аналогично работает и вторая ветвь системы охлаждения, состоящая из блока ВВО₂ и МО. При организации расхода воды через эту ветвь и при выборе КПД, включаемых в нее теплообменников, учитывается, что от системы не требуется предельно низкая температура масла. Соответственно КПД ВВО₂ и МО могут быть ниже, чем КПД ОНВ и ВВО₁.

Кроме того, при проектировании системы приходится учитывать, что оба блока охладителей отводят не только тепло от наддувочного воздуха и масла, но и тепло, которое выделяется в воду в зарубашечном пространстве двигателя. В результате КПД всех теплообменников в системе, расходы воды через них и через перепуск выбираются с учетом желательных температур всех теплоносителей, с учетом выделяемых тепловых потоков, а также с учетом возможной минимизации суммы масс теплообменных элементов всех теплообменников системы.

На дробных нагрузках и при снижении температуры окружающей среды система обеспечивает регулирование температур наддувочного воздуха, масла и воды. Терморегулирование обеспечивается раздельным изменением расходов заборной и пресной воды через ВВО, для чего в системе устанавливаются специальные терморегуляторы (на схеме не показаны, т.к. в расчётах не принимались во внимание).

Для отыскания минимума суммы масс сердцевин теплообменников в системе M_{Σ} следует руководствоваться следующими правилами.

1. КПД ВВО₁ нужно иметь минимально возможным. С уменьшением $\eta_{в1}$ растет $\eta_{н.в.}$. Минимум $\eta_{в1}$ устанавливается по возможному максимуму $\eta_{н.в.}$.

2. Возможный минимум $\eta_{в1}$ зависит от расхода воды G_{ww1} . Чем выше расход G_{ww1} , тем ниже можно иметь $\eta_{в1}$.

3. Увеличение G_{ww1} уменьшает G_{ww2} при фиксированном расходе насоса G_{ww} . С определенного значения G_{ww1} дальнейшее уменьшение G_{ww2} приведет к росту суммы масс сердцевин в системе за счет увеличения ВВО₂ и МО.

4. Расходы пресной воды по веткам системы также взаимосвязаны. Подбор расходов пресной воды по веткам дает возрастание или убывание суммы масс сердцевин в данных условиях.

5. КПД ВВО₂, $\eta_{в2}$, следует принимать близким к 0,9. Меньшие значения приводят к росту КПД МО и его массы. Масса системы здесь может расти или убывать в зависимости от превалирования массы МО или ВВО₂. Соответственно масса системы может минимизироваться в зависимости от выбора $\eta_{в2}$.

6. Если считать G_{ww} заданным, а подбор $\eta_{в1}$, $\eta_{в2}$ и $\eta_{н.в.}$ выполняемым по п.п. 1 и 5, то минимизацию масс сердцевин теплообменников в системе можно выполнять подбором величины двух факторов: G_{ww1} и G_{w2} (G_{ww2} и G_{w1} зависят от них однозначно в данной постановке задачи).

Учитывая изложенное выше, минимизация M_{Σ} может быть установлена на основе анализа ряда вычислений, в которых будут заданы два названных в п.6 фактора на различных уровнях и при различном сочетании их уровней. При поисках экстремума

указанным образом обычно стремятся к равномерности распределения информации по всем возможным направлениям. Объем вычислений в таком случае может быть весьма велик, так как он зависит и от числа факторов, и от числа уровней каждого из них. Однако, если вычисления не организованы в соответствии с одним из известных рациональных методов, то даже при значительном объеме вычислений остается вероятность пропуска возможного оптимума.

Чтобы уменьшить объем вычислений и исключить «потерю» оптимума, удобно исследовать всю область возможных значений исследуемой функции с использованием существующих методов планирования расчетов, которые предлагаются в факторном анализе. В таком случае количество уровней факторов и их сочетание выбирается по определенному плану. Исследуемая область в результате «покрывается» некоторой «сетью» настолько рационально, насколько действенны подобные методы и насколько правильно они выбраны. При исследовании процессов и систем с двумя независимыми факторами наиболее рациональным является план типа правильного шестиугольника с числом центральных точек $m \geq 1$ или ротатабельный план второго порядка [9].

В частности, для решения рассматриваемой задачи с использованием названного плана достаточно выполнить всего семь подробных расчетов системы. Такие расчеты должны быть выполнены на основе использования так называемых расчетных комплексов при обеспечении наибольшей возможной точности результатов [10]. На основе этих семи расчетов могут быть получены коэффициенты полинома второй степени, то есть – нелинейного уравнения регрессии, являющегося упрощенной математической моделью рассматриваемой системы. Эта модель позволяет получать любое число значений искомой функции (суммы масс сердцевин теплообменников) без сложных вычислений в пределах заложенных диапазонов отклонений двух выделенных факторов. Подобные планы второго порядка позволяют минимизировать систематические ошибки, связанные с неадекватностью представления искомых результатов полиномами второго порядка.

Уравнение регрессии позволяет построить графики (рис. 3), на основании которых несложно определить область возможного минимума суммы масс сердцевин системы, значение этой величины и значения факторов, при которых ее можно получить.

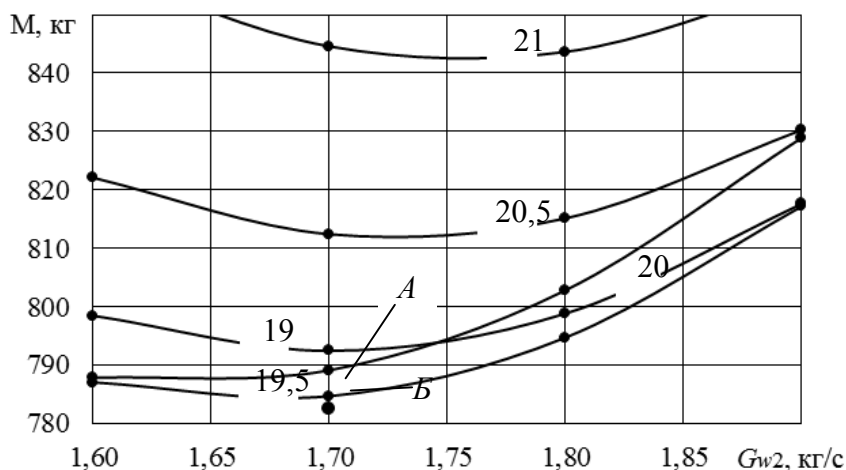


Рисунок 3 – Зависимость суммы масс сердцевин теплообменников в системе M_{Σ} от расходов пресной и заборной воды G_{w2} и G_{ww1}

В дальнейшем есть смысл выполнить уже сложные расчеты в области определенного таким образом минимума, чтобы проверить вычисления и установить окончательные параметры системы и ее теплообменников в области оптимума. В частности, минимум M_{Σ} по кривым на рис. 3 достигается в точке A при $G_{ww1} = 19,5$ кг/с и при $G_{w2} = 1,7$ кг/с. Ниже точки A поставлена точка B, для которой M_{Σ} определена сложным точным расчетом с использованием расчетного комплекса при тех же значениях G_{ww1} и G_{w2} . Масса M_{Σ} для точки A равна 785 кг. Масса M_{Σ} для точки B составляет 783 кг.

Разница определения M_{Σ} незначительна. Таким образом, локализация минимума M_{Σ} и выход на параметры настройки системы обеспечивается достаточно точно при минимуме объема вычислений.

Разумеется, при планировании эксперимента необходимо вначале выйти на так называемые «основные уровни факторов». Эти уровни могут быть определены достаточно приблизительно, что не сильно влияет на конечный результат, если отклонения допущены в разумных пределах. Выход на искомые параметры требует определенного количества настроечных, предварительных вычислений, не входящих в число расчетов, выполненных при построении матрицы эксперимента. Основные результаты расчетов системы 2BK1M также представлены в табл. 2.

Для заполнения табл. 2 использованы результаты, при получении которых использовались все рекомендации для минимизации значения M_{Σ} . Габариты пучка ОНВ для 2BK1M, в соответствии с представленными в табл. 2 значениями, несколько превышают желаемые. Чтобы получить уменьшенные габариты ОНВ, следует отойти от принципов минимизации суммарной массы сердцевин теплообменников в системе. В этом случае возрастают расход забортной воды в системе G_{ww} и величина M_{Σ} . В частности, если обеспечить габариты пучка ОНВ $L \times B \times H = 237 \times 362 \times 359$ мм, что вполне удовлетворяет заданным ограничениям, то величина M_{Σ} возрастет до 992 кг, а расход забортной воды составит 30 кг/с.

Как для системы ЕС12В, так и для системы 2BK1M, были выполнены подробные расчеты всех теплообменников, для которых получены все необходимые параметры, чтобы конструировать эти изделия.

Выводы. Таким образом, для случая минимальных масс в системах, M_{Σ} для 2BK1M составит 783 кг, а для ЕС12В 1013 кг. Масса системы 2BK1M меньше на 230 кг (данный случай принципиально возможен для реализации, габариты двигателя это позволяют). При удовлетворении указанным ограничениям на габариты пучков и одинаковых расходах забортной воды $G_{ww} = 30$ кг/с, величина M_{Σ} для 2BK1M составит 992 кг, а для ЕС12В 3354 кг. Масса системы 2BK1M меньше на 2362 кг. Как видно, в обоих случаях преимущество 2BK1M по величине суммарной массы сердцевин, а, значит, по стоимости и по габаритам весьма существенное. Кроме того, альтернативная система имеет меньшее число насосов, имеет один пучок в ОНВ вместо двух, замкнутый контур циркуляции не разделен на два: холодный и горячий. В результате система проще, легче, существенно дешевле. Очевидно, из сравниваемых систем она является лучшей. Можно добавить, что имеется практический опыт применения подобных систем в серийном производстве (ОАО «Дизелестроительный завод имени С. М. Кирова», г. Токмак, Украина) для двигателей типа 12ЧН 14/14 и для ряда других машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. На МВМС показали дизель нового поколения для кораблей и подлодок [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://flotprom.ru/2015/Мвмс53/>.
2. Уральский дизель-моторный завод осваивает производство дизельных двигателей ДМ-185 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://portnews.ru/news/203057/>.
3. Куликов Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов / Ю. А. Куликов. – М. : Машиностроение, 1988. – 280 с.
4. Aurubis company [Электронный ресурс] // The aurubis company official site. – Режим доступа : <http://www.aurubis.com>.
5. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association. 9-th edition, 2007. – 298 с.
6. Петриченко Р. М. Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания / Р. М. Петриченко. – Л. : Машиностроение, 1975. – 224 с.

7. Гогоренко А. А. Совершенствование систем охлаждения дизельных двигателей магистральных тепловозов : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.03 / Алексей Анатольевич Гогоренко. – Николаев : НУК, 2012. – 235 с.
8. Мошенцев Ю. Л. Система охлаждения для современных магистральных тепловозов / Ю. Л. Мошенцев, А. А. Гогоренко, Д. С. Минчев // Двигатели внутреннего сгорания : науч.-техн. журн. – 2011. – № 2. – С. 90-94.
9. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное пособие) / [Бродский В. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И. и др.]. – М. : Металлургия, 1982. – 752 с.
10. Батрак А. П. Планирование и организация эксперимента : учебное пособие к изучению теоретического курса для студентов направления 220500 / А. П. Батрак. – Красноярск : ИПЦ СФУ, 2010. – 60 с.

REFERENCES

1. Na MVMS pokazali dizel novogo pokoleniya dlya korabley i podlodok. *flotprom.ru*. Retrieved from : <http://flotprom.ru/2015/Mvmc53/>.
2. Uralskiy dizel-motornyy zavod osvvaivaet proizvodstvo dizelnykh dvigateley DM-185. *portnews.ru*. Retrieved from <http://portnews.ru/news/203057/>.
3. Kulikov Yu. A. (1988) *Sistemy okhlazhdeniya silovykh ustanovok teplovozov*. Moskva : Mashinostroenie.
4. Aurubis company. The aurubis company official site. *aurubis.com*. Retrieved from <http://www.aurubis.com>.
5. *Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association* (2007).
6. Petrichenko R. M. (1975) *Sistemy zhidkostnogo okhlazhdeniya bystrokhodnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya*. Leningrad : Mashinostroenie.
7. Gogorenko A. A. (2012) *Sovershenstvovanie sistem okhlazhdeniya dizelnykh dvigateley magistralnykh teplovozov. Candidate's thesis*. Nikolaev : NUK.
8. Moshentsev Yu. L., Gogorenko A. A. & Minchev D. S. (2011) *Sistema okhlazhdeniya dlya sovremennykh magistralnykh teplovozov. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Dvigateli vnutrennego sgoraniya»*, 2, 90–94.
9. Brodskiy V. Z., Brodskiy L. I., Golikova T. I., Nikitina Ye. P., Panchenko L. A. (1982) *Tablitsy planov eksperimenta dlya faktornykh i polinomialnykh modeley*. Moskva : Metallurgiya.
10. Batrak A. P. (2010) *Planirovanie i organizatsiya eksperimenta*. Krasnoyarsk : IPTs SFU.

Мошенцев Ю. Л., Гогоренко О. А. ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЛЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Системи охолодження для суднових двигунів можуть мати різні схеми. Використання раціонального підходу до створення схеми дозволяє істотно знизити сумарну масу серцевин теплообмінників в системі, що знижує її вартість і габарити. При цьому система може бути принципово більш простою і мати меншу кількість складових елементів. Зокрема, для двигуна типу 12ЧН 18,5/21,5 (потужністю 1416 кВт при 1900 об/хв. колінчатого валу) розглянуто дві можливі схеми системи охолодження. Перша, типу ЕС12В, виконана без використання сучасних методів формування раціональних схем систем охолодження двигунів. Друга, альтернативна система типу 2ВК1М, сформована з використанням сучасних методик проектування та відноситься до так званих маловитратних систем. У результаті детальних розрахунків обох схем із використанням прийомів мінімізації сумарних мас серцевин теплообмінників встановлено, що система 2ВК1М істотно легше, ніж ЕС12В. Вона містить два насоса замість трьох, має один контур замкнутої циркуляції замість двох, один пучок в охолоджувачі наддувного повітря замість двох, простіше по конструкції і забезпечує бажані габарити пучків охолоджувачів наддувного повітря.

Ключові слова: водо-водяний охолоджувач, охолоджувач масла, охолоджувач наддувного повітря, маловитратна система охолодження, поверхня теплообміну.

Moshentsev Y. L., Gogorenko O. A. COMPARISON OF MARINE DIESEL COOLING SYSTEMS

Cooling system for marine engines can have different layouts. The use of a rational approach to the creation of a scheme can significantly reduce the total mass of the cores of heat exchangers in the system that reduces its cost and size. The system may in principle be simpler and have fewer components. In particular, for the engine type engines 12CH 18,5/21,5 (power 1416 kW at 1900 rpm crankshaft) considered two possible schemes of cooling systems. First, type EC12B, made without the use of modern methods of forming of rational schemes of cooling systems engines. Second, an alternative system type 2BK1M formed with the use of modern techniques for design and refers to the slow flow systems. As a result of the detailed calculations of both schemes using techniques to minimize the total mass of the cores of heat exchangers installed, the system 2BK1M significantly easier than EC12B. It contains two pumps instead of three, has one closed contour of circulation instead of two, one beam in the charge-air cooler instead of two, simpler in construction and provides a desirable beam size of the intercoolers.

Keywords: charge air cooler, heat transfer surface, oil cooler, slow flow system, water cooler.

© Мошенцев Ю. Л., Гогоренко О. А.

Статтю прийнято
до редакції 24.04.16

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

ДОРОЖНІЙ ЗАТОР ЯК ФАКТОР НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ВОДІЯ

Гюлев Н. У., к.т.н, доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: ngulev@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5665-2978

Надійність функціонування транспортної системи міста переважно залежить від застосовуваної технології організації дорожнього руху.

Основною ланкою цієї системи є водій, від стратегії поведінки якого залежить безпека цієї системи.

Дорожні затори, виникаючи через застосування неправильної технології організації дорожнього руху або через перевищення інтенсивності руху над пропускною спроможністю доріг, призводять до зміни психофізіологічного стану водія. переважна більшість водіїв відчують негативний вплив транспортних заторів, що виявляється в погіршенні їх функціонального стану.

У статті наведено результати досліджень впливу дорожніх заторів на функціональний стан водія і час його реакції. у дослідженнях брали участь водії всіх основних типів темпераментів. при цьому підкреслено, що одним з основних негативних чинників порушення технології організації дорожнього руху є транспортний затор. відзначено, що не у всіх представників темпераментів погіршується функціональний стан. до такої групи належать водії-флегматики.

Підкреслено, що наслідки від транспортних заторів для переважної більшості водіїв проявляються у вигляді зміни їх часу реакції і багато в чому визначають безпеку дорожнього руху в цілому.

Ключові слова: функціональний стан, транспортні затори, темперамент, рівень активності регуляторних систем, час реакції.

Постановка проблеми. Формування транспортних потоків багато в чому залежить від застосовуваної технології організації дорожнього руху. Основними завданнями цієї технології є доставка вантажів і пасажирів в необхідні пункти з дотриманням умов безпеки руху. Забезпечення виконання цих завдань багато в чому залежить від водія і його стану. Основними характеристиками транспортного потоку є інтенсивність, швидкість і щільність [1].

Рух в транспортному потоці пов'язано з подоланням численних транспортних заторів, що утворюються, особливо в періоди «пік», на перехрестях. Це призводить до погіршення функціонального стану водія внаслідок тимчасового розладу його деяких психічних і психологічних функцій [2]. Від водія, як головної ланки системи «водій – автомобіль – дорога – середовище», залежить вибір швидкості руху, інтервалу між автомобілями, яку займає смуга дороги, вчинення маневру і т. д. Зміна його функціонального стану призводить до вироблення та прийняття того чи іншого рішення. Від обраної стратегії поведінки водія залежить швидкість транспортного потоку, його інтенсивність і щільність.

При виконанні своїх завдань водій постійно стикається з перешкодами, які гальмують і знижують ефективність його діяльності. Однією з важливих таких проблем для водія є транспортний затор, який виникає через перевищення інтенсивності дорожнього руху над пропускною здатністю вулиць і доріг. Затори та дорожні пробки сприяють зростанню психоемоційної напруженості водіїв, яка призводить до тимчасового розладу їх деяких психофізіологічних функцій [2–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в галузі організації та безпеки дорожнього руху проводило безліч дослідників [1, 3, 4–20]. У роботах [3, 4] автори досліджували психофізіологічні і медичні сторони поведінки водіїв. Результати деяких досліджень зміни часу реакції водія наведені в роботі [4, 5]. У роботі [6] досліджується вплив швидкості на час реакції водія. Дослідники проводили виміри часу реакції водіїв різними методами і в різних ситуаціях [7–12]. Автори робіт [13, 14] визначали час реакції молодих і літніх водіїв.

Автори робіт [15, 16] в своїх дослідженнях оцінювали ступінь напруженості водія для забезпечення безпеки дорожнього руху та підвищення його працездатності. Було встановлено, що підвищення емоційної напруженості призводить до перевищення водієм швидкості і в результаті до ймовірності виникнення дорожньо-транспортної пригоди. Однак ці дослідження в основному проводилися з урахуванням впливу дорожніх умов при проектуванні доріг і не враховували зміни стану водія в транспортних заторах.

Наявність зв'язку між транспортним затором, виникненням стресу у водія і його поведінки встановили автори роботи [17].

Психофізіологічні якості водія, такі як час реакції водія, стаж роботи, темперамент і т.д. в своїх роботах розглядали і безліч інших дослідників [18, 19].

Однак у цих роботах не повною мірою розглянуті питання впливу початкового стану водіїв на час їх реакції в період їх перебування в транспортних заторах і пробках. Також мало досліджений вплив віку темпераменту водія на час реакції.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки значущості факторів, що впливають на функціональний стан водія, було відібрано їх кількість відповідно до рекомендацій [21].

Відібрані для оцінки значущості фактори були занесені у спеціальну анкету, за допомогою якої було проведено опитування водіїв немаршрутизованого транспорту (рис. 1).

Анкета

для визначення значущості факторів, що впливають а функціональний стан водія

Які з перерахованих факторів викликають у вас зростання нервово-емоційної напруги? Вкажіть значущість факторів в порядку спадання.

№	Фактор	Значущість (ранг)
1	Тривалість поїздки	
2	Стан дорожнього покриття	
3	Інтенсивність руху	
4	Наявність транспортних заторів	
5	Кількість перехресть	
6	Час доби (сутінки,вечір)	
7	Погодні умови (тума, дощ)	
8	Комфортність автомобіля	
9	Число пішохідних переходів	

Бали

«1» - найбільш значущий фактор

«9» - найменш значущий фактор

Рисунок 1 – Анкета опитування водіїв (експертів) для визначення значущості факторів, що впливають на функціональний стан водія

Кількість анкет визначалося відповідно до рекомендацій, наведених в роботі [22], згідно яких для величини з ймовірністю рівний 0,95 і допустимої помилкою 0,05 розмір вибірки дорівнює 384. У ході обстеження було опитано 400 водіїв.

Для визначення значущості факторів при обробці даних застосовувався метод рангової кореляції [23]. Була побудована гістограма значущості факторів, що впливають на функціональний стан водія (рис. 2).

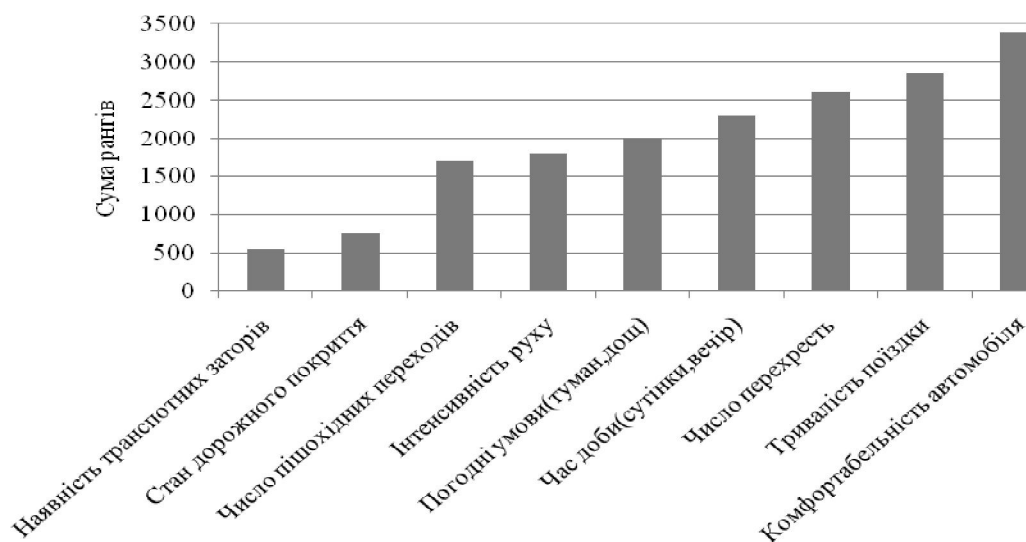


Рисунок 2 – Гістограма значущості факторів, що впливають на функціональний стан водіїв

Так як фактори 8 і 9 за сумою рангів значно відрізняються від інших, вони можуть бути виключені з подальшого дослідження [21]. Оцінка ступеня узгодженості думок експертів була проведена із використанням коефіцієнта конкордації Кендала [23]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

де W – коефіцієнт конкордації Кендала; m – кількість експертів; n – кількість факторів; S – сума квадратів відхилень.

$$S = \sum_{j=1}^n (X_j - X_{cp})^2, \quad (2)$$

де X_j – сума рангів по j -му фактору; X_{cp} – середня сума рангів.

За допомогою формул (1) і (2) був розрахований коефіцієнт конкордації, який дорівнює 0,75, що вказує на узгодженість думок експертів.

Для перевірки статистичної ваги коефіцієнта конкордації розраховували емпіричне значення критерію λ^2 Пірсона за формулою [18, 23]:

$$\lambda^2 = \frac{12S}{mn(n+1)}. \quad (3)$$

Розрахункове значення критерію λ^2 порівнюється з критичним, яке знаходиться за допомогою таблиць [24] або розраховується з урахуванням ступенів свободи $df = n - 1$ і заданого рівня довірчої ймовірності, рівної 0,95. Гіпотеза про узгодженість думок експертів приймається, якщо емпіричне значення критерію більше табличного. Значення критерію, розраховане за формулою (3) більше табличного. Звідси можна зробити висновок, що думки експертів не випадкові.

З рис. 2 видно, що найбільш значущим чинником виявилася наявність транспортних заторів. Висока значимість цього чинника пояснюється його негативним впливом на психоемоційний стан водія, збільшенням часу поїздки. Другим по значущості виявився стан дорожнього покриття. Негативний вплив цього фактора на стан водія очевидно: поганий стан дороги призводить до зниження швидкості і збільшення часу поїздки. Наступний по значимості фактор – число пішохідних переходів, оскільки водій при їх перетині знаходиться в постійному психічному напруженні.

Із метою оцінки впливу умов впливу дорожніх заторів на стан водіїв різних темпераментів і вікових груп були проведені експериментальні дослідження, які полягали

у фіксуванні електрокардіограми водіїв при вході в транспортний затор, в самій пробці і при виході з неї. Функціональний стан оцінювався шляхом аналізу серцевого ритму і визначення показника активності регуляторних систем (ПАРС) за методом проф. Баєвського Р. М. [25].

ПАРС є інтегральним показником оцінки функціонального стану. Методика його розрахунку досить складна. Розрахунки проводяться за допомогою спеціальної програми на електронно-обчислювальній машині. При цьому вихідними даними для визначення ПАРС є відстані між зубцями кардіоінтервалів електрокардіограми.

Також були проведені дослідження з оцінки впливу затору на час реакції водіїв.

Для проведення досліджень з оцінки впливу транспортного затору на час реакції були відібрані водії трьох темпераментів: холерик, сангвінік і меланхолік. Проведені раніше дослідження показали, що водій-флегматик не відчуває негативного впливу транспортного затору, навпаки, його функціональний стан навіть дещо поліпшується [26]. Тому відповідно моделі визначення часу реакції, наведеною в роботі [27], час реакції водія-флегматика в транспортному заторі не збільшується, і він в подальших дослідженнях не брав участі.

Розроблена в роботі [27] модель оцінки зміни часу реакції водія має наступний вигляд:

$$\Delta T_p = 0,029 + 0,022(P_k - P_n)^2,$$

де ΔT_p – зміна часу реакції водія, с; P_k – показник активності регуляторних систем при виході з транспортного затору, бали; P_n – показник активності регуляторних систем при вході в транспортний затор, бали.

Результати досліджень деяких найбільш типових варіантів наведено на рис. 3–6.

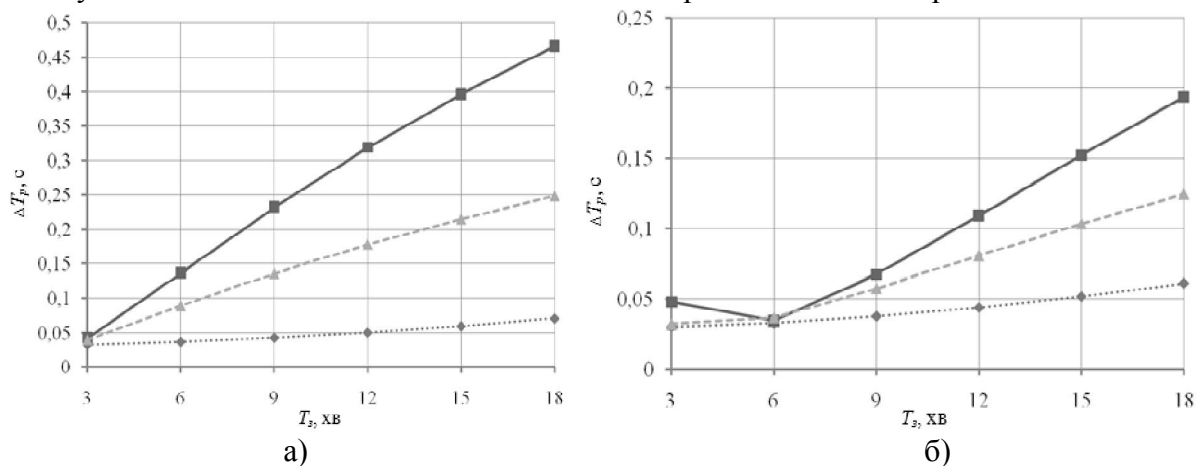


Рисунок 3 – Залежність зміни часу реакції водіїв віку 30 років у транспортному заторі при:

а) $P_n = 2$; б) $P_n = 4$:

---●--- – Меланхолік; —■— – Холерик; - -▲- - Сангвінік

На рис. 3–4 наведено зміни часу реакції молодих водіїв тридцятирічного віку при різних початкових станах перед транспортним затором.

Як видно з рис. 3а і 3б при $P_n = 2$ і 4 у транспортному заторі час реакції збільшується у водіїв всіх темпераментів крім холерика при $P_n = 4$. Тобто транспортний затор при вихідному нормальному стані водія чинить негативний вплив на його функціональний стан, тим самим підвищуючи час його реакції. Така ж тенденція зміни часу реакції при $P_n = 2$ і 4 у водіїв старшого покоління (рис. 5а і 5б).

У тридцятирічних водіїв при $P_n = 5$ зміна часу реакції відбувається у різних темпераментів трохи інакше (рис. 4а). У водія-холерика і у водія-сангвініка час реакції в транспортному заторі спочатку знижується, а після 6 хвилин перебування в ній – починає зростати. У водія-меланхоліка до 6 хвилин перебування в заторі час реакції практично не змінюється, а далі починає зростати.

У водіїв старшого покоління при $P_n = 5$ зміна часу реакції відбувається наступним чином: у водія-холерика до 6 хвилин перебування в транспортній пробці – дещо знижується, а далі зростає, у водія-сангвініка і у водія-меланхоліка час реакції зростає (рис. 6а).

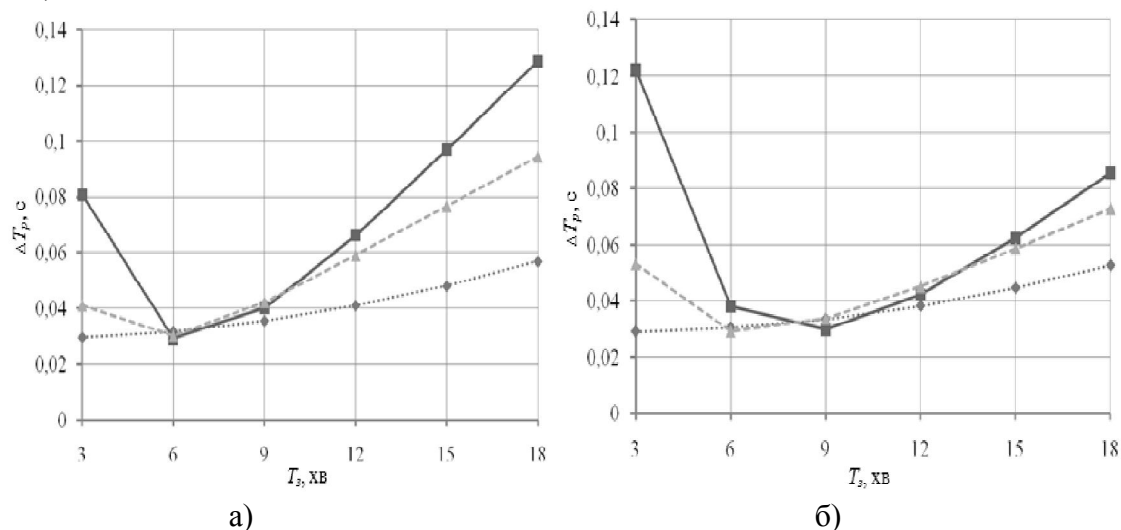


Рисунок 4 – Залежність зміни часу реакції водіїв віку 30 років у транспортному заторі при:

а) $P_n = 5$; б) $P_n = 6$:

---◆--- – Меланхолік; —■— – Холерик; - -▲- - Сангвінік

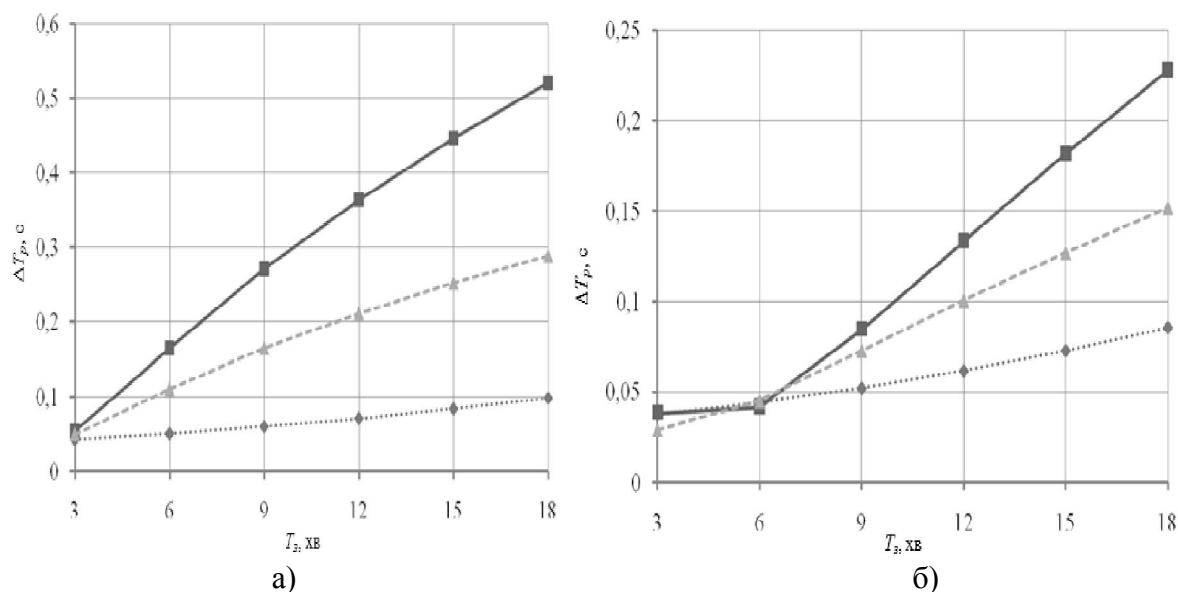


Рисунок 5 – Залежність зміни часу реакції водіїв віку 60 років у транспортному заторі при:

а) $P_n = 2$; б) $P_n = 4$:

---◆--- – Меланхолік; —■— – Холерик; - -▲- - Сангвінік

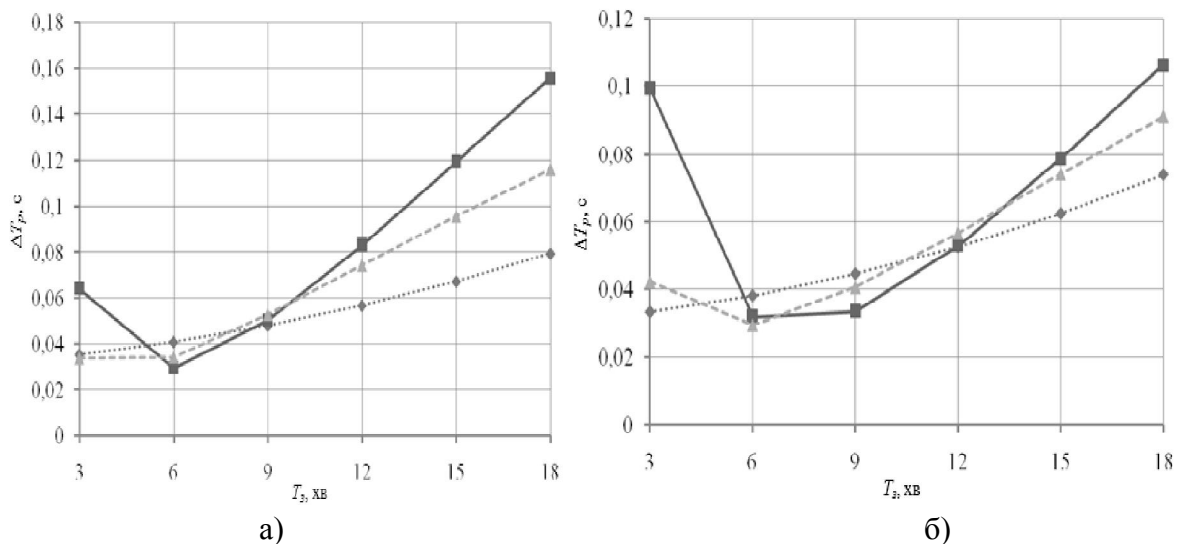


Рисунок 6 – Залежність зміни часу реакції водіїв віку 60 років у транспортному заторі при:

а) $P_n = 5$; б) $P_n = 6$:

---◆--- – Меланхолік; —■— – Холерик; -▲- – Сангвінік

У водія-холерика при $P_n = 6$ час реакції значно скорочується до шостої хвилини перебування в заторі і не змінюється до дев'ятої хвилини і тільки потім починає зростати, досягаючи до кінця затору первісного значення (рис. 6б). У сангвініка до шостої хвилини ΔT_r зменшується, далі починає зростати. У меланхоліка ΔT_r зростає з початку затору та до його закінчення.

Висновки. Зміна часу реакції водіїв у транспорті заторі значною мірою залежить від їх початкового стану та віку. Водії різних темпераментів по-різному реагують на тривалість транспортного затору.

При розробці технології організації дорожнього руху необхідно враховувати отримані результати досліджень, від яких залежить час реакції водія та безпеку руху.

Подальші дослідження потрібно проводити з метою визначення впливу тривалості транспортного затору та часу його реакції на прийняття водієм правильного відповідь дії після виходу з затору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. – К.: Вища школа, 1986. – 271 с.
2. Гюлев Н. У. Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 1/10(49). – С. 50–52.
3. Вайсман А. И. Основные проблемы гигиены труда водительского состава автотранспорта: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 03.12.02 / А. И. Вайсман. – М., 1975. – 37 с.
4. Мишурин В. М. Психофизиологические основы труда водителей а втомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишурин, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. – М. : МАДИ, 1982. – 254 с.
5. Гюлев Н. У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – № 2 – С. 117–120.
6. Törnros J. (1995). Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. *Accident Analysis & Prevention*, 27(4), 435–442.
7. Magister T., Krulec, R., Batista, M., & Bogdanović, L. (2005). The driver reaction time measurement experiences. *Innovative Automotive Technology-IAT*, 5.

8. Jurecki R. S., & Stanczyk, T. L. (2011). The test methods and the reaction time of drivers. *Eksploracja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability*, (3), 84–91.
9. Dannert G. (1998). Grundprobleme der Reaktionszeit des Kraftfahrers. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 36(12).
10. Stańczyk T. L., & Jurecki, R. (2006). Czasy reakcji kierowców w stanach zagrożenia wypadkowego. In *WSB im. J. Chrapka w Radomiu. Materiały II Konferencji» Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne*, Radom, Vol. 7, No. 8.06, pp. 321–348.
11. Stańczyk T. L., Lozia, Z., Pieniążek, W., & Jurecki, R. S. (2010). Badania reakcji kierowców w symulowanych sytuacjach wypadkowych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów/Politechnika Warszawska*, 27–52.
12. Hugemann W. (2002, September). Driver reaction times in road traffic. In *EVU annual conference*, Portoroz, Slovenia, Vol. 32.
13. Lerner N. D. (1993, October). Brake perception-reaction times of older and younger drivers. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, Vol. 37, No. 2, pp. 206–210, SAGE Publications.
14. Nishida Y. (1999). Driving characteristics of the elderly: risk compensation of the elderly driver from the viewpoint of reaction behavior. *JSAE review*, 20(3), 375–380.
15. Бегма И. В. Оценка напряженности работы водителя в реальных дорожных условиях / И. В. Бегма // *Тр. МАДИ*. – 1976. – Вып. 128. – С. 29–34.
16. Бегма И. В. Учет психофизиологии водителей при проектировании автомобильных дорог / И. В. Бегма, Э. В. Гаврилов, Я. А. Калужский. – М. : Транспорт, 1976. – 88 с.
17. Hennessy D. A., & Wiesensthal, D. L. (1997). The relationship between traffic congestion, driver stress and direct versus indirect coping behaviours. *Ergonomics*, 40(3), 348–361.
18. Гаврилов Е. В. Системологія на транспорті / [Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін; під заг. ред. М. Ф. Дмитриченка]. – кн. V: Ергономіка. – К. : Знання України, 2008. – 256 с.
19. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1980. – 311 с.
20. Гюлев Н. У. О влиянии изменения функционального состояния водителя на безопасность дорожного движения / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, М. С. Бичев // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т. 3/3(63). – С. 67–69.
21. Френкель А. А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда / А. А. Френкель. – М. : Экономика, 1966. – 96 с.
22. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – 576 с.
23. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1968. – 155 с.
24. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / В. Г. Галушко. – К. : Вища шк., 1976. – 232 с.
25. Баевский Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. – М. : Наука, 1984. – 222 с.
26. Гюлев Н. У. Модель изменения функционального состояния водителя-флегматика в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. – 2012. – № 18. – С. 33–36.
27. Гюлев Н. У. О зависимости времени реакции водителя от изменения его функционального состояния / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. – 2012. – № 26. – С. 47–50.

REFERENCES

1. Khomjak Ja. V. (1986). *Orghanyzacyja dorozhnogho dyzhenyja*. Kiev : Vysha shkola.
2. Giulev N. U. (2011). Vlyjanye vremeny prostoja avtomobylja v dorozhnom zatore na funkcyonaljnoe sostojanye vodytelja. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovyh tehnologii*. 1/10(49), 50–52.
3. Vaysman A. Y. (1976). Osnovnye problemy hyhyeny truda vodytel'skoho sostava avtotra-nsporta : *Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva.
4. Mishurin V. M., Romanov, A. N. & Ignatov, N. A. (1982). *Psihofiziologicheskie osnovy truda voditelei avtomobilei*. Moskva : MADI.
5. Giulev N. U. (2011). Ob izmenenii vremeni reaktsii voditelia vsledstvie prebyvaniia v transportnom zatore. *Vistnyk NTU «KhPI»*, 2, 117–120.
6. Törnros J. (1995). Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. *Accident Analysis & Prevention*, 27(4), 435-442.
7. Magister T., Krulec, R., Batista, M., & Bogdanović, L. (2005). *The driver reaction time measurement experiences*. Innovative Automotive Technology-IAT, 5.
8. Jurecki R. S., & Stanczyk, T. L. (2011). The test methods and the reaction time of drivers. *Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability*, (3), 84-91.
9. Dannert G. (1998). Grundprobleme der Reaktionszeit des Kraftfahrers. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 36(12).
10. Stańczyk T. L., & Jurecki, R. (2006). Czasy reakcji kierowców w stanach zagrożenia wypadkowego. In *WSB im. J. Chrapka w Radomiu. Materiały II Konferencji» Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne*, Radom , Vol. 7, No. 8.06, 321-348.
11. Stańczyk T. L., Lozia, Z., Pieniążek, W., & Jurecki, R. S. (2010). Badania reakcji kierowców w symulowanych sytuacjach wypadkowych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów/Politechnika Warszawska*, 27-52.
12. Hugemann W. (2002, September). Driver reaction times in road traffic. In EVU annual conference, *Portoroz, Slovenia*, Vol. 32.
13. Lerner N. D. (1993, October). Brake perception-reaction times of older and younger drivers. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, SAGE Publications, Vol. 37, No. 2, 206–210.
14. Nishida Y. (1999). Driving characteristics of the elderly: risk compensation of the elderly driver from the viewpoint of reaction behavior. *JSAE review*, 20(3), 375–380.
15. Behma Y. V. (1976). Otsenka napriazhennosti raboty vodytelja v realnykh dorozhnykh uslovyakh. *Tr. MADY*. 128, 29-34
16. Behma Y. V., Havrylov E. V. & Kaluzhskyy Ya. A. (1976). *Uchet psikhofyziologicheskoy vodytelei pry proektyrovanny avtomobyl'nykh dorog*. Moskva: Transport.
17. Hennessy D. A. & Wiesensthal, D. L. (1997). The relationship between traffic congestion, driver stress and direct versus indirect coping behaviours. *Ergonomics*, 40(3), 348-361.
18. Havrylov E. V., Dmytrychenko D. V. K. Et al. (2008). *Systemolohiia na transporti*. V: Erhonomika, Kyiv: Znannia Ukrainy.
19. Lobanov E. M. (1980). *Proektirovanie dorog i organizatsiia dvizheniia s uchetom psihofiziologii voditelia*. Moskva : Transport.
20. Hiulev N.U., Dolia V. K. & Bychev M. S. (2013). O vlyiany yzmeneniy funktsyonalnoho sostoiannya vodytelja na bezopasnost dorozhnoho dyzhenyia. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovyh tehnologii*, 3/3(63), 67–69.
21. Frenkel' A. A. (1966). *Mnogofaktornye korreliatsionnye modeli proizvoditel'nosti truda*. Moskva : Ekonomika.
22. Mitropol'skii A. K. (1971). *Tehnika statisticheskikh vychislenii*. Moskva : Nauka.
23. Adler Yu. P. (1968). *Vvedeniye v planyrovanye eksperymenta*. Moskva : Metallurhiya.

24. Halushko V. H. (1976). *Veroiatnostno-statystycheskye metody na avtotransporte*. Kyiv : Vyshcha shk.
25. Baevskii R. M., Kirillov O. N. & Kletskin S. Z. (1984). *Matematicheskii analiz izmenenii serdechnogo ritma pri stresse*. Moskva : Nauka.
26. Hiulev N. U. & Dolia V. K. (2012). Model yzmeneniy funktsyonalnoho sostoiannya vodytelia-flehmatyka v transportnom zatore. *Vestnyk Natsyonalnoho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY»*, 18, 33–36.
27. Hiulev N.U., Dolia V.K. (2012). O zavysymosti vremeny reaktsyy vodytelia ot yzmeneniy eho funktsyonalnoho sostoiannya. *Vestnyk Natsyonalnoho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY»*. 26, 47–50.

Гюлев Н. У. ДОРОЖНАЯ ПРОБКА КАК ФАКТОР ОПАСНОСТИ ДЛЯ ВОДИТЕЛЯ

Надежность функционирования транспортной системы города преимущественно зависит от применяемой технологии организации дорожного движения.

Основным звеном этой системы является водитель, от стратегии поведения которого зависит безопасность этой системы.

Дорожные заторы, возникая из-за применения неправильной технологии организации дорожного движения или из-за превышения интенсивности движения над пропускной способностью дорог, приводят к изменению психофизиологического состояния водителя. Подавляющее большинство водителей испытывают отрицательное воздействие транспортных заторов, проявляющееся в ухудшении их функционального состояния.

В статье приведены результаты исследований влияния дорожных заторов на функциональное состояние водителя и время его реакции. В исследованиях принимали участие водители всех основных типов темпераментов. При этом подчеркнута, что одним из основных негативных факторов нарушения технологии организации дорожного движения является транспортный затор. Отмечено, что не у всех представителей темпераментов ухудшается функциональное состояние. К такой группе относятся водители-флегматики.

Подчеркнуто, что последствия от транспортных заторов для подавляющего большинства водителей проявляются в виде изменения их времени реакции и во многом определяют безопасность дорожного движения в целом.

Ключевые слова: функциональное состояние, транспортные заторы, темперамент, уровень активности регуляторных систем, время реакции.

Gyulev N. Yr. CONGESTION AS THE RISK FACTOR FOR DRIVER

Reliability of the city transport system mainly depends on the applied technology traffic management.

The main element of this system is the driver, the strategy of behavior of which depends on the security of the system.

Traffic congestion, arising from the use of improper techniques of traffic management or due to exceeding the rate of motion of the carrying capacity of roads, lead to changes in the psycho-physiological condition of the driver. The vast majority of drivers experiencing the negative impact of transport congestion, manifested in the deterioration of their functional state.

The results of studies of the effect of traffic congestion on the functional state of the driver and his reaction time. The study involved the drivers of all major types of temperaments. At the same time it pointed out that one of the main negative factors violations of traffic management technology is the congestion. It is noted that not all representatives of temperaments worsening functional status. To this group belong, phlegmatic drivers.

It is emphasized that the effects of traffic congestion for the vast majority of drivers are shown as changes in their response time and largely determine the safety of road users in general.

Keywords: functional status, traffic congestion, temperament, activity level of regulatory systems, the reaction time.

© Гюлев Н. У.

Статтю прийнято
до редакції 06.05.16

УДК 614.8

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СТРУКТУРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Евдокимова В. А., к.т.н., старший преподаватель кафедры судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии, E-mail: evictoriya@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8115-6186;

Хагет Л. Г., к.т.н., доцент, консультант Службы помощи (г. Берлин, Германия), E-mail: Chef47@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0541-5865

Актуальность работы обусловлена тем, что общепринятый набор составляющих компонентов безопасности отсутствует, основания их классификации и общая структура безопасности жизнедеятельности всё ещё являются предметом дискуссий. Целью работы является построение формализованной, более широкой и полной структуры системной безопасности, уточнение списка её составляющих с помощью её морфологического анализа и синтеза. Выделены три основных признака составляющих безопасности системы, а также их возможные значения. На этой основе реализован морфологический подход к структуре безопасности жизнедеятельности, проведён морфологический анализ и синтез структуры безопасности с учётом объекта и его среды, приведен перечень источников опасности на основе формализованного подхода, составлена схема влияния основных опасных и вредных факторов на человека и среду его обитания. Морфологический анализ и синтез структуры безопасности жизнедеятельности позволил реализовать более широкий, системный и эффективный подход к вопросам безопасности; представить структуры безопасности в формализованном, достаточно полном и, в то же время, компактном виде; более чётко позиционировать решение частных задач безопасности.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности, структура безопасности, источники опасности, морфологический анализ, морфологический синтез.

Постановка проблемы и ее связь с научными или практическими задачами.

XX столетие ознаменовалось резким ростом народонаселения, уровня потребления, развития промышленности, сельского хозяйства, строительства, энергетики, транспорта, связи, военного дела, что обусловило скачок техногенного воздействия на природу. В результате масштабной техногенной деятельности во многих регионах планеты разрушена естественная биосфера и создан новый тип среды обитания человека – техносфера.

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) как научная дисциплина и учебный предмет рассматривает взаимодействие человека со средой его обитания, включающей биосферу (естественную, природную среду), техносферу (совокупность технических устройств и сооружений, материальные ценности) и общество (социальную среду). В техносфере выделяют производственную и армейскую среду (промышленное и сельскохозяйственное производство; армия; инфраструктура – строительство, энергетика, транспорт, связь), городскую среду (здания и сооружения, средства транспорта, коммуникации, рекреационную сферу), бытовую среду (дом, квартира, гараж, дача, приусадебный участок).

БЖД основывается на рассмотрении двух взаимосвязанных совокупностей: комплекса опасностей – объектов, явлений и процессов в биосфере, техносфере, обществе и самом человеке, негативно действующих на человека и среду его обитания; системы путей, методов и средств обеспечения безопасности и комфорта жизнедеятельности человека на всех стадиях жизненного цикла во всех условиях его обитания. БЖД является теоретической основой системы мероприятий (международных, государственных, частных, общественных), проводимых в целях защиты населения и хозяйства страны от аварий, катастроф, стихийных бедствий, эпидемий, средств поражения противника и иных опасностей.

Анализ исследований и публикаций, и выделение нерешенных задач проблемы. Вопросы безопасности человека занимали ещё Аристотеля и Гиппократ, Агриколу и Парацельса. Отечественная школа безопасности (В. Л. Кирпичев,

Д. П. Никольский и др.) сформировалась в начале XX в., появились курсы безопасности и сам термин «техника безопасности». В 1965 г. в вузах был введен предмет «Охрана труда», читались также курсы «Охрана окружающей среды» и «Гражданская оборона», что создавало предпосылки разработки единого учения о безопасности. В 90-х годах появилась дисциплина БЖД, начата подготовка учителей основ БЖД.

Необходимость новых подходов к обеспечению безопасности в XXI веке обусловлена как появлением новых природных и социальных явлений и процессов (новые заболевания, новые виды оружия, информационные войны), так и резким повышением интенсивности старых, известных (преступность, терроризм, техногенные катастрофы). Ответы на эти вызовы времени невозможно найти в рамках старой парадигмы научных и педагогических дисциплин «Охрана труда» [6], «Гражданская оборона» [4] и БЖД [10].

Теоретическая основа БЖД определяется, прежде всего, набором (перечнем, списком, реестром, каталогом) составляющих безопасности. Этот набор не является общепринятым, в разных учебниках и научных работах предлагаются различные варианты такой каталогизации. Кроме того, в большинстве работ он является слишком узким, что не позволяет реализовать системный подход, придать дисциплине мировоззренческий характер, решить современные проблемы безопасности глобального масштаба. Далее, этот набор является неполным и недостаточно определённым.

Решение проблем безопасности самого разного масштаба и содержания требует системного подхода, в соответствии с которым следует существенно расширить границы системы, рамки рассмотрения вопросов безопасности. Глобальная безопасность человека, природы, общества, территорий и пространств («киберпространство становится важнейшим полем боя, наряду с классическими военными полями суши, моря, воздуха, космического пространства» [12]) может быть обеспечена лишь системной защитой от всех видов угроз и опасностей в рамках единой скоординированной стратегии с использованием полного набора путей, форм и методов противодействия им.

Цель и метод работы. Цель работы – построение формализованной, более широкой и полной структуры системной безопасности, уточнение перечня её составляющих с помощью её морфологического анализа и синтеза.

Прообразом метода считают «*Argis magna*» испанского монаха, богослова и философа Р. Луллия. Подобным подходом пользовался и Леонардо да Винчи, разрабатывая прообраз популярной сегодня методики создания фоторобота [8, С.142]. В современной форме морфологический анализ воссоздан швейцарским астрофизиком Ф. Цвикки [15]. В нашей стране метод развивали В. М. Одрин, С. С. Картавов, А. И. Половинкин и другие [9].

Морфологический метод, основанный на комбинаторике, включает этапы морфологического анализа и синтеза и является одним из путей реализации системного подхода к проблеме. Это один из наиболее системных и мощных методов анализа сложных совокупностей объектов любой природы. Суть метода – построение таблиц, охватывающих всевозможные варианты исследуемого объекта. Сущность его в этом приложении состоит в:

- выделении набора существенных признаков объектов (желательно, взаимно независимых) – шаг 1;
- выявлении конечного набора значений (версий, вариантов) каждого из этих признаков – шаг 2;
- рассмотрении всевозможных сочетаний (комбинаций) значений выделенных признаков – шаг 3;
- анализе множества полученных сочетаний (искомых решений, объектов) по критерию возможности их реализации – шаг 4;
- анализе множества полученных сочетаний по специфическим критериям, определяемым задачей анализа – шаг 5 [9].

Классификация аспектов безопасности и структурирование БЖД. Шаг 1 является наиболее сложно формализуемым. Обычно рассматривают набор объектов (в нашем случае, составляющих безопасности), анализируют их различия и выделяют возможные основания их классификации, классификационные признаки, которые могут быть двухразрядными (бинарными) или многоразрядными (количественными). Общее число их в сложной системе весьма велико, поэтому необходимо: отобрать наиболее важные, существенные, значимые признаки; взять такое их количество, чтобы система получилась достаточно полной, но, в то же время, обозримой.

Безопасность – это состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех видов потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых для каждого вида значений. Структура безопасности включает ряд ее составляющих, аспектов безопасности. Ранние концепции безопасности («техника безопасности») подразумевали в качестве объекта защиты человека, так как существовавшие локальные опасности грозили именно ему.

Глобальный характер опасностей, возникших в последнее время, делают невозможным защиту конкретного индивида без обеспечения безопасности среды его обитания. Глобальным объектом защиты является система «человек – среда его обитания» – планета Земля со всем, что на ней находится [1, 3, 10]. Системным объектом защиты выступает система «человек – среда его обитания» со своими частями разного масштаба и компонентами различного содержания.

Составляющие безопасности системы «человек – среда» можно классифицировать (разделить) по следующим основаниям (морфологическим признакам):

- масштаб объекта защиты как части системы;
- безопасность системы как количественное и качественное сохранение её компонентов – материальных или нематериальных;
- безопасность системы как количественное и качественное её компонентов – внутренних или внешних по отношению к человеку.

Здесь системность выражена в том, что первый признак является количественным, размерным, масштабным, а следующие два – содержательными, сущностными по различным основаниям, при этом оси этих признаков можно считать ортогональными, а признаки – независимыми. Это делает правомерным последующий морфологический синтез.

Шаг 2 – выявление для каждого признака всевозможных значений, вариантов (табл. 1). Шаг 3 – наиболее формализованный: получив набор из 3 признаков – основных характеристик компонентов системы «человек-среда» и перечни их возможных значений (см. табл. 1), можно составить морфологическую таблицу – таблицу всех возможных сочетаний значений всех морфологических признаков (табл. 2).

Если число значений всех признаков одинаково, то число их возможных сочетаний (число классификационных групп):

$$N = n^a, \quad (1)$$

где n – число возможных значений признака; a – число признаков [9]. В нашем случае, $n_1 = 2$, $n_2 = 2$, $n_3 = 5$, то есть, $N = 2 * 2 * 5 = 20$.

Шаг 4 состоит в учёте того, что не все математически возможные (с точки зрения комбинаторики) сочетания значений признаков имеют реальный смысл. Так, на уровне объекта защиты «человек» не имеет смысла внешняя нематериальная безопасность (это отмечено в табл. 2 заливкой), на уровне «семья» – внутренняя материальная и внешняя нематериальная, на уровне «организация» – внутренняя материальная и нематериальная, на уровне «этнос» – внутренняя нематериальная, на уровне «биосфера» – внутренняя материальная и нематериальная. Таким образом, вместо 20 классификационных групп остаётся 12.

Таблица 1 – Морфологические признаки составляющих безопасности системы и их значения

Но- мер приз- нака	Группа приз- наков	Морфологический признак составляющей безопасности системы «человек – среда»	Значения морфологического признака составляющей безопасности системы «человек – среда»				
1	Размер, мас- штаб объекта защиты	Масштаб объекта защиты как части системы	Человек, личность, индивид, физичес- кое лицо	Малая семья, большая семья, род	Органи- зация, фирма, юридиче- ское лицо	Этнос, нация, конфес- сия, го- сударство	Планета, биосфера, человече- ство как вид
2	Содер- жание защи- щаемых	Безопасность системы как сохранение её мате- риальных или нематери- альных компонентов	Безопасность материальных компонентов системы (вещества и энергии)			Безопасность нематериальных компонентов системы (информации)	
3	компо- нентов сис- темы	Безопасность системы как сохранение её внутренних или внешних компонентов	Безопасность внутренних компонентов системы (человека)			Безопасность внешних компонентов системы (среды обитания человека)	
«Малая семья» – это родители с несовершеннолетними детьми (юридическое определение семьи); «большая семья» – многопоколенная, иногда с семьями братьев и сестер; «род» – несколько поколений «большой семьи», живущие в настоящем и жившие в прошлом							

Затем следует учесть, что не все из полученных 12 групп имеют самостоятельное значение. Так, материальный ущерб, нанесённый человеку (украли кошелек), семье (ограбили дом), организации (банк обанкротился) или государству (неэквивалентный обмен в международной торговле), в итоге суммируется в виде финансового или имущественного ущерба физическому лицу (это указано в табл. 2 с помощью шести стрелок).

Духовные ценности нации, подвергающиеся в настоящее время ожесточённым атакам, включают в себя, с одной стороны – корпоративную культуру отдельных (особенно, наиболее крупных и важных) организаций (церковь, армия, спецслужбы, тюрьмы, университеты, большие корпорации) [7], а, с другой стороны – отдельные элементы поведения человека как биологического вида, общие для всех рас, этносов, наций, конфессий, идеологий, государств, цивилизаций. Многие направления современной психологии рассматривают психологию индивида и семьи как неразрывное единство, причём многие проблемы человека возникают в семье и принципиально не могут быть разрешены без обращения к семье [11]. Тогда из 12 выделенных групп остаются 6 самостоятельных, которые и приняты для дальнейшего рассмотрения (табл. 2).

Таким образом, можно считать, что безопасность системы «человек – среда его обитания» включает 6 составляющих, аспектов безопасности:

- психическая, психологическая, психиатрическая безопасность;
- физическая, физиологическая, медицинская безопасность;
- экономическая, финансовая, материальная безопасность;
- духовная, цивилизационная безопасность;
- демографическая безопасность, воспроизводство народонаселения;
- экологическая, биосферная безопасность.

Шаг 5. Нетрудно заметить, что первые три аспекта – составляющие индивидуальной, личной, персональной безопасности, остальные три – коллективной, общественной, социальной (это соответствует исторической последовательности развития аспектов безопасности: человек, его имущество, государство, планета). Первый и четвёртый аспекты представляют собой нематериальную, информационную безопасность (евангельское «В начале было Слово» (Иоанна 1:1) или гегелевская «absolute Idee», «абсолютная идея» в её развёртывании), остальные – материальную, вещественную.

Таблица 2 – Классификация составляющих безопасности системы «человек – среда его обитания»

Масштаб объекта защиты	Составляющие безопасности системы «человек – среда его обитания»			
	нематериальная (сохранение информации в системе)		материальная (сохранение вещества и энергии системы)	
	внутренняя (человек)	внешняя (среда)	внутренняя (человек)	внешняя (среда)
Природа, биосфера, человечество как вид				Экологическая, биосферная безопасность (уровень безопасности природы, биосферы, природных биоценозов, человечества как вида)
Этнос, нация, конфессия, государство		Духовная, цивилизационная безопасность (расовая, этническая, конфессиональная и идеологическая идентичность; сохранение и развитие национальных, конфессиональных и идеологических морально-нравственных и духовных ценностей, установок и традиций; этноса, нации, веры, государства)	Демографическая безопасность, воспроизводство народонаселения (динамика народонаселения, рождаемость, смертность, продолжительность жизни, брачность, возраст деторождения, число детей, соотношение рождений и абортот; интенсивность эмиграции и иммиграции)	
Организация, фирма, юридическое лицо				
Малая семья, большая семья, род				
Человек, личность, индивид, физическое лицо	Психическая, психологическая, психиатрическая безопасность (уровень психического, психологического здоровья)		Физическая, физиологическая, медицинская безопасность (уровень физического, соматического здоровья, физическая форма)	Экономическая, финансовая, материальная безопасность (уровень безопасности собственности – денег и имущества)

Третий аспект – безопасность техносферы [1], шестой – биосферы [3], остальные – человека и общества [10]. В терминах биологии, второй аспект – безопасность человека

как особи, пятый – как подвида (вероятность выживания расы, этноса, нации, конфессии, цивилизации), шестой – как вида (вероятность выживания человечества).

В терминах теологии, особенно, новозаветной, человек представляет собой трихотомию – единство тела, души и духа, причём последний мыслится как надчеловеческий, что соответствует второму, первому и четвёртому аспектам безопасности. В 10 заповедях также упомянуты эти аспекты: второй (шестая), третий (восьмая, десятая), четвёртый (1, 2, 3, 4, 9), пятый (пятая, седьмая). В библейские времена первый аспект безопасности был не настолько актуален, так как личность, индивидуальность была гораздо менее выделена из общества, социума (даже слова «личность» не существовало), а шестой (последний) – в силу ничтожного в сравнении с нашим временем развития техносферы и разрушения биосферы.

Объекты защиты и системы безопасности. Установление аспектов безопасности (табл. 2) позволяет выделить частные объекты защиты. Каждому аспекту соответствуют свои показатели безопасности, объект защиты и система безопасности, кроме того, существуют комплексные системы безопасности, охватывающие несколько аспектов безопасности и объектов защиты (табл. 3). Все системы безопасности (табл. 3) предназначены для выполнения определённого набора функций. Эти функции можно объединить в две группы по признаку этапа возникновения необходимости в них.

До идентификации опасности:

- исследование опасностей, их существа, возникновения и воздействия на систему;
- разработка путей, методов и средств идентификации опасностей, их ликвидации и защиты от них;
- проведение профилактических мероприятий с целью предотвращения опасности или снижения риска (например, развитие спорта, восстановление комплекса ГТО, пропаганда здорового образа жизни, борьба с курением, алкоголизмом, наркоманией, широкое усвоение населением приёмов оказания первой помощи) [13];
- идентификация опасности с указанием её пространственно-временных координат, количественных и качественных характеристик.

После идентификации опасности:

- если возможно, ликвидация опасности, исходя из концентрации опасных факторов и остаточного риска [13];
- защита от опасности или помощь при воздействии опасного фактора на основе сопоставления затрат и выгод;
- физическая, психическая и экономическая реабилитация и поддержка жертв воздействия после защиты или оказания помощи;
- ликвидация последствий воздействия опасности на биосферу, техносферу и общество.

Среди систем безопасности, созданных государством, церковью или международными организациями, можно выделить частные (касающиеся одного аспекта безопасности) и комплексные (касающиеся определённой опасности, затрагивающей ряд аспектов безопасности). Так, уголовное право делит всю совокупность криминальных проявлений на имущественные преступления (кража, мошенничество – третий аспект безопасности) и преступления против личности (убийство, изнасилование – второй аспект безопасности). Некоторые преступления (разбой, грабёж) сочетают в себе признаки преступлений первой и второй групп. Все преступления затрагивают и первый аспект безопасности – наносят психическую травму, вызывают посттравматический стресс. Поэтому правоохранительная система является комплексной системой безопасности.

Историческим приоритетом обладают системы обеспечения безопасности человека, который на всех этапах своего развития стремился к обеспечению комфорта, личной безопасности, сохранения здоровья. Это стремление и сейчас является мотивацией большинства поступков человека. На фундаментальное значение безопасности в сфере

потребностей человека указывал, в частности, А. Маслоу («пирамида потребностей Маслоу»). Всё ещё слаба система демографической защиты государства, хотя важность её первостепенна.

Таблица 3 – Аспекты и показатели безопасности, объекты защиты и системы безопасности

№ п.п.	Аспект безопасности	Показатели составляющей, аспекта безопасности	Объект защиты	Частная система безопасности	Комплексные системы безопасности
1	Психи- ческая, психоло- гическая, психиат- рическая	Уровень психического, психологи- ческого здоровья. Частота суицида, психологических травм и проблем, неврозов, психозов, межличностных конфликтов, психических заболеваний, преступлений	Психи- ческое, психоло- гическое здоровье человека	Система пси- хологической, психотера- певтической и психиатриче- ской помощи	Система охраны труда (физические и психи- ческие профзабо- левания и травмы; уровень механизации, автома- тизации и роботизации в производ- ственной среде) Правоох- ранительная система МЧС, ГО (войны и катастрофы) Армия, органы внутренней и внешней безопасности, дипломатия
2	Физи- ческая, физиоло- гическая, меди- цинская	Уровень физического, соматического здоровья, физическая форма. Уровень травматизма, заболеваемость соматическими, в том числе, заразными заболеваниями (СПИД, сифилис и другие заболевания, передающиеся половым путём, туберкулёз и другие)	Человек как особь Физическое, сомати- ческое здоровье человека	Система здра- воохранения, финанси- рования медицины, медицинского страхования	
3	Эконо- мическая, финан- совая	Уровень безопасности собственности – денег и имущества, материальных ценностей. Размер утрат и обесценивания денег (вкладов, сбережений) и имущества человека; риски для малого, среднего и крупного бизнеса; уровень развития страхового дела (степень страхового покрытия убытков); темпы инфляции, роста цен, стоимости жизни	Собствен- ность – деньги и имущество человека Техносфера Земли	Страховые организации Социальная система (пособия, жильё) Помощь нищим, голодным, бездомным	
4	Духов- ная, цивилиза- ционная	Расовая, этническая, конфессиональная, идеологическая, половая идентичность; сохранение и развитие национальных, конфессиональных и идеологических морально-нравственных и духовных ценностей, установок и традиций; этноса, нации, веры, государства	Духовное достояние этноса, нации, конфессии, государства	Церковь, государство, образователь- ные, научные и культурные организации, СМИ	
5	Демогра- фическая, воспроиз- водство народона- селения	Динамика народонаселения, рождаемость, смертность, продолжительность жизни, брачность, возраст деторождения, число детей, соотношение рождений и аборт; интенсивность эмиграции и иммиграции, этническая и конфессиональная структура	Челове- ческий капитал этноса, нации, конфессии, государства	Государство, церковь	
6	Эколо- гическая, био- сферная	Уровень безопасности природы, биосферы, природных биоценозов, человечества как вида. Изменение климата, загрязнение почвы, воды и атмосферы. Истощение и разрушение биосферы, природных биоценозов, обеднение генофонда	Природа, биосфера, человече- ство как вид, как популя- ция	Охрана природы	

Перечень показателей безопасности является достаточно устойчивым, однако относительная важность и аспектов безопасности и отдельных её показателей очень различается в зависимости от этнических, конфессиональных и культурных особенностей, а также конкретной ситуации и типа возникшей опасности. Иерархия важности, значимости отдельных аспектов и показателей безопасности определяет иерархию важности (доля выделяемых ресурсов) и срочности защитных мероприятий.

Так, например, при капитализме «частная собственность священна и неприкосновенна», особенно, на Западе, в то же время большинство религий резко осуждает стяжательство, корыстолюбие, примат материальных интересов (аспект 3). Достаточно вспомнить изгнание торгующих из храма Иисусом Христом (Иоанна 2:15). Сегодня же храмы строят торгующие для торгующих.

Кроме указанных основных показателей безопасности (табл. 3), в отдельных ситуациях приобретают важное значение и другие, например, для системы здравоохранения – безопасность самих медработников (маски, перчатки, достаточный отдых после операций и ночных дежурств), частота (вероятность) медицинских ошибок и неоказания помощи и ответственность за них, скорость оказания первой помощи (так, критическое время приезда скорой помощи в Берлине – 7–10 минут, в Бранденбурге – сельской местности – 20 минут).

Частным и комплексным системам безопасности соответствуют частные и комплексные показатели безопасности. Так, согласно опыту консультирования пострадавших, значимая для многих людей безопасность секса включает психологическую – отсутствие стыда, страха, боли, вины, унижения, физиологическую – безопасность от нежелательной беременности, медицинскую – от заражения ЗППП и социальную – от нежелательной огласки, разглашения интимной информации, осуждения общества. Такой важный комплексный показатель объединяет показатели нескольких аспектов безопасности.

Сущность и классификация вредностей и опасностей, их воздействия. Центральным понятием БЖД является опасность. Мир опасностей, угрожающих человеку, весьма широк и разнообразен, их перечень расширяется, а масштаб непрерывно нарастает. В природных, производственных, городских, бытовых условиях на человека одновременно воздействует целый комплекс негативных факторов.

Опасности – это объекты, явления и процессы, способные в определенных условиях прямо или косвенно причинять ущерб людям, биосфере, техносфере и обществу. Опасности реализуются в виде вещества, энергии и информации, они существуют в пространстве и во времени. Различают опасности естественного и антропогенного происхождения. Естественные источники опасности заключены в биосфере [3], антропогенные – в жизнедеятельности человека, техносфере [1] и обществе.

Вредным называют фактор, воздействие которого на человека может привести к заболеванию, опасным – к травме или летальному исходу. В более общей трактовке, вредный – это постепенно действующий фактор (курение, наркомания, недоедание, старение населения, загрязнение атмосферы, инфляция), опасный – внезапно (убийство, изнасилование, обстрел города, взрыв трубопровода, банкротство банка, захват территории, обрушение сайта). Аналогично, в теории надёжности различают постепенные и внезапные отказы – выходы из строя машины, человека или человеко-машинной системы.

Различают следующие группы опасных и вредных факторов: физические (метеорологические, механические, звуковые, электрические, световые, электромагнитные, лучевые) – перемещающиеся предметы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, загазованность и запыленность рабочей зоны, повышенный уровень шума, повышенный уровень напряжения в электросети, замыкание которого может произойти в теле человека, повышенный уровень электромагнитных полей [5] и ионизирующего излучения, недостаточная или чрезмерная освещенность

рабочей зоны; повышенный уровень инфракрасного и ультрафиолетового излучения; химические (раздражающие вещества); биологические (макро- и микроорганизмы); психофизиологические (физические перегрузки (статические нагрузки, динамические нагрузки, гиподинамия); нервно-эмоциональные нагрузки (умственное перенапряжение; переутомление; перенапряжение анализаторов (кожных, зрительных, слуховых и т. д.); монотонность труда; эмоциональные перегрузки) [6, 10]; информационные и кибернетические [2, 12].

Предложенная новая, расширенная и обобщённая классификация вредных и опасных факторов базируется на учёте не одного, а двух признаков: не только сущности фактора, но и источника его возникновения. Тогда можно выделить 7 основных групп вредных и опасных факторов.

1. Природные, биосферные, экологические – космические, геологические, метеорологические, биологические (источник – природная среда) [3]:

- изменения глобального климата, истощение озонового слоя атмосферы, загрязнение атмосферы, температурные инверсии, кислородный голод в городах, кислотные дожди, образование фотохимического смога, возникновение парникового эффекта;

- загрязнение грунтов вредными веществами (радиоактивные вещества, диоксины), деградация почв, опустынивание и засоление, дефицит пресной воды;

- загрязнение океана, поверхностных и подземных вод вредными веществами, гибель фитопланктона – основы пищевой цепочки в океане и важного источника кислорода;

- обеднение генофонда планеты, исчезновение многих видов животных и растений, сведение лесов – важнейшего регулятора природной среды;

- нарастание частоты и интенсивности природных катастроф, катаклизмов – землетрясений, наводнений, цунами, извержений вулканов, магнитных бурь.

2. Технические вредности и опасности являются следствиями роста мощности, энергоёмкости и опасности техники, абсолютного и относительного роста широты и глубины техносферы, роста опасности техносферы в целом (источник – техносфера, её развитие вширь и вглубь, в сочетании с халатностью, неосторожностью, некомпетентностью персонала) [1]:

- насыщение околоземного пространства «космическим мусором» – отработавшими искусственными небесными телами;

- рост масштаба и опасности техногенных катастроф (пожары и взрывы военной техники, складов, атомных и химических объектов, заводов, электростанций, трубопроводов, танкеров);

- технические опасности от армии (рост армий и их вооружённости, потребление энергии и материалов, убытки от учений, взрывы техники и боеприпасов, уничтожение биосферы);

- технические опасности на производстве – производственные травмы и профзаболевания (так, шахты Украины – одни из самых опасных в мире);

- технические опасности и вредности на транспорте (аварии, техническое состояние дорог и транспортных средств, огромное количество раненых и погибших, уровень выхлопа) и в городе (гололёд, неосвещённые улицы);

- технические опасности в быту, в доме.

3. Демографические (источник – процесс воспроизводства народонаселения, в сочетании с неэффективной политикой властей):

- достижение предела экстенсивного роста народонаселения;

- старение населения и уменьшение доли работоспособного населения;

- изменение структуры населения (расовой, этнической, конфессиональной, культурной) в результате различия темпов воспроизводства разных групп населения в связи с регулированием рождаемости (контрацепция, аборт, правовое регулирование,

помощь детям и семьям);

- изменение структуры населения в результате масштабной миграции населения, спасающегося от войн, голода и нищеты в связи с регулированием миграции.

4. Социально-экономические (источник – социальные и экономические процессы в обществе):

- общий рост производства, потребления и развития инфраструктуры; дефицит ресурсов Земли;

- финансово-экономические кризисы, инфляция, рост цен и стоимости жизни;

- повышение неравномерности потребления, нищета, голод, бездомность, недоступность медицинской помощи;

- распространение табакокурения, алкоголизма, наркомании, употребления иных психоактивных веществ (F10-F19 по МКБ-10), расстройств приема пищи (F50), игровой (патологического влечения к азартным играм F63.0) и других зависимостей, расстройств половой идентификации (F64) и сексуальных предпочтений (F65), расстройств, связанных с половым развитием и ориентацией (F66), повышение их криминализации и социальной опасности;

- общий рост заболеваемости, снижение иммунитета, появление новых заболеваний и штаммов микроорганизмов, повышение устойчивости возбудителей к медикаментам, неконтролируемые эпидемии СПИДа и туберкулёза в нашей стране.

5. Криминально-правовые (источник – преступления людей и организованных групп):

- количественный и качественный рост преступности, её омоложение и феминизация; рост имущественных преступлений (коррупция, рейдерство – незаконный захват предприятий, передел собственности), рост преступлений против личности (травмы, инвалидность, убийства; изнасилования, похищения людей, торговля людьми, в том числе, детьми, убийство с целью использования органов); возрождение пиратства;

- частота (вероятность) и тяжесть судебных ошибок, доля жертв преступности в обществе и уровень помощи им;

- увеличение количества оружия в личном пользовании и числа людей с оружием в обществе, насилие армии в мирное время против военнослужащих и гражданских лиц;

- кибернетические вредности и опасности (число вариантов вредоносных программ превышает 250 млн.; ежемесячно в ФРГ происходит не менее миллиона заражений; ежемесячно выявляются 11 000 программ кражи личных данных в Германии; кибератака на торговую платформу eBay в 2014 году затронула 145 миллионов клиентов; за 2013 год в Германии учтено более 64.000 киберпреступлений, что составляет лишь небольшую их часть [12]).

6. Военно-политические (источник – деятельность государства, его армии, военно-промышленного комплекса, дипломатии, спецслужб, а также надгосударственных структур):

- непрекращающаяся гонка вооружений, увеличение численности армий, количества и мощности накопленного оружия, военных баз на чужой территории, частных армий;

- войны, вооружённые конфликты и управляемый терроризм с целью передела мира, сфер влияния, установления регионального и мирового военного, экономического, политического и культурного господства;

- интенсивная финансовая, экономическая и культурная эксплуатация «новых колоний», разница в уровнях потребления «новых колоний» и «новых метрополий»; непрерывное массированное вмешательство во внутренние дела «суверенных» государств под предлогами защиты «прав человека» и насаждения «демократии».

7. Культурно-информационные (источник – организованная целенаправленная деятельность агрессора) – духовные, цивилизационные, нравственные, идеологические (цель – утрата этнической идентичности и конфессионального единства, высших

ценностей и патриотизма, способности жертвовать во имя рода и Родины, нравственное разложение):

- религиозно-конфессиональные (внутренняя и внешняя активность церквей, направленная на изменение идеологии церкви, влияния церкви на общество и конфессиональной структуры общества): миссионерская деятельность, раскол церквей, развитие ересей, сектантства, создание новых культов;

- культурно-рекреативные: культурный империализм и глобализм, расширение и развитие секс-индустрии, пропаганда аморальности и нравственной вседозволенности, половых извращений, жестокости и насилия, культа потребления и наживы, стимулирование табакокурения, алкоголизма, наркомании, пищевой, игровой и других зависимостей;

- научно-идеологические: широкий сбор и изучение материалов, разработка научных и идеологических основ, теории и практики культурного империализма и глобализма, манипуляции сознанием и информационных войн;

- информационные войны: цензура, ограничение, лишение средств и уничтожение независимых книгоиздательств, киностудий, радиовещания, СМИ; подготовка, выпуск и распространение развращающей литературы, кино-, видео- и аудиопродукции, произведений изобразительного искусства; создание СМИ деструктивной направленности (реклама, журналы, газеты, радио, телевидение, Интернет); организация общественных мероприятий (выставки, пресс-конференции, презентации, встречи, парады, пикеты, демонстрации, блокады).

Среди демографических опасностей - неотвратимое старение населения, особенно заметное в Европе, а, ещё больше – в Украине, а также изменение демографической структуры населения. Так, в Германии за счёт социальных пособий живут 8 % немцев, 24 % – выходцев из Африки [14, С. 63]. Через несколько лет каждый второй житель Германии до 40 лет будет иметь не немецкое происхождение.

Из социально-экономических факторов, например, для Германии опасным считается падение темпов роста ВВП: в 1960-е годы – 4,8 %, в 1970-е – 3,3 %, в 1980-е – 2,0 %, в 1990-е – 1,6 %, в 2000-е – 1,1 % [14] (Для сравнения: в России с 1908 по 1917 год – 7 %, в СССР с 1916 по 1965 – 18,1 % с учётом двух войн, с 1970 по 1990 – 4 %). Это сопровождается ростом социальных расходов (с 11,2 % ВВП в 1960 г. до 20,5 % в 2010 г.), ростом безработицы (1 % в 1960-е годы, 10,6 % в 2000-е годы), снижением длительности рабочей недели (в 1960-е годы – 2,062 часов в год на работающего, в 2000-е – 1,437) [14].

Одной из критических областей возникновения спектра культурно-информационных опасностей является образование. Отечественное высшее образование настойчиво подвергается «болонизации» с соответственным снижением его уровня, в школы вместо обучения внедряется ЕГЭ. В Германии этот процесс уже продвинут дальше: немецкий школьник по уровню подготовки отстаёт от украинского на 2–3 года, менее 10 % учащихся способны усвоить курс математики. Доля немцев с высшим образованием – 20 %, а турков, живущих в Германии (крупнейшая диаспора Германии) – 2 % [14, С. 284] (на Украине – 40 %).

Информационные войны возможны лишь в условиях жёсткой координации действий сотен организаций из единого центра. Они основаны на современных методах манипуляции сознанием, блокированию доступа к источникам информации [2]. Степень цензуры, идеологической фильтрации материалов в современных «демократических» СМИ намного превышает таковую в СССР во времена так называемого «железного занавеса». Целью является создание виртуального образа мира, не соответствующего реальному. Как пример – в «мировом рейтинге» вузов отечественные университеты умышленно поставлены составителями на смехотворно низкие позиции, не соответствующие их реальному уровню.

Нобелевский комитет присуждает самые престижные премии также «с уклоном» одним странам, а в других выбирает исключительно «диссидентов» и агентов влияния.

То же касается шоу-бизнеса, многочисленных музыкальных, вокальных и танцевальных конкурсов, где профессиональные достижения кандидатов всегда приносятся в жертву их политической лояльности. Поэтому с такой силой и настойчивостью Голливуд продвигает миф о «fair play», «честном соревновании», как основе общественной жизни «развитых» стран.

Совокупная мощность воздействия вредных и опасных факторов в нашей стране весьма высока, а уровень безопасности в целом и по отдельным аспектам очень низок. Как и всегда в истории, всё начинается с духовного разложения, затем подрываются основы психики людей, разрушается техносфера (продолжающееся уничтожение экономики Украины в «мирное» время не имеет прецедентов во всей мировой истории), ухудшается здоровье людей и, наконец, начинается вымирание нации, гибнет природа страны, вырубаются леса, уничтожается флора и фауна. При подъезде к столице не видно ни одной надписи на родном языке – только на языке метрополии: «MacDonalds», «Coca-Cola», «Marlboro» и т.п. В Киеве исчезла национальная кухня, огромное большинство питается завозным «фастфудом». В кинопрокате безраздельно господствует Голливуд, детские фильмы превратились в фильмы ужасов – таковы зримые признаки культурного империализма.

На основании классификации аспектов безопасности и видов опасности можно установить основные связи между ними (табл. 4).

Таблица 4 – Схема влияния основных опасных и вредных факторов на человека и среду его обитания

Группы опасных и вредных факторов	Основные опасные и вредные факторы	Безопасность					
		человека(индивидуальная)			общества (коллективная)		
		экономическая, финансовая	физическая, физиологическая	психическая, психологическая	экологическая, биосферная	демографическая	духовная, цивилизационная
1	2	3	4	5	6	7	8
Экологические	Изменения климата, загрязнения	+	–	–	+	–	–
	Природные катастрофы	+	+	+	–	–	–
Технические	Техногенные катастрофы	+	+	+	–	–	–
	Технические опасности в армии и на производстве	+	+	+	–	–	–
	Технические опасности на транспорте (аварии), в городе	+	+	+	–	–	–
	Технические опасности в быту, в доме	+	+	+	–	–	–
Демографические	Рост и старение народонаселения	+	–	–	+	–	–
	Изменение структуры населения	–	–	–	–	+	+
	Миграция, бегство от войн и голода	+	–	–	–	–	+
Социально-экономические	Рост потребления и производства	–	–	–	+	+	–
	Инфляция,экономические кризисы	+	–	–	–	–	–
	Неравномерность потребления, нищета, голод, бездомность	+	+	+	–	–	–
	Табакокурение, алкоголизм, наркомания, другие зависимости	+	+	+	–	–	+
	Болезни, в т.ч. новые, заразные	+	+	+	–	+	–

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Крими-нально-право-вые	Имущественные преступления	+	–	+	–	–	–
	Преступления против личности, в т.ч. похищения людей, торговля людьми, органами людей	–	+	+	–	–	–
	Правовые ошибки	+	–	+	–	–	–
Военно-полити-ческие	Гонка вооружений, рост армий, количества и мощности оружия	+	–	–	+	–	–
	Войны, вооружённые конфликты, терроризм, передел мира	+	+	+	+	+	+
	Экономическая эксплуатация одних государств другими	+	–	–	–	–	+
Куль-турно-инфор-маци-онные	Миссионерская деятельность, раскол церквей, развитие ересей, сектантства, новых культов	–	–	+	–	–	+
	Культурный империализм и глобализм, секс-индустрия, алкоголизм, наркомания	–	–	+	–	–	+
	Разработка теории и практики информационных войн	–	–	+	–	–	+
	Информационные войны через ли-тературу, кино, журналы, газеты, радио, телевидение, Интернет	–	–	+	–	–	+

При подробном рассмотрении все зависимости многофакторны («всё зависит от всего»). Так, общая заболеваемость, заболеваемость заразными заболеваниями, могущими привести к эпидемиям, структура заболеваемости, выживаемость заболевших зависят и от природных факторов (климат, переносчики заболевания), и от технических (производственные вредности и опасности), и от социальных (недоедание, курение), и от системы защиты. Кроме того, в XXI веке опасности и угрозы приобретают все более комплексный взаимоувязанный характер. Войны вызывают чрезвычайные ситуации в техногенной, социальной, экологических сферах. Технические катастрофы индуцируют природные катаклизмы, и, наоборот, природные бедствия пагубно влияют на техногенную безопасность.

Вывод: морфологический анализ и синтез структуры безопасности жизнедеятельности позволяет

- реализовать более широкий, системный и эффективный подход к вопросам безопасности (инструментальный аспект);
- представить структуры безопасности в формализованном, достаточно полном и, в то же время, компактном виде (результативный теоретический аспект);
- более чётко позиционировать решение частных задач безопасности (результативный практический аспект).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов С. В. Техносфера: аспекты безопасности и экологичности / С. В. Белов. // Вестник МГТУ. – М., 1998. – Сер. ЕН, № 1.
2. Броуди Р. Психические вирусы. Как программируют ваше сознание / Р. Броуди. – М. : Поколение, 2007. – 306 с.
3. Бурдіян Б. Г. Навколишнє середовище і його охорона / Б. Г. Бурдіян. – К. : Вища школа, 1999. – 227 с.
4. Губський А. І. Цивільна оборона / А. І. Губський. – К. : Міносвіти, 1995. – 216 с.
5. Евдокимова В. А. Контроль электромагнитного излучения в производственной

рабочей зоне и на судах / В. А. Евдокимова, В. А. Маслов, О. Н. Товстокорый, В. В. Подобед // Научный вестник Херсонской государственной морской академии : научный журнал. – Херсон : Издательство ХДМА, 2014. – № 1 (10). – С. 16–21.

6. Законодавство України про охорону праці : збірник нормативних документів. – К. : Поліграфкнига, 1995.

7. Корпоративная культура: аспекты управления / [Г. Л. Хае, А. Л. Еськов, Л. Г. Хае и др.] – Донецк : Донбасс, 2003. – 400 с.

8. Д. С. Христос и Антихрист. Том 2. Воскресшие боги (Леонардо да Винчи) / Д. С. Мережковский. – К. : Дніпро, 1992. – 607 с.

9. Одрин В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989. – 310 с.

10. Пістун І. П. Безпека життєдіяльності / І. П. Пістун. – Суми : Університетська книга, 1999. – 301 с.

11. Эйдемиллер Э. Г. Психология и психотерапия семьи / Э. Г. Эйдемиллер, В. Юстицкис. – СПб. : Питер, 1999. – 656 с.

12. Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014. – Bonn: BSI, 2014. – 44 p.

13. Kjellen U., Hovden J. Reducing risks by deviation control – a retrospection into a research strategy. – Safety Science, 1993, 16. – Pp. 417–438.

14. Sarrazin T. Deutschland schafft sich ab. Wie wir unser Land aufs Spiel setzen. – München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2010. – 373 p.

15. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach. – New York : McMillan, 1969. – 276 p.

REFERENS

1. Belov S. V. (1998). Tekhnosfera: aspekty bezopasnosti i ekologichnosti. *Vestnik MGTU, ser. EN, № 1*.

2. Broudi R. (2007). *Psikhicheskiye virusy. Kak programiruyut vashe soznaniye*. M. : Pokoleniye.

3. Burdiiyan B. G. (1997). *Navkolishne seredovishche i yogo okhrona*. Kiev : Vishcha shkola.

4. Gubskiy A. I. (1995). *Tsivilna oborona*. Kiev : Minosviti.

5. Evdokimova V. A., Maslov V. A., Tovstokoryy O. N. & Podobeda V. V. (2014). Kontrol elektromagnitnogo izlucheniya v proizvodstvennoy rabochey zone i na sudakh. *Naukoviy visnik KhDMA: Naukoviy zhurnal, Kherson : Vidavniststvo KhDMA, 1 (10)*, 16–21.

6. Zakonodavstvo Ukraini pro okhronu pratsi (1995). *Sbirnik normativnikh dokumentiv*. Kiiv: Poligrafkniha.

7. Khayet G. L., Eskov A. L., Khayet L. G. et al. (2003). *Korporativnaya kultura: aspekty upravleniya*. Donetsk : Donbass.

8. Merezhkovskiy D. S. (1992). *Khristos i Antikhris. Tom 2. Voskresshiye bogi (Leonardo da Vinchi)*. K. : Dnipro.

9. Odrin V. M. (1989). *Metod morfologicheskogo analiza tekhnicheskikh sistem*. M. : VNIIP.

10. Pistun I. P. (1999). *Bezpeka zhittediyalnosti*. Sumi: Universitetska kniga.

11. Eydemiller E. G. & Yustitskis V. (1999). *Psikhologiya i psikhoterapiya semi*. SPb. : Piter.

12. Kjellen U. & Hovden J. (1993). Reducing risks by deviation control – a retrospection into a research strategy. *Safety Science*, 16, 417–438.

13. Sarrazin T. (2010). *Deutschland schafft sich ab. Wie wir unser Land aufs Spiel setzen*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.

14. Zwicky F. (1969). *Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach*. New York: McMillan.

Євдокимова В. А., Хаст Л. Г. МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО СТРУКТУРИ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Актуальність роботи обумовлена тим, що загальноприйнятий набір складових компонентів безпеки відсутній, підстави їх класифікації та загальна структура безпеки життєдіяльності все ще є предметом дискусії. Метою роботи є побудова формалізованої, ширшої та більш повної структури системної безпеки, уточнення списку її складових за допомогою її морфологічного аналізу та синтезу. Виділено три основні ознаки складових безпеки системи, а також їх можливі значення. На цій основі реалізований морфологічний підхід до структури безпеки життєдіяльності, проведений морфологічний аналіз і синтез структури безпеки з урахуванням об'єкта та його середовища, наведено перелік джерел небезпеки на основі формалізованого підходу, складена схема впливу основних небезпечних і шкідливих факторів на людину та середовище її проживання. Морфологічний аналіз і синтез структури безпеки життєдіяльності дозволив реалізувати більш широкий, системний і ефективний підхід до питань безпеки; подати структури безпеки в формалізованому, досить повному і, в той же час, компактному вигляді; більш чітко позиціонувати рішення часткових завдань безпеки.

Ключові слова: безпека життєдіяльності, структура безпеки, джерела небезпеки, морфологічний аналіз, морфологічний синтез.

Evdokimova V. A., Khayet L. G. MORPHOLOGICAL APPROACH TO THE STRUCTURE OF LIFE SAFETY

Relevance of the work due to the fact that a common set of components of the safety components is missing, the base of their classification and the overall structure of life safety are still the subject of debate. The aim is to construct a formal, broader and more comprehensive system safety structure, clarifying its list of components using its morphological analysis and synthesis. Three main features of the system safety components and their possible values. On this basis, implemented the morphological approach to life safety structure, conducted morphological analysis and synthesis of safety structures in view of the object and its environment is a list of sources of danger on the basis of a formalized approach, the impact of major circuit composed of hazardous and harmful factors on man and his environment. Morphological analysis and synthesis of life safety framework has allowed to implement a broader, systematic and effective approach to safety issues; present safety structure in a formalized, quite full and at the same time, a compact form; more clearly position the decision of partial safety tasks.

Keywords: life safety, safety structure, sources of danger, morphological analysis, morphological synthesis.

© Євдокимова В. А., Хаст Л. Г.

Статтю прийнято
до редакції 04.06.16

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Соколов А. Е., к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета, E-mail: sokol8484@inbox.ru;

Соколова О. В., к.т.н., старший преподаватель кафедры экономической кибернетики и управления проектами Херсонского национального технического университета, E-mail: kntu-ek@rambler.ru

В статье рассмотрены вопросы качественной профессиональной подготовки специалистов в области морских перевозок с применением новых парадигм образования, к числу которых можно отнести парадигму, основанную на компетентностном подходе. Проанализированы подходы к решению задачи повышения эффективности и качества обучения за счет использования информационных технологий. Сформулирована задача оптимального управления процессом накопления знаний и обоснован метод её решения с использованием энтропийных мер информации.

Введение. В настоящее время все острее встает вопрос качественной профессиональной подготовки специалистов, в области морских перевозок в том числе. На его решение направлено применение новых парадигм образования, к числу которых можно отнести парадигму, основанную на компетентностном подходе. Несмотря на то, что ввиду постоянно увеличивающегося объема доступной информации современные подходы невозможны без использования информационных технологий, тем не менее, задача повышения эффективности и качества обучения за счет использования информационных технологий далека от своего решения. Одной из основных проблем в задаче накопления информации является все более возрастающий поток неинформативных, а иногда попросту ложных сообщений, хранение которых не имеет смысла, а чаще всего приносит ощутимый вред. Достаточно войти в Интернет и оценить информацию практически по любому разделу или событию. Таким образом, исследования, посвященные дальнейшему развитию систем управления процессом компьютеризированного обучения, созданию для этих целей информационных технологий накопления информации, специального математического и программного обеспечения для решения широкого круга задач, возникающих в процессе обучения, являются актуальными.

Постановка задачи. Очевидно, что компьютеризированную систему обучения можно рассматривать как частный случай системы накопления информации. Анализ литературных источников, посвященных созданию оптимальных систем накопления знаний, проведенный в [1], показывает, что представление моделей системы обучения с использованием традиционных стохастических моделей не позволяет получить адекватные продуктивные алгоритмы обучения, так как процесс обучения можно назвать стохастическим с большой натяжкой. Поэтому сложность процесса требует его описания с позиции обобщенных переменных. Естественным подходом в этом случае является использование информационных методов [1, 2]. При использовании этих методов ставится задача получения оценок количества информации с использованием энтропийных мер информации.

Целью данной статьи является постановка задачи оптимального управления процессом накопления знаний и обоснование методов её решения с использованием энтропийных мер информации.

Основная часть. С целью получения алгоритма обучения, оптимального по отношению к предлагаемым функционалам цели: повышения эффективности и качества обучения, рассмотрим задачу оптимального управления процессом накопления знаний.

Исходя из модели для информационного пространства [3] с нормой:

$$\|a_i\|_I = -\log_a P_i,$$

и метрикой:

$$\alpha(a_i, a_j)_I = -\log_a P(a_j / a_i),$$

обучение рассматривается как формирование ожидаемых величин:

$$\begin{aligned} M\{\|a_i\|\} &= M\{-\log_a P_i\} = H_i, \\ M\{\alpha(a_i, a_j)_I\} &= M\{-\log_a P(a_j / a_i)\} = H_{i/j}, \end{aligned} \quad (1)$$

где H_i – это ожидаемая информация i -го сообщения, а $H_{i/j}$ – расстояние, которое соответствует гипотезе, что i -тое сообщение a_i соответствует j -му образу a_j .

Таким образом, речь идет о формировании энтропии системы по отношению к i и j объектам – информационным сообщениям. Естественно в таком случае рассматривать память системы, где накапливается отложенная – ожидаемая реакция. Проведенный сравнительный анализ различных подходов к измерению энтропии: классической термодинамической энтропии Р. Клаузиуса, энтропии Л. Больцмана, энтропии Дж. Гиббса, энтропии Кульбака, энтропии Крылова-Колмогорова-Синяя, информационной энтропии К. Шеннона, показал непригодность их применения в случае информационного пространства.

Таким образом, будем рассматривать обучение как движение в информационном пространстве с вектором состояния $\vec{H}$, имеющим компоненты $H_1, \dots, H_n$:

$$\vec{H} = \begin{Bmatrix} H_1 \\ \dots \\ H_n \end{Bmatrix}, \quad \vec{H}_i = \begin{Bmatrix} H_{i/1} \\ \dots \\ H_{i/m} \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где индекс i/j указывают на условный характер распределения.

В условиях сделанных предположений в системе обучения есть обучающий как источник сообщения (информации, образа) и обучающий как приемник информации, который тоже формирует (генерирует) ответное сообщение. Сообщение, генерируемое приемником, связано с выдвижением приемником гипотезы, что i -тое сообщение соответствует j -тому образу.

Для измерения количества информации (1), (2) необходимо измерить отклонение события от гипотезы, а для этого, определить метрику.

Обозначив вектор, который формирует обратная связь [4] $H_j = \vec{U}$, вектор отклонения гипотезы и события $H_{i/j} = \Delta \vec{H}$ и вектор информации, поступающей из внешней среды вне системы обучения $\vec{H}_k = V$. Учитывая время $\vec{H} = \vec{H}(t)$; $\Delta \vec{H} = \Delta \vec{H}(t)$, $\vec{U} = \vec{U}(t)$, наблюдения на выходе $\vec{Y} = Y$ и возмущения $\vec{G} = \vec{G}(t)$ получаем линеаризованную модель динамической системы в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dot{H}(t) = A(t)H(t) + B(t)U(t) + G(t)V(t), \\ Y(t) = C(t)H(t) + D(t)U(t) + Q(t)V(t) \end{cases}$$

где A – матрица объекта, которая описывает динамику движения объекта при отсутствии управления, B – матрица управления, которая описывает влияние компонент вектора управления на объект, G – матрица возмущений, которая описывает воздействие внешней среды на объект, матрица C – матрица выхода, которая описывает взаимодействие объекта

с внешней средой, D – описывает влияние управления на выход, Q – влияние возмущений на выход.

Учитывая особенности обучения (неважно, классического или компьютеризированного), естественно предположить, что скорость изменения матрицы A много меньше, чем скорость изменения вектора H , а матрицы C , D , G квазистационарные.

Для сформулированной модели динамики накопления знаний следует поставить задачу оптимизации. Для определения скорости изменения знаний при свободном движении системы, то есть, другими словами, скорости потери информации, необходимо определить собственные числа матрицы A . Элементы других матриц полученной системы определяют чувствительность к воздействиям.

Полученная модель описывает динамику накопления знаний в пространстве, где сложно оценить переменные состояния. В предположении первичности информации, модель в пространстве функционалов цели будет иметь вид:

$$\vec{J} = \vec{J}(\vec{H}, c).$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\vec{J}}{dt} &= A(t)\vec{J}(t) + B(t)U(t) + G(t)\vec{d}(t) \\ Y(t) &= C(t)J(t) + D(t)U(t) + Q(t)\vec{d}(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Формирование оценки предполагает, во-первых, стационарность процесса и, во-вторых, выпуклость функционала. Предположение выпуклости ведет к квадратичному функционалу – критерию цели:

$$R = \int_{t_0}^{t_j} (\vec{J}^T S \vec{J} + \vec{U}^T V \vec{U}) dt. \quad (4)$$

Тогда оптимизационная задача формулируется таким образом:

$$\left. \begin{aligned} \vec{J}^*, \vec{U}^* &\rightarrow \min R, \\ \begin{cases} R(t_0) = R_0 \\ R(t_j) = R_j \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

с ограничениями в виде системы (3).

Данная задача соответствует задаче накопления знаний с минимальными затратами и может решаться с использованием известного алгоритма АКОР.

Если говорить о задаче с максимальным быстродействием:

$$\vec{J}^*, \vec{U}^* \rightarrow \min T,$$

при граничных условиях:

$$\begin{cases} R(t_0) = R_0 \\ R(t_j) = R_j. \end{cases}$$

Решение этой задачи приводит к теореме об n -интервалах, где n – равно числу рассматриваемых гипотез, а стратегия накопления знаний подразумевает учет заданий на каждом этапе. При рассмотрении предела при неограниченных ресурсах воздействия задача переходит в задачу о скользящем режиме: предусматривается максимальный объем входных знаний и максимально быстрое забывание за счет переключения потока.

Для определения оптимальной стратегии формирования информационного потока в процессе накопления знаний в системе компьютеризированного обучения необходимо построить математическую модель процесса восприятия информации и накопления

знаний. При построении модели, прежде всего, необходимо определить то множество, с элементами которого мы имеем дело в процессе восприятия информации и накопления знаний. За основу возьмем концепцию описания поведения агента как процесса взаимодействия с внешней средой. Будем рассматривать множество Ω , элементы которого ω_i являются конкретными объектам или явлениями внешней среды. Так как каждое событие, явление или объект связан с его представлением в виде сигнала или последовательности сигналов, определим это соответствием

$$\Gamma: \omega_i \rightarrow \xi_i.$$

Основополагающей в наших рассуждениях является гипотеза о том, что в основе **всех** явлений внешнего мира лежит определенная причина, которую можно считать связанной с получением информации, то есть явления можно отождествлять с информацией. В **этом** случае предположение функциональности связи позволяет считать, что представление объекта изучения определяется информацией, которая описывает объект. Действительно, при описании явления производится формирование сообщения о существенных особенностях объекта.

Использование понятия агента для описания объекта процесса восприятия информации и накопления знаний – обучаемого дает возможность определить разумность обучаемого через «разумность» агента как стремление к достижению определенной цели.

При компьютеризированном обучении, в зависимости от индивидуальных особенностей обучаемого, эта цель может быть поставлена искусственно или существовать естественно, но в любом случае поведение агента описывается оптимизационной задачей с ограничениями. Исходя из предположения, что конкретная функция цели f_i принадлежит множеству функций цели F , можно считать, что каждое сообщение изменяет текущее значение функции цели в зависимости от полученной информации I_i :

$$f_i = f_i(I_i). \quad (6)$$

При этом поведение объекта, например, в системе компьютеризированного обучения, определяется, как стремление получить количество информации, доставляющее экстремум функции цели при ограничениях $\varphi(I)$, имеющихся в задаче:

$$\begin{aligned} I_i^* &\rightarrow \text{extr} f_i; \\ \varphi(I) &\leq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Так, на множестве объектов Ω формируется множество описаний в результате отношения $\Gamma: \omega_i(I) \rightarrow \xi_i(I)$. Предположим, что Γ – это, в общем случае, взаимно-однозначное соответствие и $\Gamma^{-1}: \xi_i(I) \rightarrow \omega_i(I)$. Очевидно, что именно к этому необходимо стремиться в процессе обучения, то есть это утверждение означает, что описание позволяет представить объект.

Существенной особенностью задачи описания пространства над множеством объектов является сложность определения соответствия (множества описаний) Γ , так как единственным очевидным свойством этого соответствия является его обратимость. Структура множества объектов образуется соответствием и его правилами.

Используя свойство однозначности соответствия, можно определить метрику в данном пространстве, основываясь на предположении аналитичности функциональной связи функции цели и информации:

$$f(I) = f(I_0) + \frac{1}{1!} \frac{df}{dI} \Big|_{I=I_0} \Delta I + \frac{1}{2!} \frac{d^2 f}{dI^2} \Big|_{I=I_0} \Delta I^2 \dots + R, \quad (8)$$

где I_0 – информация, накопленная к текущему моменту.

Рассмотрим линейное приближение и предположим, что скорость изменения функции цели пропорциональна количеству наличной информации, что характерно и естественно для задачи обучения (мы тем быстрее учимся, чем мы умнее или, другими словами, чем больше мы знаем к моменту обучения, то есть чем больше количество информации уже было накоплено).

Тогда можно записать связь между информацией и значением целевой функции в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{df}{dI} = \alpha I. \quad (9)$$

Следует отметить, что это гипотеза, но и мера Хартли основана на предположении, то есть гипотезе, что скорость изменения вероятности по информации пропорциональна текущей вероятности, что соответствует задаче обнаружения.

Решая дифференциальное уравнение (9) получаем:

$$\begin{aligned} df &= \alpha I dI; \\ \int df &= \alpha \int I dI; \\ f &= \frac{\alpha}{2} I^2 + C. \end{aligned} \quad (10)$$

Так как при отсутствии информации и выигрыш отсутствует, то начальные условия принимают вид:

$$\begin{aligned} I_0 &= 0; \\ f(I_0) &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, функция цели в задаче накопления информации, пропорциональна квадрату информации:

$$f = \frac{\alpha}{2} I^2. \quad (12)$$

Так как максимальное значение информации соответствует решению задачи (7), то есть на нем достигается экстремум функции цели, получаем граничные условия в виде: $f(I^*) = f_m$. Исходя из этого, определим коэффициент α в выражении (12):

$$\alpha = \frac{2f_m}{I^{*2}}. \quad (13)$$

Определить I^* довольно сложно, для упрощения примем гипотезу о разумности использования носителя информации: $I^* = I_m$: гипотезу о том, что приемник информации разумен настолько, что может воспроизвести всё количество информации, которое есть в наличии у источника. Тогда связь между функцией цели и информацией в данной задаче принимает вид:

$$I = I_m \sqrt{\frac{f}{f_m}}. \quad (14)$$

Выражение (14) определяет норму в рассматриваемом информационном пространстве. Таким образом, информация в задаче накопления информации определяется максимальной информацией, которую содержит (или позволяет разместить) носитель, взвешенной на коэффициент полезности.

Исходя из того, что по определению информация неотрицательна и целевая функция неотрицательна, выполняются аксиомы нормы [5]:

$$\begin{aligned}
 \|I\| &= I_m \sqrt{\frac{f}{f_m}} \geq 0; \\
 \|I\| &= 0 \Leftrightarrow I = 0; \\
 \|CI\| &= I_m \sqrt{\frac{C^2 f}{f_m}} = |C| \|I\|; \\
 \|I_1 + I_2\| &\leq \|I_1\| + \|I_2\|.
 \end{aligned} \tag{15}$$

Неравенство треугольников доказано в [5]. Для определения метрики будем исходить из того, что норма – это метрика (расстояние) от нуля: $a(I, 0) = \|I\|$, определяет норму, при сделанных нами предположениях, как достигнутое при получении сообщения значение функции цели при условии отсутствия априорной информации. Таким образом, подчеркнем, что при определении нормы не учитываются знания, полученные ранее.

Следует отметить, что в реальной ситуации существование ранее накопленной информации, то есть знаний, ограничивает значение количества получаемой информации. Следовательно, необходимо рассматривать задачу достижения условного оптимума (17). Обозначим через $f_{x/y}$ значение функции цели в условной задаче:

$$\begin{aligned}
 I_x &\rightarrow \text{extr} f_x; \\
 I_x &\in I_d; \\
 \{I_d \mid f_y(I_d) - \beta \leq 0\}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Исходя из этого условия, метрика в задаче накопления знаний будет определяться условным изменением целевой функции (то есть значением целевой функции I_x при условии сообщения y):

$$a(I_x, I_y) = I_m \sqrt{\frac{f_{x/y}}{f_m}}. \tag{18}$$

Так как $f_{x/y}$ неотрицательна, это обеспечивает выполнение аксиомы неотрицательности:

$$a(I_x, I_y) \geq 0. \tag{19}$$

Расстояние обращается в ноль тогда и только тогда, когда ограничения совпадают с целью (информация в сообщении x и информация в сообщении y совпадают) и задача вырождается, что обеспечивает выполнение аксиомы тождества:

$$a(I_x, I_y) = 0 \Leftrightarrow I_x = I_y. \tag{20}$$

Так как для выпуклых функций цели существует двойственность в прямой задаче:

$$\left. \begin{aligned}
 I_x &\rightarrow \text{extr} f_x = f^* \\
 f_y(I_x) &= C
 \end{aligned} \right\}, \tag{21}$$

и в обратной задаче:

$$\left. \begin{aligned}
 I_x &\rightarrow \text{extr} f_y = C \\
 f_x(I_x) &= f^*
 \end{aligned} \right\}. \tag{22}$$

В силу этого выполняется аксиома симметрии:

$$a(I_x, I_y) = a(I_y, I_x). \quad (23)$$

Это означает, что сообщение, переданное источником приемнику и возвращенное приемником источнику, не изменяет состояния источника, то есть имеющейся у источника информации.

Поскольку сообщения $I_{x/y}$ и $I_{y/z}$ имеют неотрицательные метрики, и передаваемая информация не меньше информации $I_{x/z}$, то выполняется неравенство треугольника:

$$a(I_x, I_z) \leq a(I_x, I_y) + a(I_y, I_z). \quad (24)$$

Таким образом, аксиомы метрики выполняются, и рассматриваемое нами информационное пространство является нормированным, метрическим пространством. При этом если $\|I\|=0$, то информация на данный момент является бесполезной, то есть количество информации в сообщении равно нулю. А в общем случае количество информации в сообщении лежит в пределах от нуля до максимальной информации, которую может содержать носитель или сообщение.

Выводы. Таким образом, проанализированы подходы к решению задачи повышения эффективности и качества обучения за счет использования информационных технологий в рамках компетентностного подхода. Сформулирована задача оптимального управления процессом накопления знаний и обоснован метод её решения с использованием энтропийных мер информации: нормы и метрики информационного пространства. Исходя из принятого представления задачи накопления информации в информационном пространстве для дальнейших исследований необходимо учитывать временные задержки, связанные с обработкой информации и определяющие инерционное поведение объекта как динамической системы, описываемой дифференциальными уравнениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. Е. Динамическая модель процесса самообучения в компьютеризированной среде / А. Е. Соколов, О. В. Соколова // Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – № 1 (009). – С. 84–87.
2. Соколов А. Е. Информационная технология накопления знаний / А. Е. Соколов, О. В. Соколова // Молодь у світі сучасних технологій : матеріали наук.-практ. конф. (5–6 червня 2014р.). – Херсон, 2014. – С. 115–117.
3. Соколова О. В. Определение нормы в информационной технологии накопления знаний / О. В. Соколова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – Москва, 2014. – № 7 (66). – С. 56–58.
4. Соколова О. В. Модель агента в информационной технологии накопления знаний / О. В. Соколова, А. Е. Соколов // Проблеми інформаційних технологій. – 2014. – № 1 (015). – С. 150–154.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sokolov A. E. & Sokolova O. V. (2011). Dinamicheskaya modelj processa samoobucheniya v kompjjuterizirovannoyj srede. *Problemi informacijnikh tekhnologijj*, 1 (009), 84–87.
2. Sokolov A. E. & Sokolova O. V. (2014). Informacionnaya tekhnologiya nakopleniya znaniyj. *Molodj u sviti suchasnikh tekhnologijj : materialy nauk.-prakt. konf.*, Kherson, 115–117.

3. Sokolova O. V. (2014). Opredelenie normih v informacionnoy tekhnologii nakopleniya znaniy. *Aktualnihe problemih gumanitarnihkh i estestvennikh nauk, Moskva, 7 (66)*, 56–58.

4. Sokolova O. V. & Sokolov A. E. (2014). Modelj agenta v informacionnoy tekhnologii nakopleniya znaniy. *Problemi informacijnikh tekhnologiy, 1 (015)*, 150–154.

Соколов А. Е., Соколова О. В. ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ НАВЧАННЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглянуто питання якісної професійної підготовки фахівців у галузі морських перевезень із застосуванням нових парадигм освіти, до числа яких можна віднести парадигму, засновану на компетентносному підході. Проаналізовано підходи до вирішення задачі підвищення ефективності та якості навчання за рахунок використання інформаційних технологій. Сформульовано завдання оптимального управління процесом накопичення знань і обґрунтовано метод його вирішення з використанням ентропійних мір інформації.

Ключові слова: професійна підготовка фахівців у галузі морських перевезень, компетентнісний підхід, якість навчання, інформаційні технології, ентропійні міри інформації.

Sokolov A. E., Sokolova O.V. APPROACHES TO SOLVING THE EDUCATION EFFICIENCY AND QUALITY IMPROVEMENT BASED ON USING INFORMATIONAL TECHNOLOGY

The article looks into the questions of high-quality sea shipping specialist preparation using the new education paradigms, including one with a competence-based approach. Approaches to solving the task of improving efficiency and quality of education via using informational technologies were analyzed. The problem of optimal management of the knowledge accumulation process is formulated, and a method of solving it through use of entropic information measures is grounded.

Keywords: professional education of specialists in the sea shipping sphere, competence-based approach, education quality, informational technologies, entropic information measures.

© Соколов А. Е., Соколова О. В.

Статтю прийнято
до редакції 11.04.16

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ КОМПАКТНЫХ ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ

Горобець В. Г., д.т.н., с.н.с., заведующий кафедрой теплоэнергетики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев), E-mail: gorobetsv@ukr.net;

Богдан Ю. А., старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок, вспомогательных механизмов судов и их эксплуатации Киевской государственной академии водного транспорта имени гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, E-mail: bogdan_yura@mail.ru;

Троханяк В. И., ассистент кафедры теплоэнергетики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев), E-mail: v1kt0r_t@ukr.net

В статье представлены результаты математического моделирования процессов теплопереноса для гладкотрубных пучков, которые получили широкое распространение в судовой энергетике, во многих теплообменных аппаратах. При этом важную роль в изучении физического механизма теплоотдачи компактных пучков при поперечном их обтекании представляют исследования локальной теплоотдачи по периметру отдельных трубок. В работе выполнено компьютерное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в каналах поперечно обтекаемого компактного гладкотрубного пучка с соприкасающимися в продольных рядах соседними трубками малого диаметра с помощью прикладного программного обеспечения ANSYS Fluent. Получены зависимости локального распределения коэффициентов теплоотдачи по окружности трубок 1–4-го поперечных рядов первой секции пучка для каждого из пяти рассматриваемых режимов. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами известных экспериментальных исследований для гладкотрубных пучков с коридорной и шахматной компоновкой. Определено, что максимальное значение относительного коэффициента теплоотдачи трубок 2–4-го рядов α_m/α_{cp} на участках присоединенного течения (при $Re = 6044$) превышает на 0,46 (29 %) максимальное значение α_m/α_{cp} для трубок 3–7-го рядов коридорного и на 0,30 (15 %) трубок шахматного пучков (при $Re = 14000$). Причем у исследуемого пучка максимумов α_m/α_{cp} больше вдвое, что обуславливает интенсификацию процессов теплообмена.

Ключевые слова: компактный гладкотрубный пучок, компьютерное численное моделирование, процессы гидродинамики и теплообмена, локальный коэффициент теплоотдачи.

Введение. Пучки труб являются распространенной теплообменной поверхностью, которая широко применяются в судовой энергетике во многих теплообменных аппаратах (ТА), таких как, парогенераторы, водогрейные котлы, утилизаторы теплоты отработанных газов, охладители наддувочного воздуха, охладители циркуляционной воды зарубашечного пространства, охладители циркуляционного масла двигателей внутреннего сгорания и многих других ТА. Пучок представляет собой конструкцию, составленную из параллельных цилиндрических трубок продольно или поперечно омываемых потоком теплоносителя, обычно их выполняют в коридорной или шахматной компоновке. Широкое применение пучков требует дальнейшего повышения их эффективности, что целесообразно на современном этапе развития науки осуществлять при помощи моделирования процессов гидродинамики и теплопереноса, протекающих в них с помощью специального программного обеспечения (программные пакеты CFX, Flowvision, StarCD, OpenFOAM, ANSYS Fluent и др.).

Анализ последних исследований и публикаций. В современных кожухотрубных теплообменниках широкое распространение получили высококомпактные пучки из поперечно-омываемых труб с развитой поверхностью [1, 2]. Наряду с применением указанных пучков, которые отличаются значительным развитием поверхности и сложностью рельефа, также широко применяются (и в ряде случаев являются единственно приемлемыми) традиционные гладкотрубные пучки. Особенно актуальной

задачей является разработка методов интенсификации конвективного теплообмена в поперечно обтекаемых пучках гладких цилиндрических трубок с коридорной и шахматной компоновкой, которые работают в условиях высокотемпературных загрязненных газовых потоков, когда нерационально и неэффективно использование оребрения или пристенных интенсификаторов теплоотдачи.

Исследованиями теплоаэродинамических характеристик трубчатых конвективных поверхностей теплообмена занимались такие ученые как В. М. Антуфьев, Г. С. Белецкий, Э. Д. Гримисон, М. А. Михеев, Н. В. Зозуля, Н. В. Кузнецов, Г. А. Михайлов, В. П. Исаченко, В. М. Кэйс, А. Л. Лондон, А. А. Жукаускас и др.

Совершенствование трубных конвективных поверхностей теплообмена связано с поиском компактных схем расположения трубок пучка в поперечном потоке и наиболее энергетически выгодными условиями их обтекания, обеспечивающими высокую интенсивность теплоотдачи в конкретных условиях эксплуатации.

Одной из важных характеристик трубного пучка является его газодинамическое сопротивление. С этой точки зрения особый интерес вызывают гладкотрубные пучки коридорной компоновки, которые обладают минимальным аэродинамическим сопротивлением. Однако помимо снижения газодинамического сопротивления пучков необходимо также решать задачи повышения эффективности теплопередачи, интенсификации теплообмена, повышения компактности ТА, снижения загрязняющих отложений (сажи) в межтрубном пространстве пучка, повышения надежности конструкции и др.

Из многочисленных исследований проведенных учеными в Центральном котлотурбинном институте им. И.И. Ползунова (Россия), Институте физико-технических проблем энергетики (Литва), Институте технической теплофизики (Украина) можно отметить, что наименьшим газодинамическим сопротивлением среди элементов ТА кожухотрубной конструкции при поперечном обтекании обладают гладкотрубные пучки коридорной компоновки. При поперечном обтекании коридорных пучков течение жидкости по своему характеру более приближается к течению в прямолинейном канале, а распределение скоростей в наименьшем сечении следующего ряда значительно зависят от соотношения шагов. Сжатый коридорный пучок трубок с продольным относительным шагом равным единице (трубки в ряду по ходу греющего теплоносителя соприкасаются) представляет собой предельный случай коридорной компоновки [3, 4]. При этом между рядами труб образуются продольные каналы (рис. 1.), следовательно, коридорный пучок с относительным продольным шагом равным единице можно считать системой продольных «гофрированных» каналов, в которых основной поток теплоносителя движется между продольными рядами труб.

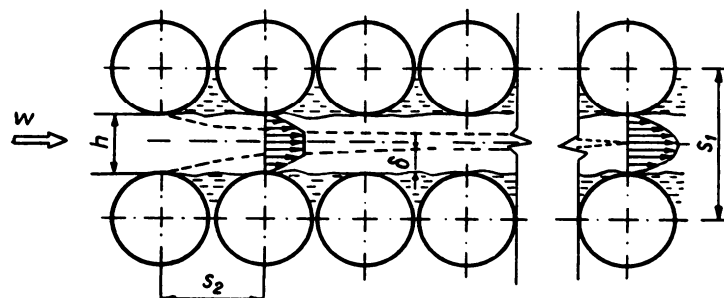


Рисунок 1 – Схема течения в сжатом коридорном пучке [3]

Обширные исследования конвективного теплообмена для различной геометрии поперечно обтекаемых пучков гладких труб цилиндрической формы с коридорным их расположением проводились в Институте физико-технических проблем энергетики (Литва) под руководством А. А. Жукаускаса [3–6]. В этих исследованиях изучены закономерности условий теплоотдачи и гидродинамики потока по глубине пучка, влияние на процессы теплоотдачи и гидродинамики изменения продольного и поперечного

относительных шагов и диаметра труб. Найдено, что местная теплоотдача стабилизируется начиная с 3-го или 4-го ряда и наблюдается возрастание турбулентности потока при сжатии пучка или увеличении скорости потока в минимальном проходном сечении пучка. Кроме того проводились исследования гидравлической эффективности трубных пучков, их устойчивости к воздействию вибраций, колебаний давления и загрязнению потока.

Исследованиями тесных поперечно обтекаемых пучков гладких труб цилиндрической формы с коридорным их расположением занимался С. Айба [7, 8]. В. А. Пронин [9], проводил исследования теплоаэродинамических процессов при поперечном обтекании гладких цилиндрических трубных пучков нетрадиционной компоновки с извилистой и конфузочно-диффузорной компоновкой, которые обладают пониженным аэродинамическим сопротивлением по сравнению с традиционными коридорными или шахматными компоновками.

Анализ проведенных исследований показывает, что для повышения эффективности гладкотрубных пучков с коридорной компоновкой, которые обладают минимальным аэродинамическим сопротивлением особенного внимания, заслуживают предельно сжатые пучки с соприкасающимися в продольных рядах соседними трубками малого диаметра. Влияние геометрии таких пучков на их эффективность, компактность и массогабаритные показатели приведены в статье [10]. При этом важную роль в изучении физического механизма теплоотдачи компактных пучков при поперечном их обтекании представляют исследования локальной теплоотдачи по периметру отдельных трубок, что выполнено в данной работе.

Цель работы. Целью работы является проведение математического моделирования процессов тепло- и массопереноса и определение локальных коэффициентов теплоотдачи для компактного гладкотрубного пучка с соприкасающимися в продольных рядах соседними трубками малого диаметра, а также сравнение полученных результатов с результатами известных экспериментальных исследований для гладкотрубных пучков с коридорной и шахматной компоновкой.

Постановка задачи. Выполнить компьютерное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена, происходящих в каналах исследуемого компактного гладкотрубного с соприкасающимися в продольных рядах соседними трубками малого диаметра для получения локальных коэффициентов теплоотдачи по окружности трубок 1–4-го рядов первой секции пучка. Для второй секции пучка полученные данные будут иметь подобный характер распределений. Геометрия исследуемого канала пучков труб отображена на (рис. 2), диаметр трубки $d = 10$ мм, поперечный шаг $S_1 = 15$ мм, продольный шаг $S_2 = 10$ мм, количество труб в пучках составляет 378 штук (высотой $h = 1$ м), пучки разделены между собой технологическим зазором, как показано на рис. 2.

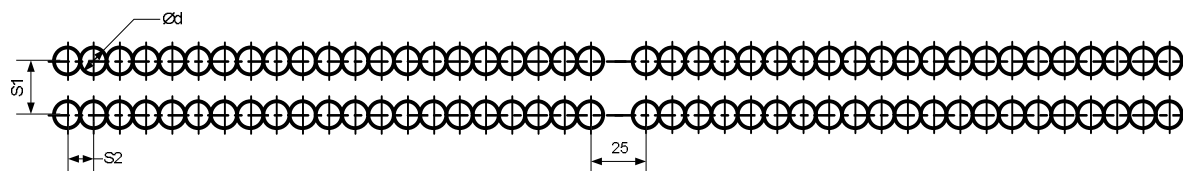


Рисунок 2 – Геометрия канала компактного пучка труб малого диаметра

Основной материал и анализ результатов исследования. Разработана математическая модель процессов тепло- и массопереноса для рассматриваемого пучка труб базируется на системе уравнений Навье-Стокса [11–13], уравнении переноса энергии для конвективных течений и стандартной $k - \varepsilon$ модель турбулентности [13, 14]. Решение системы дифференциальных уравнений в математическом смысле достаточно сложно и для ее решения использованы современные методы вычислительной математики и персональный компьютер. Компьютерное моделирование гидродинамических процессов и процессов переноса теплоты в исследуемых трубных пучках выполнено с привлечением методов вычислительной гидродинамики (англ. Computational fluid

dynamics, CFD) и специального программного обеспечения (CFX, Flowvision, StarCD, OpenFOAM, ANSYS Fluent и др.).

Численные расчеты в исследуемых пучках труб ($a \times b = 1,5 \times 1,0$ где $a = S_1/d$, $b = S_2/d$ относительный поперечный и продольный шаг соответственно) проведены для пяти режимов течения при различных числах Рейнольдса и Прандтля, используя программный пакет ANSYS Fluent. В качестве теплоносителя выбраны дымовые (отработанные) газы с температурой от 70 до 140 °С. Значение числа Рейнольдса ($Re = Vd/\nu$, где V – скорость потока, м/с; d – диаметр трубки, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с) варьировались в пределах от 3128 до 6044, а числа Прандтля Pr от 0,704 до 0,692. Результаты расчетов в виде аппроксимирующих зависимостей для локальных распределений коэффициента теплоотдачи по окружности трубы 1–4-го поперечных рядов первого пучка для каждого из пяти установленных режимов приведены на рис. 3–7.

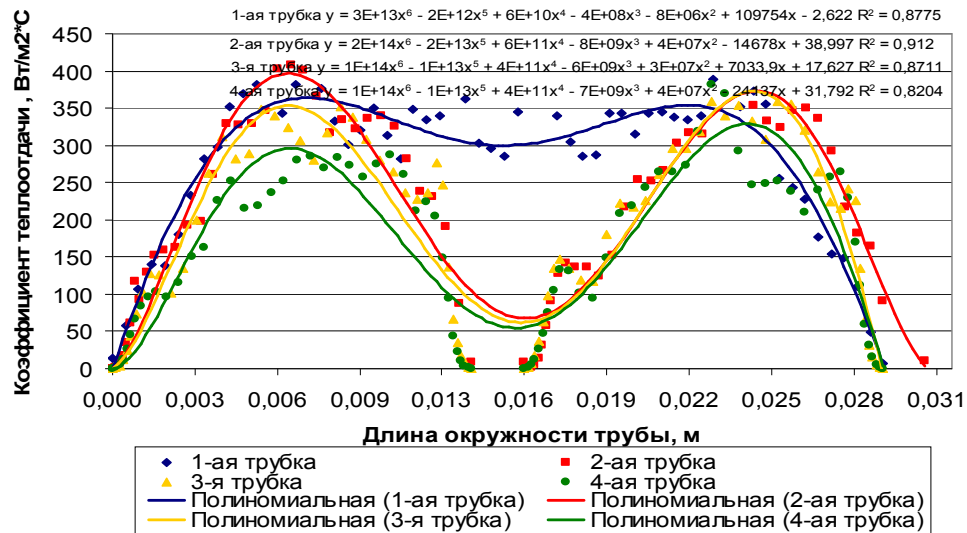


Рисунок 3 – Аппроксимирующие полиномиальные функции распределения локального коэффициента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 3128$; $Pr = 0,704$

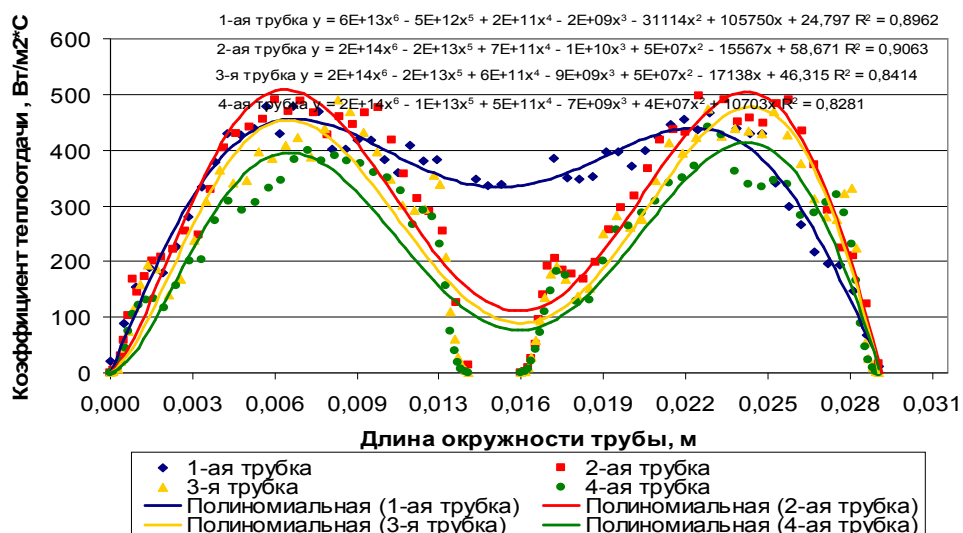


Рисунок 4 – Аппроксимирующие полиномиальные функции распределения локального коэффициента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 4061$; $Pr = 0,702$

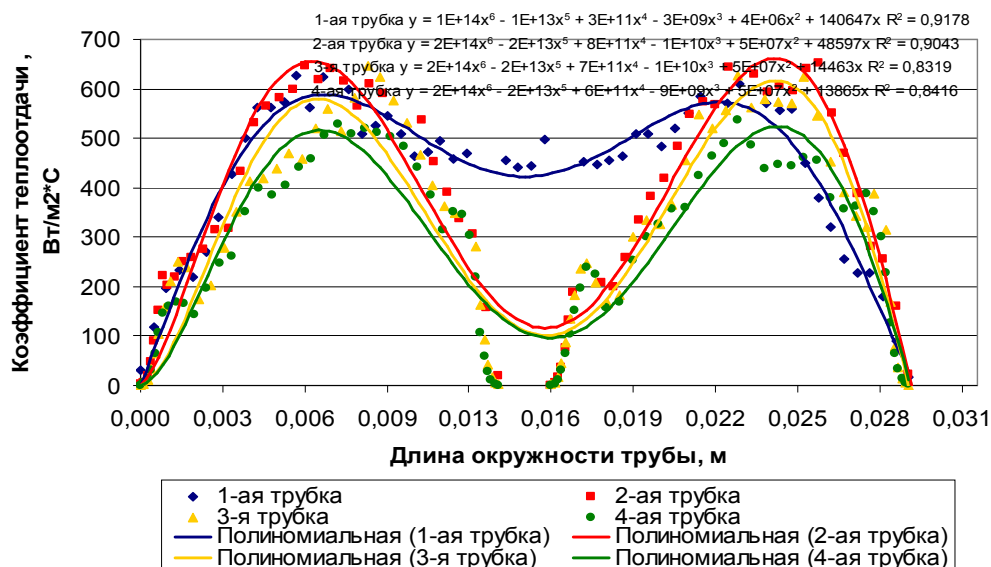


Рисунок 5 – Аппроксимирующие полиномиальные функции распределения локального коэффициента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 4809$; $Pr = 0,699$

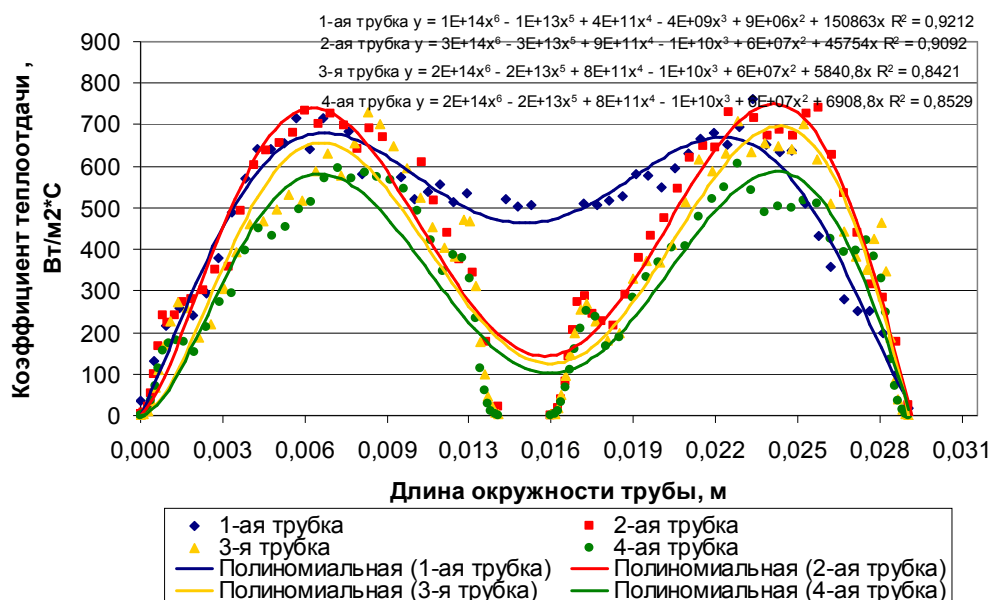


Рисунок 6 – Аппроксимирующие полиномиальные функции распределения локального коэффициента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 5213$ $Pr = 0,697$

Анализ полученных распределений локального коэффициента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ показывает, что локальные максимумы коэффициента теплоотдачи наблюдаются в областях присоединения потока к поверхности труб (рис. 8). В областях отрывных течений локальные значения α_m существенно меньше, что обусловлено небольшими значениями скорости потока в отрывных зонах и наличием застойных зон гидродинамического течения (рис. 8).

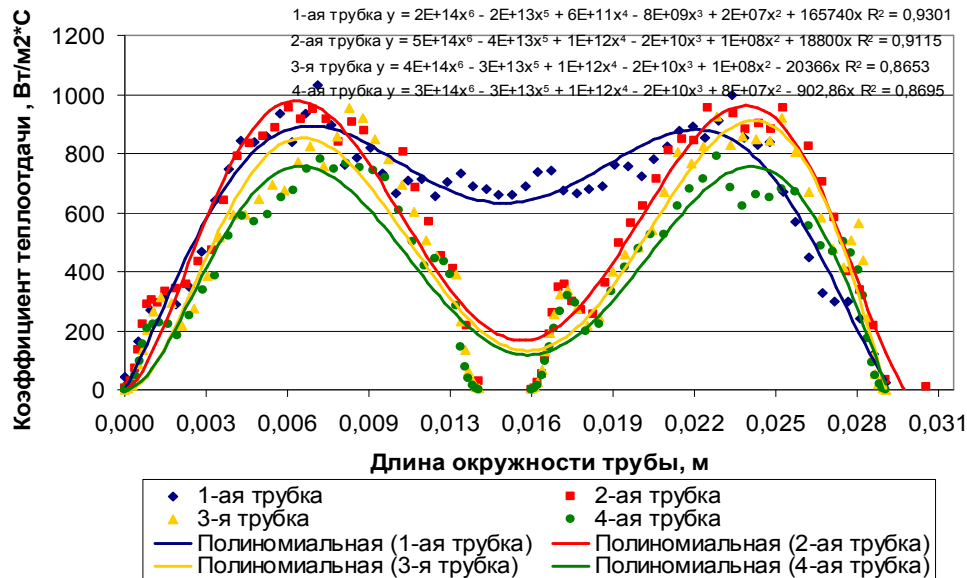


Рисунок 7 – Аппроксимирующие полиномиальные функции распределения локального коэффицента теплоотдачи α_m на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 6044$; $Pr = 0,692$

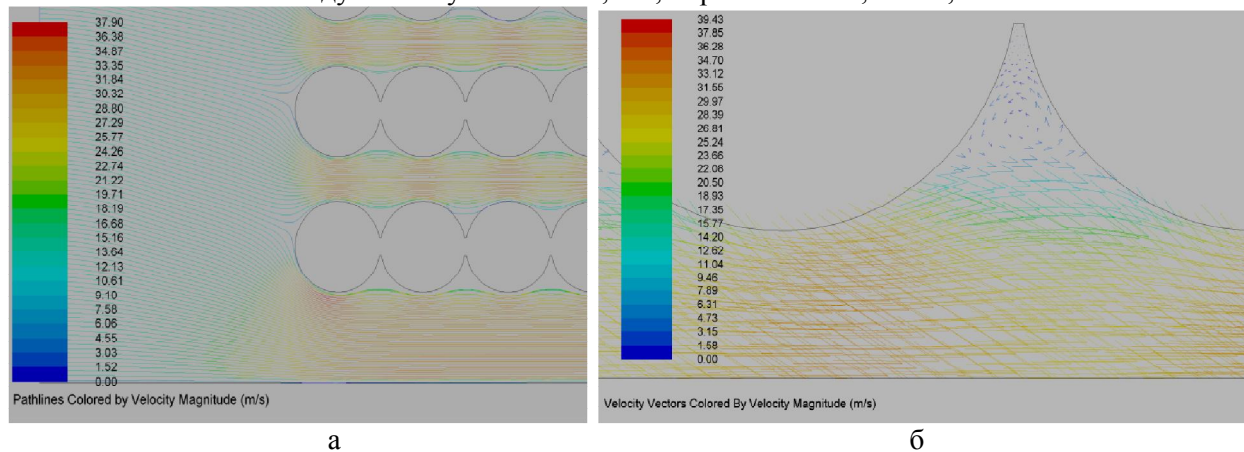


Рисунок 8 – Схемы течения потока теплоносителя в исследуемых пучках:

- а) линии тока, отображающие значения скоростей теплоносителя в каналах пучков труб, м/с;
 б) вектор скорости в области соприкосновения трубок, м/с

Сравнительные графики аппроксимирующих полиномиальных функций распределения относительного коэффицента теплоотдачи α_m/α_{cp} на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ для одного из режимов при $Re = 6044$; $Pr = 0,692$ с аппроксимирующими полиномиальными функциями распределения относительного коэффицента теплоотдачи α_m/α_{cp} на поверхности трубок 3–7-го рядов для пучков коридорной и шахматной компоновки при различных числах Рейнольдса приведены на рис. 9, 10.

Интенсификация теплообмена в разработанной конструкции пучка достигается путем использования труб малого диаметра, что обеспечивает небольшие участки формирования пограничного слоя для присоединенных течений и малые размеры отрывных зон. Небольшая протяженность зон пограничного слоя в области присоединения внешнего потока дает возможность существенно увеличить как локальные значения коэффицента теплоотдачи, так и локальные тепловые потоки, отводимые с поверхности труб при сравнительно небольших отрывных зонах с ухудшенной теплоотдачей. Количество локальных максимумов и амплитуда коэффицента теплоотдачи по поверхности трубного пучка с компактной компоновкой существенно больше по сравнению с коридорными пучками с известными компоновками. В целом это приводит к повышению суммарных значений коэффицента теплоотдачи и отводимых с

поверхности тепловых потоков. При этом аэродинамическое сопротивление для обоих типов пучков остается примерно одинаковым. Максимальное значение относительного коэффициента теплоотдачи 2–4-го рядов труб α_m/α_{cp} на участках присоединенного течения (при $Re = 6044$) превышает на 0,46 (29 %) максимальное значение α_m/α_{cp} для 3–7-го рядов труб коридорного и на 0,30 (15 %) для 3-7-го рядов труб шахматного пучков (при $Re = 14000$). Причем у исследуемого пучка максимумов α_m/α_{cp} больше вдвое, что в конечном результате повышает интенсивность процесса теплообмена. Полученные распределения обусловлены «гофрированностью» канала, т. е. последовательным чередованием участков сужения и расширения вдоль канала. При этом относительный коэффициент теплоотдачи выше в местах сужения канала и меньше в местах его расширения.

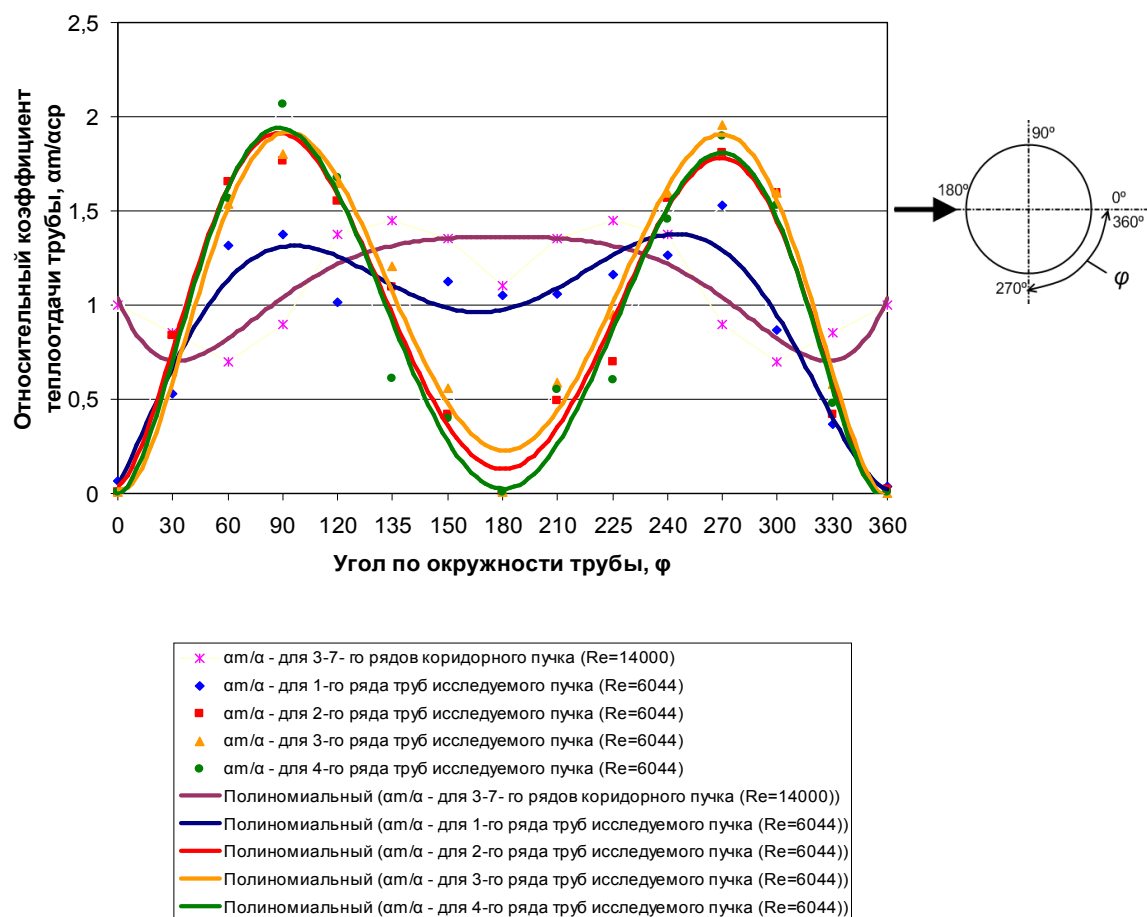


Рисунок 9 – Сравнительный график аппроксимирующих полиномиальных функций распределения относительного коэффициента теплоотдачи α_m/α_{cp} на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 6044$; $Pr = 0,692$ и аппроксимирующей полиномиальной функции распределения относительного коэффициента теплоотдачи α_m/α_{cp} на поверхности труб 3–7-го рядов коридорного пучка при $Re = 14000$ [14]

Условия течения и теплообмена в предложенных компактных пучках труб имеют следующий характер. При поперечном обтекании рядов труб формируются повторяющиеся отрывные области в межтрубном канале. Оторвавшийся от поверхности отдельного цилиндра поток для угла по окружности трубы равном $\varphi = 75^\circ$ и $\varphi = 290^\circ$ присоединяется к поверхности следующего вдоль потока цилиндра для угла по окружности трубы $\varphi = 110^\circ$ и $\varphi = 255^\circ$ см. рис. 8. Возникшая застойная зона между трубами испытывает периодические воздействия поперечных пульсаций давления. Из этой области периодически, с определенной частотой, выбрасывается масса теплоносителя, взаимодействие которой с основным потоком приводит к турбулизации течения.

Предложенная компоновка пучка, при которой происходит соприкосновение соседних труб существенно уменьшает аэродинамическое сопротивление трубного пучка, поскольку расположенные один за другим цилиндры обтекаются без существенных пульсаций давления и образования крупномасштабных вихрей в отрывных зонах, которые характерны для традиционной коридорной компоновки труб с заданным продольным шагом. Указанный факт подтверждается экспериментальными данными, полученными в работах [4, 15], для двух соприкасающихся труб. Таким образом предложенная компоновка труб в пучке существенно снижает затраты на прокачку теплоносителя и улучшает гидравлические характеристики теплообменников при использовании таких пучков.

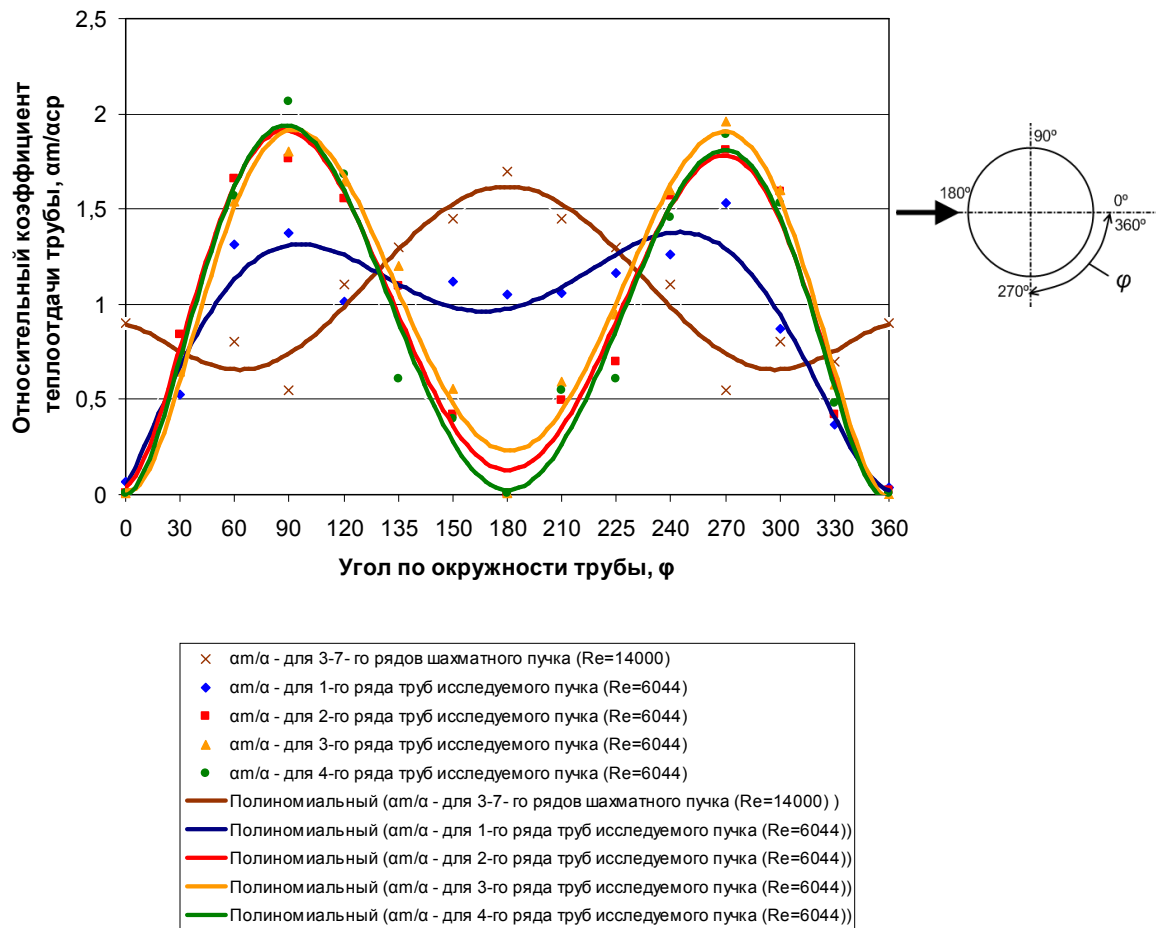


Рисунок 10 – Сравнительный график аппроксимирующих полиномиальных функций распределения относительного коэффициента теплоотдачи $\alpha_m/\alpha_{ср}$ на поверхности первых четырех трубок продольного ряда исследуемого пучка $a \times b = 1,5 \times 1,0$ при $Re = 6044$; $Pr = 0,692$ и аппроксимирующей полиномиальной функции распределения относительного коэффициента теплоотдачи $\alpha_m/\alpha_{ср}$ на поверхности труб 3–7-го рядов шахматного пучка при $Re = 14000$ [14]

Выводы и перспектива дальнейших исследований:

1. Проведено компьютерное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в каналах поперечно обтекаемого компактного гладкотрубного пучка с соприкасающимися в продольных рядах соседними трубками малого диаметра при помощи прикладного программного обеспечения ANSYS Fluent. Получены поля скоростей, температур и давлений в исследуемых пучках, проанализировано условия гидродинамического течения в каналах.

2. Получены зависимости локального распределения коэффициента теплоотдачи по окружности труб 1–4-го поперечных рядов первого пучка для каждого из пяти установленных режимов.

3. Определено, что при использовании труб малого диаметра с компактным их расположением, максимальное значение относительного коэффициента теплоотдачи для 2–4-го рядов труб α_m/α_{cp} на участках присоединенного течения (при $Re = 6044$) превышает на 0,46 (29 %) максимальное значение α_m/α_{cp} для 3–7-го рядов труб коридорного и на 0,30 (15 %) для 3–7-го рядов труб шахматного пучков традиционной компоновки (при $Re = 14000$). Для исследуемого пучка количество и амплитуда локальных максимумов α_m/α_{cp} вдвое больше по сравнению с известными коридорными и шахматными пучками, что обеспечивает существенную интенсификацию процесса теплообмена для теплообменников новых конструкций, а также улучшает их массогабаритные показатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горобец В. Г. Теплообмен при обтекании неизотермических развитых поверхностей / В. Г. Горобец. – К. : НУБиП Украины, 2010. – 297 с.
2. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребрённых труб / Е. Н. Письменный. – К. : Альтерпрес, 2004. – 244 с.
3. Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости / Жукаускас А., Макарявичюс В., Шланчяускас А. – Вильнюс : Минтис, 1968 г. – 192 с.
4. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М. : Наука, 1982. – 472 с.
5. Zukauskas A. Problem of heat transfer augmentation for tube banks in cross flow / A. Zukauskas // Heat Exchangers. – New York, 1982. – P. 1–21
6. Жукаускас А. А. Теплоотдача поперечно обтекаемых пучков труб / А. Жукаускас, Р. Улинскас – Вильнюс : Мокслас, 1986. – 204 с.
7. Aiba S. Heat transfer of tubes closely spaced in an in-line bank / Aiba S., Ota T., Tsuchida M. // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – 1980. – Vol. 21. – P. 311–319
8. Aiba S. Heat transfer around a tube in in-line tube banks near a plane wall / S. Aiba // J. of Heat Transfer. – 1990. – Vol. 112. – P. 933–938
9. Пронин В. А. Компоновки трубных пучков и синтез конвективных поверхностей теплообмена с повышенной энергоэффективностью : автореферат диссертации на соискание степени доктора техн. наук: 01.04.14 / В. А. Пронин; Московский энергетический институт. – М., 2008. – 40 с.
10. Горобец В. Г. Влияние геометрии компактного поперечного обтекаемого гладкотрубного пучка на его показатели / [В. Г. Горобец, В. В. Панин, Ю. О. Богдан, В. И. Троханяк] // Водный транспорт. – 2015. – Вып. № 1 (22). – С. 6–13.
11. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Дрофа, 2003. – 840 с.
12. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 14. ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, 2011. – 826 p.
13. Lewis R. W. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow / R. W. Lewis, P. Nithiarasu, K. N. Seetharamu. – The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd., 2004. – 356 p.
14. Кулинченко В. Р. Справочник по теплообменным расчетам / В. Р. Кулинченко. – К. : Техніка, 1990. – 165 с.
15. Белов И. А. Теплоотдача и сопротивление пакета труб / И. А. Белов, Н. А. Кудрявцев. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 223 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gorobec V. G. (2010) *Теплообмен при обтекании неизотермических развитых поверхностей*. К. : НУБиП України.
2. Pismenniy E. N. (2004). *Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребрённых труб*. К. : Альтерпрес.

3. Zhukauskas A., Makaryavichyus V. & Shlanchauskas A. (1968). *Teplootdacha puchkov trub v poperechnom potoke zhidkosti*. Vilnyus : Mintis.
4. Zhukauskas A. A. (1982). *Konvektivniy perenos v teploobmennikakh*. M. : Nauka.
5. Zukauskas A. (1982). Problem of heat transfer augmentation for tube banks in cross flow. *Heat Exchangers*. New York, 1–21.
6. Zhukauskas A., Ulinskas R. (1986). *Teplootdacha poperechno obtekaemikh puchkov trub*. Vilnyus : Mokslas.
7. Aiba S., Ota T. & Tsuchida M. (1980). Heat transfer of tubes closely spaced in an in-line bank. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 21, 311–319
8. Aiba S. (1990). Heat transfer around a tube in in-line tube banks near a plane wall. *J. of Heat Transfer*, 112, 933–938
9. Pronin V. A. (2008). Komponenty trubnykh puchkov i sintez konvektivnykh poverkhnostey teploobmena s povyshennoy ehnergoeffektivnost'yu. *Extended abstract of candidate's thesis*. M., Moskovskiy ehnergeticheskij institut.
10. Gorobec V. G., Panin V. V., Bogdan Yu. O. & Trokhanyak V. I. (2015). Vliyanie geometrii kompaktnogo poperechnogo obtekaemogo gladkotrubnogo puchka na ego pokazateli *Vodniy transport*, 1 (22), 6–13.
11. Loytsyanskiy L. G. (2003). *Mekhanika zhidkosti i gaza*. M. : Drofa.
12. ANSYS FLUENT Theory Guide. (2011) Release 14. ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317.
13. Lewis R. W., Nithiarasu P. & Seetharamu K. N. (2004). Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. *The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex Po19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd*.
14. Kulichenko V. R. (1990). *Spravochnik po teploobmennim raschetam*. K. : Tekhnika.
15. Belov I. A. & Kudryavcev N. A. (1987). *Teplootdacha i soprotivlenie paketa trub*. L. : Ehnergoatomizdat.

Горобець В. Г., Богдан Ю. О., Троханяк В. І. КОМП'ЮТЕРНЕ ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІНУ НА ПОВЕРХНІ КОМПАКТНИХ ГЛАДКОТРУБНИХ ПУЧКІВ ІЗ ПОПЕРЕЧНИМ ОБТІКАННЯМ

У статті представлені результати математичного моделювання процесів теплопереносу для гладкотрубних пучків, котрі отримали широке розповсюдження у судновій енергетиці, у багатьох теплообмінних апаратах. При цьому важливу роль у вивченні фізичного механізму тепловіддачі компактних пучків при поперечному їх обтіканні представляють дослідження локальної тепловіддачі по периметру окремих трубок. У роботі виконано комп'ютерне моделювання процесів гідродинаміки та теплообміну у каналах поперечно обтічного компактного гладкотрубного пучка при відсутності зазору між сусідніми трубками малого діаметру в повздовжніх рядах за допомогою прикладного програмного забезпечення ANSYS Fluent. Отримані залежності локального розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по периметру трубок 1–4-го поперечних рядів першої секції пучку для кожного з п'яти розглянутих режимів. Проведений порівняльний аналіз отриманих результатів із результатами відомих експериментальних досліджень для гладкотрубних пучків з коридорною і шаховою компоновкою. Визначено, що максимальне значення відносного коефіцієнту тепловіддачі трубок 2–4-го рядів α_m/α_{cr} на ділянках приєднаної течії (при $Re = 6044$) перевищує на 0,46 (29 %) максимальне значення α_m/α_{cr} для трубок 3–7-го рядів коридорного і на 0,30 (15 %) трубок шахових пучків (при $Re = 14000$). Причому у досліджуваного пучка максимумів α_m/α_{cr} більше вдвічі, що зумовлює інтенсифікацію процесів теплообміну.

Ключові слова: компактний гладкотрубний пучок, комп'ютерне чисельне моделювання, процеси гідродинаміки і теплообміну, локальний коефіцієнт тепловіддачі.

Gorobets V.G., Bohdan Yu.O., Trohanyak V.I. COMPUTER NUMERICAL MODELING OF LOCAL HEAT TRANSFER ON THE SURFACE OF COMPACT CROSS FLOWED SMOOTH TUBE BANKS

In this article presents results of mathematics modeling of processes of heat transfer for smooth tube banks, which get a broad distribution in ship energetics, in many heat exchangers. At this the main role in learning physical mechanism of heat transfer of compact cross flowed tube banks presents investigations of local heat transfer on perimeter of separated tubes. In this paper, the computer numerical simulations of the process of hydrodynamic and heat transfer in the channels of compact cross flowed smooth tube banks without clearance between neighbor tubes in longitudinal rows, with the help of applied software ANSYS Fluent are realized. The dependence of the local distribution of heat transfer coefficient for the tubes circumference from the first to fourth transverse rows of the first section of tube bank for each of the five considered operating modes are obtained. Comparative analysis of obtained results with the results of known experimental investigation for smooth tube banks of inline and staggered arrangements are realized. The maximum values of specific coefficient of heat transfer for tubes from second to forth transverse rows α_m/α_{cp} on segments of additional flow (at $Re = 6044$) high by 0,46 (29 %) maximum value α_m/α_{cp} for tubes from third to seventh transverse rows of inline tubes banks and high by 0,30 (15 %) of tubes from third to seventh transverse rows of staggered tubes banks (at $Re = 14000$) are defined. At that in investigated bank maximum α_m/α_{cp} twice above, which intensify of heat transfer process.

Keywords: compact smooth tube bank, computer numerical modeling, process of hydrodynamics and heat transfer, local heat transfer coefficient.

© Горобець В. Г., Богдан Ю. О., Троханяк В. І.

Статтю прийнято
до редакції 06.04.16

РЕЗЕРВЫ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА

Миницкий А. В., к.т.н., с.н.с., доцент кафедры высокотемпературных материалов и порошковой металлургии Национального технического университета Украины «КПИ» (г. Киев), E-mail: minitsky@i.ua;

Сосновский Л. А., к.т.н., с.н.с. Института проблем материаловедения имени И. Н. Францевича НАН Украины (г. Киев);

Лобода П. И., д.т.н., профессор, декан инженерно-физического факультета Национального технического университета Украины «КПИ» (г. Киев), E-mail: petrloboda@yandex.ru

Впервые проведено исследование допрессовки без зазора цилиндрических брикетов, полученных прессованием порошка железа в разъемной пресс-форме, и допрессовки этих брикетов в той же пресс-форме. Часть спрессованных брикетов подвергали отжигу в водороде при температуре 850 °С; допрессовку брикетов проводили как в исходном состоянии, так и предварительно смазав их поверхность вазелином. Установлено, что допрессовка брикетов позволяет повысить их плотность после отжига более существенно чем без их отжига; влияние смазки на результаты допрессовки незначительно. Показано, что сохраняется зависимость плотности допрессованных брикетов от давления первичного прессования. Допрессовка и отжиг брикетов из промышленных смесей на основе железа позволяют выявить возможности улучшения свойств и качества спеченных порошковых материалов.

Ключевые слова: порошок, железо, брикет, допрессовка, смазка, отжиг, плотность.

Введение. Уже очевидно, что общий ресурсно-энергетический кризис обрел давно прогнозируемые формы [1]. Успешное противостояние его развитию возможно только при использовании новых технологий, разработка которых требует более полного выявления свойств наиболее дешевых и недефицитных отечественных материалов, в частности порошка железа марки ПЖРВ200.28. Однако известные данные [2–8] по уплотняемости порошков железа при разных давлениях носят, сравнительный характер и не позволяют выявлять дополнительные технологические возможности использования порошков железа со сравнительно невысокой уплотняемостью. Давние исследования допрессовки спеченных и отожженных брикетов из порошков железа и никеля [9–11] также недостаточно информативны.

Целью настоящей работы являлось определение резерва уплотняемости не отожженных и отожженных брикетов, полученных прессованием порошка железа и последующей допрессовкой этих брикетов в той же пресс-форме.

Методика эксперимента. Использовали порошок железа марки ПЖРВ200.28 в состоянии поставки, прессование которого из состояния утряски проводили в неновой (частично изношенной) разъемной стальной пресс-форме с исходным рабочим диаметром 10 мм. Для проведения двухстороннего одностадийного прессования пресс-форму с вложенным нижним пуансоном предварительно устанавливали на резиновые пластины, затем в нее засыпали навеску, проводили утряску навески и вставляли верхний пуансон после чего проводили прессование, распрессовку и извлечение образца – цилиндрического брикета. Полученные таким образом цилиндрические брикеты подвергали допрессовке по известной методике [11] в той же пресс-форме (т.е. подвергали раздельной беззазорной допрессовке). Для этого на плоской плите устанавливали клинья пресс-формы; поддерживая вручную их сведенное состояние, вталкивали цилиндрический брикет в канал пресс-формы на необходимую глубину. После фиксации брикета между сомкнутыми клиньями пресс-формы на ее клинья набивали обойму и проводили выравнивание клиньев по высоте; далее в пресс-форму вставляли пуансоны, размещали ее на резиновых пластинах и проводили допрессовку и распрессовку. Брикету подвергали допрессовке как без смазки, так и со смазкой; в последнем случае готовые брикеты вручную смазывали аптечным вазелином; часть полученных брикетов перед их допрессовкой отжигали в водороде при 850 °С в течение 30 мин. С брикетов удаляли

облой, после чего определяли их вес, высоту и диаметр, по которым рассчитывали их плотность.

Результаты исследования. На рис. 1 представлены плотность и высота брикетов, полученных прессованием равных по массе (8,3 г) навесок, а на рис. 2 плотность и высота навесок разной расчетной массы: 6,80, 7,20, 7,65, 8,24 и 8,3 г.

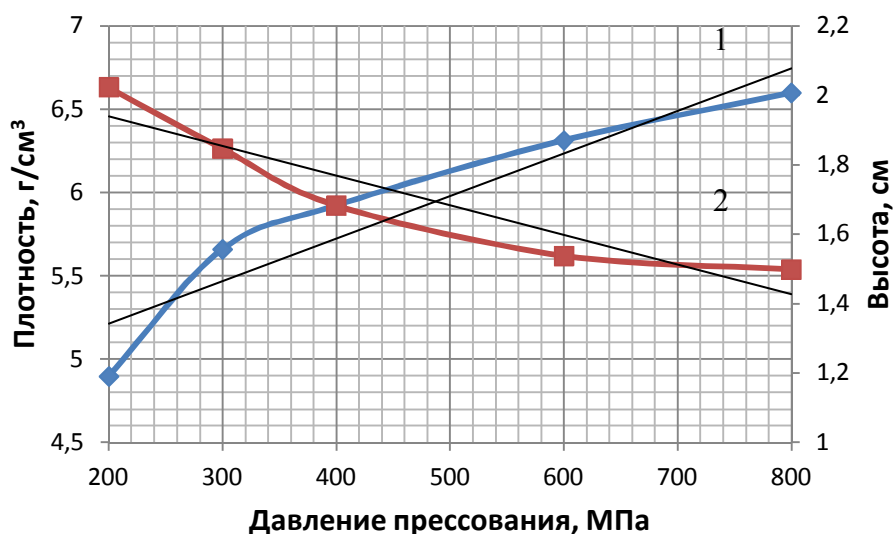


Рисунок 1 – Плотность (1) и высота (2) брикетов из навесок порошка железа равной массы (8,3 г) в зависимости от давления прессования.

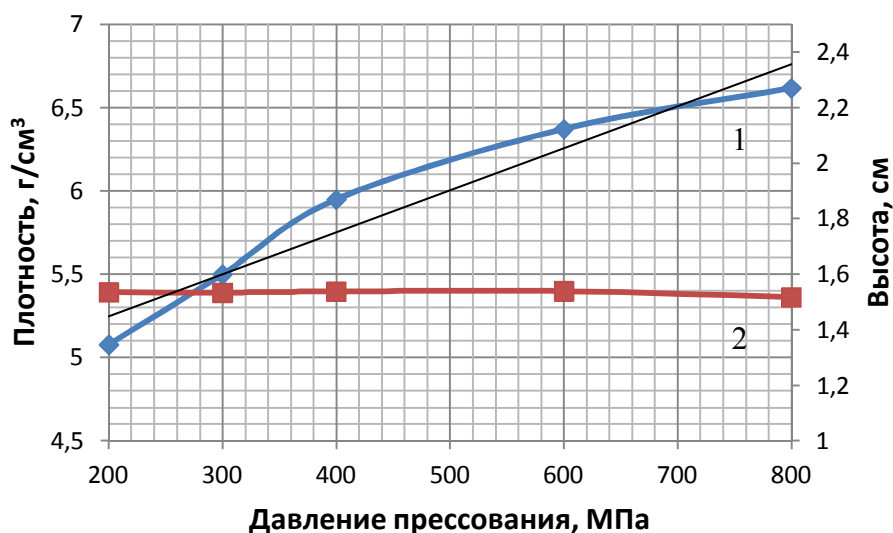


Рисунок 2 – Плотность (1) и высота (2) брикетов из увеличивающихся по массе навесок порошка железа в зависимости от давления прессования.

Сравнение приведенных зависимостей свидетельствует о том, что плотность брикетов имеющих разную высоту (рис. 1) и одинаковую высоту (рис. 2) практически идентична. Таким образом, плотность не зависила от высоты, а следовательно от значения площади их боковой поверхности в исследуемом диапазоне давлений. Следовательно, использование равных навесок являлось корректным, поэтому дальнейшие эксперименты проводились с одинаковыми навесками 8,3 г.

На рис. 3 приведены плотность брикетов полученных при разных давлениях прессования, и их плотность полученная после допрессовки брикетов без смазки при одном давлении равном 700 МПа.

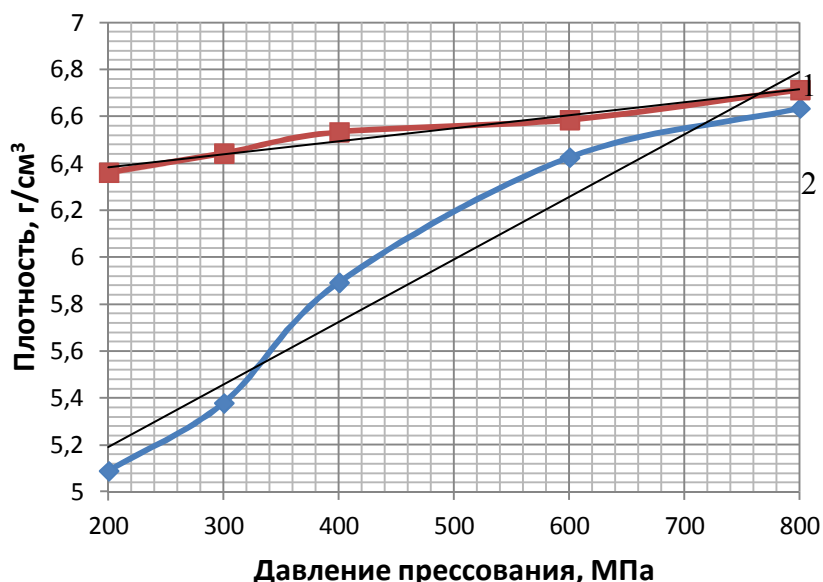


Рисунок 3 – Плотность брикетов полученных при разных давлениях пресования (1) и их плотность после допресовки при одном давлении 700 МПа (2)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что допресовка брикетов приводит к увеличению их плотности, даже если давление допресовки несколько ниже максимального давления первичного пресования. Зависимость плотности допресованных брикетов от давления первичного пресования сохраняется, хотя она и сглажена. Допресовка брикетов, повидимому, приводит к выравниванию их плотности по высоте; после допресовки уменьшается визуально наблюдаемая зона непропрессовки в их центральной части. Была получена подобная зависимость и плотности брикетов которые перед допресовкой смазывали вазелином; при этом установлено, что при использованных условиях пресования смазка брикетов влияет на увеличение их плотности при допресовке незначительно. Данное обстоятельство было проверено в измененных условиях эксперимента – брикеты, спрессованные при одном давлении смазывали и подвергали допресовке при разных давлениях. На рис. 4 приведена плотность брикетов спрессованных при 200 МПа, смазанных и допресованных при разных давлениях в сравнении с плотностью брикетов, спрессованных одномоментно при разных давлениях из порошка.

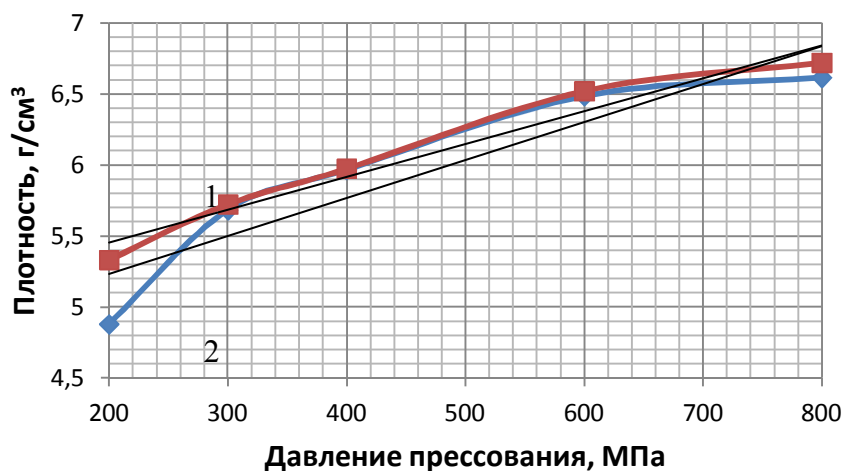


Рисунок 4 – Плотность брикетов полученных пресованием при 200 МПа, смазанных и допресованных при разных давлениях (1) и плотность брикетов, полученных при тех же давлениях обычным пресованием железного порошка (2)

Приведенные данные (рис. 4) показали, что прессование–допрессовка позволило получить прирост плотности $0,45 \text{ г/см}^3$, сравнительно с однократным прессованием только при 200 МПа, при других давлениях это различие составило $0,04\text{--}0,004 \text{ г/см}^3$, т.е. при более высоких давлениях процесс допрессовки был идентичен однократному прессованию из состояния утряски (кривая 2). Таким образом, возможно внешнее контактное трение оказывает большее влияние в области малых давлений прессования (здесь 200 МПа).

Далее сравнивали допрессовку отожженных и неотожженных брикетов. На рис. 5 приведена плотность брикетов полученных при разных давлениях прессования, а также этих же брикетов отожженных и далее допрессованных без смазки.

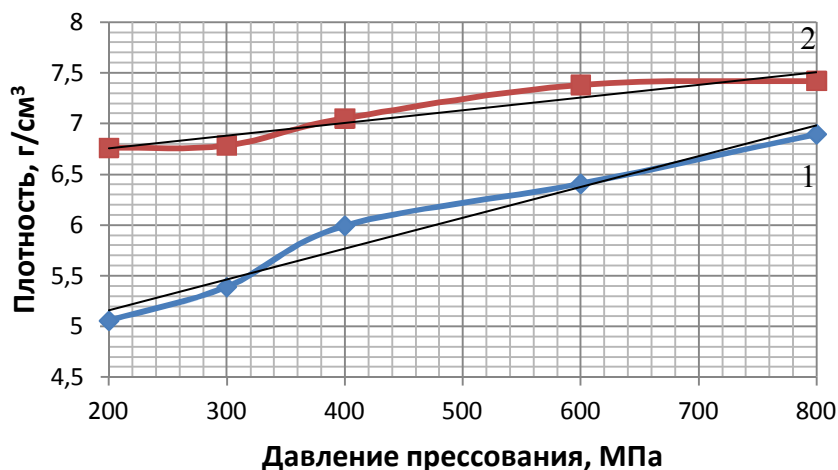


Рисунок 5 – Плотность брикетов, полученных при разных давлениях прессования (1) и плотность после их отжига и допрессовки без смазки при одном давлении 700 МПа (2)

Полученные данные, свидетельствующие о том, что отжиг благоприятствует повышению плотности при допрессовке. Повторение этого эксперимента, но дополнительно со смазкой брикетов вазелином, показали, что нанесение смазки приводит к незначительному увеличению плотности. Полученные результаты нуждаются в более наглядном сравнении. На рисунке 6 приведены значения прироста плотности при допрессовке брикетов в зависимости от давления первичного прессования в вышеприведенных экспериментах.

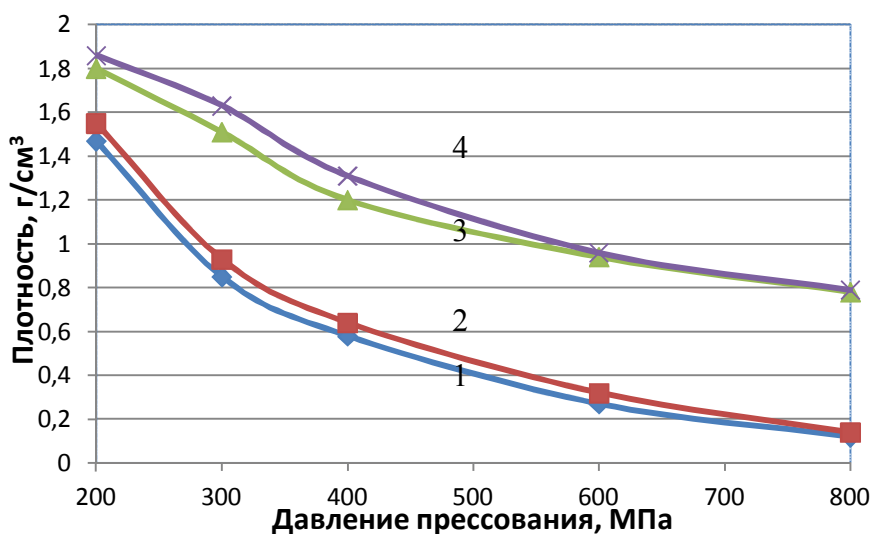


Рисунок 6 – Прирост плотности брикетов при их допрессовке при 700 МПа в разных условиях в зависимости от исходного давления их прессования: 1 – без отжига без смазки, 2 – без отжига со смазкой, 3 – с отжигом без смазки, 4 – с отжигом со смазкой

Приведенные данные свидетельствуют о том, что отжиг брикетов позволяет значительно увеличить их плотность посредством допрессовки. Достаточно очевидно, что в рамках заданной марки порошка железа дальнейшее повышение пластичности (и соответственно, их плотности при допрессовке) брикетов посредством их отжига маловероятно. Однако, замена отжига брикета его предварительным спеканием [9, 10] нецелесообразна, не только, по экономическим соображениям; спекание брикета может быть нецелесообразным и из-за образования шеек между частицами, что должно препятствовать их более плотной переукладке при допрессовке. Таким образом, из этих двух операций именно отжиг является более приемлемой альтернативой.

Поскольку каждая пресс-форма, особенно не новая, имеет свои особенности, отражающиеся на результатах прессования, был оценен и «фактор пресс-формы». Для этого использовали другую неновую разъемную пресс-форму с исходным рабочим диаметром 10 мм. Прессование в ней порошка железа и допрессовку в ней же полученных брикетов проводили при 700 МПа. Часть брикетов отжигали в менее стерильных условиях – в частично герметизированном контейнере [12] при 850 °С 0,5 час. Были получены следующие значения плотности (г/см³): после прессования и допрессовки 6,2307 и 6,7252 ($\Delta\gamma = 0,4945$ г/см³); после прессования и отжига – 6,3294, после допрессовки – 7,0943 ($\Delta\gamma = 0,7649$ г/см³). Таким образом, в разных пресс-формах были получены различные результаты.

Не менее важным является и «фактор уплотняемых частиц». В качестве последних использовали стружку – отход производства подшипников из стали ШХ-15, просеянную через сито с размером ячейки 3 мм. Прессование отожженной при 1050°С, 1 час в неполностью герметизированном контейнере стружки привело к снятию наклепа, что соответственно дало возможность ее уплотнения. Прессование стружки при 700 МПа и допрессовка брикетов при 700 МПа дали соответственно следующие значения плотности (г/см³): 5,1446 и 5,7822 ($\Delta\gamma = 0,6376$ г/см³). Отжиг стружки при 850 °С в течение 0,5 часа позволил получить при ее прессовании при 700 МПа плотность брикетов равную 6,07 г/см³, после их допрессовки – 6,31 г/см³ ($\Delta\gamma = 0,24$ г/см³).

Сравнение приведенных значений плотности исходных неотожженных и отожженных допрессованных брикетов из железного порошка свидетельствует о том, что в реальных условиях исследований, проводимых в различных организациях с использованием реально отличающейся пресс-оснастки, получение полностью совпадающих результатов маловероятно; наоборот, «дрейф» значений плотности, по-видимому, является весьма вероятным. Однако, наличие «дрейфа» плотности не нарушает имеющейся закономерности: допрессовка брикетов без их отжига повышает, а с отжигом – существенно повышает плотность брикетов. Этот прирост плотности может быть разным, но независимо от этого его наличие представляет следующие дополнительные возможности:

- дает полное представление о сравнительной уплотняемости различных порошков железа и смесей на его основе, необходимое для разработки технологий изготовления изделий;
- при использовании известных способов допрессовки принципиально позволяет существенно повысить функциональные свойства изделий на основе порошка железа, без использования дорогих и дефицитных легирующих.
- использование отжига и допрессовки позволяет полнее выявить полезные свойства стальных отходов и возможность их сочетанного использования с порошком железа.

В соответствии с этим, приведенные в настоящей работе результаты позволяют полагать, что определение прироста плотности при допрессовке отожженных и неотожженных брикетов можно рассматривать как обязательный начальный этап технологических исследований, а использование разъемных пресс-форм позволяет значительно упростить и ускорить эту часть исследований. Следует также подчеркнуть, что допрессовка отожженных брикетов, переводящая их в состояние закрытой пористости, существенно снижает требования к их защите от окисления в процессе спекания и тем самым устраняет обязательность использования проточных защитных

газовых сред. По-видимому, возможно проведение как отжига, так и спекания в неполностью герметизированных контейнерах [12], что важно при невозможности использования защитных газов.

Выводы:

1. Исследован процесс прессования и допрессовки в одной и той же разъемной пресс-форме, т. е. без зазора между стенкой пресс-формы и брикетом из порошка железа.
2. Допрессовка несмазанных брикетов при давлении их прессования повышает их плотность преимущественно за счет уплотнения срединной части брикета.
3. Смазка незначительно и отжиг брикетов существенно приводят к дополнительному повышению их плотности при допрессовке.
4. Отжиг брикетов и их допрессовка перед спеканием обуславливают возможность изготовления изделий повышенной плотности, т.е. с более высокими функциональными характеристиками без использования дорогих лигатур.
5. При использовании промышленных смесей на основе порошка железа необходима информация о возможности повышения плотности изготавливаемых из них заготовок посредством допрессовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз критических ситуаций в развитии мирового сообщества и военно-политических конфликтов / [Дементьев В. А., Кузьмин В. И., Лебедев Б. Д., Матвеев Ю. А.]. – М. : Военное изд-во, 1995. – 160 с.
2. Федорченко И. М. Основы порошковой металлургии / И. М. Федорченко, Р. А. Андриевский. – К. : Изд-во АН УССР, 1963. – 420 с.
3. Hoggan iron and steel powders for sintered components. – Hoggan, 1998. – 245 p.
4. Влияние способов изготовления и технологических характеристик железных порошков на их прессуемость / Ю. Г. Ясницкий, А. Ф. Жорняк, И. Д. Радомысльский, Э. Я. Попиченко [и др.] // Порошковая металлургия, 1976. – № 5. – С. 91–96.
5. Жуковская Л. А. Исследование путей повышения физико-механических характеристик спеченных углеродистых конструкционных материалов производства : Автореф. дисс. канд. наук / Л. А. Жуковская – К., 1974. – 24 с.
6. Акименко В. Б. Перспективные марки железных и легированных порошков ОАО ГНЦ ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина / Акименко В. Б., Гуляев И. А., Калашникова О. Ю. и др. // Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии : тез. докл. Международн. конф. (25–28 ноября 1997 г.). – К., 1997. – С. 78.
7. Пат. № 18857. Способ получения железного порошка / Пиоро Э. Ч., Данилов Л. И., Липухин Ю. В. – Заявл. 24.03.2004; опубл. 27.04.2004.
8. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения : справочник. / [И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысльский и др.]. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
9. G. Bockstiegel (1957) Arch. // Eisenhiittenwesen, 28, 3. – P. 167.
10. Артамонов А. Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов / А. Я. Артамонов. – К.: Наук. нумка, 1965. – 263 с.
11. Мартынова И. Д. Физические особенности пластической деформации пористых тел. Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. / И. Д. Мартынова – К. : Наук. думка, 1985. – С. 98–105.
12. Сосновский Л. А. Особенности спекания без использования проточных газовых сред в контейнере с неполной герметизацией / Л. А. Сосновский, Г. А. Баглюк, О. В. Власова // Порошковая металлургия. – 2013. – № 1/2. – С. 129–137.

REFERENCES

1. Dementjev V. A., Kuzjmin V. I., Lebedev B. D. & Matveev Yu. A. (1995). *Prognoz kriticheskikh situacij v razvitii mirovogo soobthstva i voenno-politicheskikh konfliktov*. M. : Voennoe izd-vo.

2. Fedorchenko I. M. & Andrievskiy R. A. (1963). *Osnovih poroshkovoy metallurgii*. K. : Izd-vo AN USSR.
3. *Hoganas iron and steel powders for sintered components* (1998). Hoganas.
4. Yasnickiy Yu. G., Zhorniyak A. F., Radomihseljskiy I. D., Popichenko Eh. Ya. Et al. (1976). Vliyanie sposobov izgotovleniya i tekhnologicheskikh kharakteristik zheleznykh poroshkov na ikh pressuemostj. *Poroshkovaya metallurgiya*, 5, 91–96.
5. Zhukovskaya L. A. (1974). Issledovanie putey povysheniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik spechennykh uglerodistikh konstrukcionnykh materialov proizvodstva. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev.
6. Akimenko V. B., Gulyaev I. A., Kalashnikova O. Yu. et al. (1997). Perspektivnihe marki zheleznykh i legirovannykh poroshkov OAO GNC CNIChermet im. I. P. Bardina. *Novyishie processih i materialih v poroshkovoy metallurgii : tez. dokl. Mezhdunarodn. konf.* Kiev, 78.
7. Pat. № 18857. Sposob polucheniya zhelezno poroshka / Pioro Eh. Ch., Danilov L. I., Lipukhin Yu. V.. – Zayavl. 24.03.2004; opubl. 27.04.2004.
8. Fedorchenko I. M., Francevich I. N., Radomihseljskiy I. D. et al. (1985). *Poroshkovaya metallurgiya. Materialih, tekhnologiya, svoystva, oblasti primeneniya : spravochnik*. K. : Nauk. dumka.
9. G. Voskstieg (1957) Arch. *Eisenhiittenwesen*, 28, 3. 167.
10. Artamonov A. Ya. (1965). *Vliyanie usloviy obrabotki na fiziko-mekhanicheskoe sostoyanie metallokeramicheskikh materialov*. K.: Nauk. numka.
11. Martihnova I. D. (1985). *Fizicheskie osobennosti plasticheskoy deformacii poristikh tel. Reologicheskie modeli i processih deformirovaniya poristikh poroshkovikh i kompozicionnykh materialov*. K. : Nauk. dumka.
12. Sosnovskiy L. A., Baglyuk G. A., Vlasova O. V. (2013). Osobennosti spekaniya bez ispolzovaniya protochnykh gazovykh sred v konteynere s nepolnoy germetizatsiej. *Poroshkovaya metallurgiya*, 1/2, 129–137.

Мініцький А. В., Сосновський Л. О., Лобода П. І. РЕЗЕРВИ УЩІЛЬНЮВАНOSTІ ПОРОШКУ ЗАЛІЗА

Уперше проведено дослідження допресовки без зазору циліндричних брикетів, отриманих пресуванням порошку заліза в роз'ємній прес-формі, і допресовки цих брикетів в тій же прес-формі. Частина спресованих брикетів піддавали відпалу в водні при температурі 850 °C; допресовку брикетів проводили як в початковому стані, так і попередньо змастивши їх поверхню вазеліном. Установлено, що допресовка брикетів дозволяє підвищити їх щільність після відпалу більш істотно ніж без їх відпалу; вплив мастила на результати допресовки незначні. Показано, що зберігається залежність щільності допресованих брикетів від тиску первинного пресування. Допресовка та відпал брикетів з промислових сумішей на основі заліза дозволяють виявити можливості поліпшення властивостей і якості спечених порошкових матеріалів.

Ключові слова: порошок, залізо, брикет, допресовка, мастило, відпал, щільність.

Minitsky A.V., Sosnovsky L.O., Loboda P.I. RESERVES COMPRESSIBILITY OF IRON POWDER

First studied re-pressing gapless cylindrical bales produced by compressing iron powder in a split mold and re-pressing these briquettes in the same mold. The part of compressed briquettes annealed in hydrogen at 850 °C; re-pressing briquettes were carried out as in the initial state, and after brushing their surface with Vaseline. It is found that the compact briquettes improves their density after annealing is more significant than without annealing; the impact of grease on the results re-pressing slightly. It is shown that the dependence of briquette is stored pressing density from the primary compacting pressure. Re-pressing briquettes and annealing of commercial iron-based mixtures allow to identify properties and enhancement of quality of sintered powder materials.

Keywords: powder, iron, briquettes, re-pressing, grease, annealing, density.

© Мініцький А. В., Сосновський Л. О., Лобода П. І.

Статтю прийнято
до редакції 26.04.16

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ НЕГАТИВНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ходаков В. Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Херсонского национального технического университета, E-mail: hodakov.viktor@gmail.com;

Соколова Н. А., д.т.н., профессор, заведующая кафедрой экономической кибернетики и управления проектами Херсонского национального технического университета, E-mail: kntu-ek@rambler.ru;

Якимчук Г. С., к.т.н., доцент, профессор кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета, E-mail: kafedra_tk@kntu.net.ua

В Восточной Европе природно-климатические условия более негативны, приближаются к экстремальным, что может приводить к ухудшению процессов обеспечения жизнедеятельности человека. Несмотря на это, в Восточной Европе нет территорий, в которых невозможно было бы создавать, приближенные к комфортным, условия жизнедеятельности человека. Однако решение этих задач требует удорожания жизни, хозяйственной деятельности, а также удорожания безопасности жизнедеятельности.

Ключевые слова: природно-климатические условия, жизнедеятельность человека, хозяйственная деятельность.

Введение. Природно-климатические условия (ПКУ) оказывают влияние на все стороны жизни человека и общества: на историю народов, менталитет, экономику, сельское хозяйство, промышленность и т.п. [1, 2], а также на характер обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Однако во многих странах Восточной Европы изучению влияния природно-климатических условий на жизнь и экономику общества долгое время не придавалось должного внимания и общество не обладало достаточным уровнем знаний о природно-климатических факторах и степени их влияния на общество.

Основное содержание. Негативные природно-климатические условия могут выступать фактором опасности (нарушения безопасности) жизнедеятельности человека. Негативные ПКУ могут вызывать такие виды опасности, как угрозы природной и экологической направленности, осуществление которых может приводить как к ухудшению состояния здоровья и даже смерти человека, так и к нанесению ущерба окружающей среде. Климат зонален, природно-климатические условия Восточной Европы более негативны, чем Западной [3]. ПКУ в Восточной Европе могут формировать потоки веществ, энергии и информации, превышающие допустимые уровни воздействия, что может приводить к негативному воздействию на здоровье человека, вызывать заболевания, приводить к деградации природной среды. Как уже отмечалось, жизнедеятельность – это повседневная деятельность человека, включающая в том числе и время его отдыха. Результатом этой деятельности должна быть полезность для человеческой личности. В зависимости от условий ее протекания она может быть как опасной, так и безопасной, как для человека, так и для окружающей среды. Для человека она может приводить к травматизму, различного рода заболеваниям, определяемым условиями жизнедеятельности, характером природно-климатических факторов, внешней средой обитания и историей. Среда обитания – это окружающая человека среда, осуществляющая через совокупность физических, биологических и социальных факторов прямое или косвенное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье и трудоспособность. Человек и среда обитания непрерывно взаимодействуют и образуют постоянно действующую систему «человек-среда обитания», в которой человек реализует свои физиологические и социальные потребности. В составе окружающей среды обитания выделяют природную, в том числе и природно-климатическую, техногенную,

производственную и бытовую среду. Каждый вид среды может представлять опасность для человека. Среда обитания состоит из: природной среды (биосфера) и техногенной среды (техносфера). Биосфера – это область распространения жизни на земле, не испытывающая техногенного воздействия (атмосфера), гидросфера, верхняя часть геосферы). Она обладает как защитными свойствами от негативных факторов на человека, так и рядом негативных факторов. Техносфера – искусственная среда обитания для совместного действия социума (человека, технологий, технических средств) для воздействия на природную среду с целью улучшения среды социальным и экономическим потребностям человека и общества.

По мере развития общества и цивилизации изменялись характер жизнедеятельности человека и условия, в которых эта деятельность протекает. Особенно активно эти изменения проявлялись в XX и XXI веках, когда интенсивно начало накапливаться повышенное антропогенное и техногенное воздействие на природную среду, что привело к частичной или полной деградации природной среды.

Этим изменениям способствовали эволюционные процессы:

- рост численности населения и урбанизация;
- рост потребления энергии, природных ресурсов;
- массовое использование транспорта, техники, технологий;
- рост затрат на военные цели, появление атомного и водородного видов вооружений.

Жизнедеятельность человека реализуется в определенных условиях. Эти условия с точки зрения безопасности жизнедеятельности могут быть разделены на:

1. Комфортные (оптимальные) условия деятельности и отдыха. К данным условиям человек приспособлен в большей степени. Проявляется наивысшая работоспособность, гарантируются сохранение здоровья и целостность компонентов среды обитания.

2. Допустимые. Характеризуются отклонением уровней потоков веществ, энергии и информации от номинальных значений в допустимых пределах. Данные условия труда не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту и снижению работоспособности и продуктивности деятельности. Не вызываются необратимые процессы у человека и среды обитания. Допустимые нормы воздействия закрепляются в санитарных нормах.

3. Опасные. Потоки веществ, энергии и информации превышают допустимые уровни воздействия. Оказывают негативное воздействие на здоровье человека. При длительном воздействии вызывают заболевания и приводят к деградации природной среды.

4. Чрезвычайно опасные. Потоки за короткий срок могут нанести травму или привести к смерти, вызывая необратимые разрушения в природной среде и нарушения в состоянии здоровья человека.

Независимо от каких-либо факторов и условий человеку свойственно стремление организовать свою жизнедеятельность в комфортных, т.е. оптимальных условиях. При этом, организовывая свою деятельность, он исследует и решает круг задач, которые обеспечивают безопасную трудовую деятельность, защиту окружающей среды и определяет закономерности их проявлений и способы защиты от них.

Однако, чем негативнее внешняя природная среда, чем неблагоприятнее природно-климатические условия, тем сложнее, труднее и более дорогостоящим становится решение проблемы безопасности жизнедеятельности человека. Решение проблемы безопасности жизнедеятельности состоит в обеспечении безопасных и в то же время комфортных условий деятельности людей, их жизни, защиты человека и окружающей его среды от воздействия вредных факторов, вызываемых более негативными природно-климатическими факторами Восточной Европы по сравнению с Западной Европой.

Для жизнедеятельности человеку как минимум необходимо: жилище, рабочее место, производственные помещения, транспортная и другая инфраструктура, питание, одежда и удовлетворение некоторых других видов потребностей.

В Восточной Европе из-за негативных природно-климатических условий удорожается жизнь и хозяйственная деятельность: удорожается создание необходимого рабочего места, производственных помещений, транспортной инфраструктуры, удорожается стоимость питания и стоимость зимней одежды и обуви. Кроме того, удорожаются жилищные условия человека и базовые потребности человека [4].

В то же время, несмотря на негативность природно-климатических условий в Восточной Европе нет стран, в которых было бы невозможно создавать комфортные или допустимые условия для жизнедеятельности человека. Для Восточной Европы характерно значительное удорожание жизни человека, жизнедеятельности, хозяйственной деятельности, в также удорожание обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Для подтверждения выше сказанного в табл. 1 приведены результаты обобщающей оценки влияния ПКУ на промышленное и сельскохозяйственное производство в Восточной и Западной Европе. Результаты сравнения в табл. 1 представлены в относительных единицах.

Таблица 1 – Оценка влияния ПКУ на промышленное и сельскохозяйственное производство в Восточной и Западной Европе

<i>№</i>	<i>Показатели</i>	<i>в Западной Европе</i>	<i>в Восточной Европе</i>
1.	Эффективность мясомолочного животноводства (в условных единицах)	2,36	1.0
2.	Эффективность сельскохозяйственного производства (зерновые и зернобобовые культуры)	2,0	1,0
3.	Удельные затраты энергии на производство пищевых продуктов	1,0	2,0 (Украина) 4,0 (Россия)
4.	Базовые усреднённые потребности человека (в условных единицах)	1,0	2,0
5.	Издержки промышленного производства	1,0	2,6
6.	Издержки строительного производства	1,0	2–3
7.	Срок окупаемости предприятий (лет)	5–6	15–18
8.	Энергопотребление (в условных единицах, из-за длительного отопительного сезона)	1,0	3,0 (Украина) 4,0 (Россия)

Издержки и затраты энергии на производство продукта, товара в условиях негативных природно-климатических условий в Восточной Европе выше, чем в Западной. Нас прежде всего интересуют зависимости потребностей индивида (человека) от природно-климатических условий, выраженные в материальных затратах. Благодаря особенностям климата (большей суровости климата и более протяжённым пространствам) совокупность базовых потребностей индивида и общества в Восточной Европе дороже и больше, а условия и уровень их удовлетворения значительно скромнее.

Заключение. В Восточной Европе природно-климатические условия более негативны, приближаясь к экстремальным, что может приводить к ухудшению процессов обеспечения жизнедеятельности человека. Несмотря на это, в Восточной Европе нет территорий, в которых невозможно было бы создавать приближённые к комфортным условия для жизнедеятельности человека. Однако решение этих задач требует значительного удорожания жизни, хозяйственной деятельности, а также удорожания безопасности жизнедеятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходаков В. Е. Влияние природно-климатических факторов на процессы развития СЭС / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова // Материалы VI Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Болгария, Варна, 2010. – С. 530–534.
2. Милов Л. В. Природно-климатический фактор и тип российского социума // Российская цивилизация. Этнокультурные и духовные аспекты. / Л. В. Милов – М., 2002. – С. 128–130.
3. Ходаков В. Е. Природно-климатические факторы и развитие социально-экономических систем / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, В. В. Крючковский. – Херсон : Гринь Д. С., 2015. – 344 с.
4. Ходаков В. Е. Учет природно-климатических факторов в задачах развития социально-экономических систем / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова // Вестник ХНТУ. – 2010. – № 2 (38). – С. 34–47.

REFERENCES

1. Khodakov V. E., Sokolova N. A. (2010). Vliyanie prirodno-klimaticheskikh faktorov na processih razvitiya SEhS. *Materialih VI Mezhdunarodnoy konferencii «Strategiya kachestva v promyshlennosti i obrazovanii»*. Bolgariya, Varna, 530–534.
2. Milov L. V. (2002). Prirodno-klimaticheskij faktor i tip rossiyskogo sociuama. *Rossiyskaya civilizaciya. Ehtnokulturniye i dukhovniye aspektih*. Moskva. 128–130.
3. Khodakov V. E., Sokolova N. A., Kryuchkovskiy V. V. (2015). *Prirodno-klimaticheskie faktorih i razvitie socialjno-ehkonomicheskikh sistem*. Kherson : Grinj D. S.
4. Khodakov V. E., Sokolova N. A. (2010). Uchet prirodno-klimaticheskikh faktorov v zadachakh razvitiya socialjno-ehkonomicheskikh sistem *Vestnik KhNTU*, № 2 (38), 34–47.

Ходаков В. Є., Соколова Н. А., Якимчук Г. С. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ПРИ НЕГАТИВНИХ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

У Східній Європі природно-кліматичні умови більш негативні та наближаються до екстремальних, що може приводити до погіршення процесів забезпечення життєдіяльності людини. Незважаючи на це, у Східній Європі немає територій, у яких неможливо було б створювати, наближені до комфортних, умов життєдіяльності людини. Однак розв'язання цих завдань вимагає подорожчання життя, господарської діяльності, а також подорожчання безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: природно-кліматичні умови, життєдіяльність людини, господарська діяльність.

Khodakov V. E., Sokolova N. A., Yakimchuk G. S. SAFETY AT NEGATIVE NATURAL CONDITIONS KLYMATYCHNYH

In Eastern Europe climatic conditions are more negative, approaching the extremes that can lead to deterioration processes of human life. Despite this, there are no territories in Eastern Europe, where it would be impossible to create, close to comfortable conditions of human life. However the solution of these tasks requires the rising cost of life, economic activities, and the safety of life.

Keywords: climatic conditions, human activity, economic activity.

© Ходаков В. Є., Соколова Н. А., Якимчук Г. С.

Статтю прийнято
до редакції 18.04.16.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕМОНТА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТРАНСПОРТЕ

Акимов А. В., старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, E-mail: akimoffsasha@hotmail.com;

Михайлик В. Д., д.т.н., профессор, профессор кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, E-mail: ksm@ksma.ks.ua;

Бень А. П., к.т.н., доцент, проректор по научно-педагогической работе Херсонской государственной морской академии, E-mail: arbarb@pochta.ru;

Ивченко Т. И., к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики, инженерной и компьютерной графики Херсонской государственной морской академии, E-mail: Galina_angel@bigmir.net;

Гнатов А. В., д.т.н., доцент, профессор кафедры автомобильной электроники Харьковского автомобильно-дорожного университета, E-mail: kalifus@yandex.ua, ORCID: 0000-0003-0932-8849

Представлена оптимизация результатов экспериментальных исследований состава защитных покрытий, предназначенных для восстановления и ремонта элементов транспортных энергетических установок, что ведет к повышению эффективности их эксплуатации. В результате проведенной оптимизации получены оптимальные значения концентраций наполнителей в трехкомпонентных бидисперсных защитных полимеркомпозитных покрытиях с улучшенными адгезионными, физико-механическими и теплофизическими свойствами.

Ключевые слова: оптимизация, защитные покрытия, полимеркомпозит.

Постановка проблемы. К актуальным проблемам современного материаловедения относятся: недостаточная прочность защитных покрытий; их теплофизические и физико-механические свойства; отсутствие теоретических основ упрочнения поверхности и защиты деталей судовых энергетических установок (СЭУ) и практических рекомендаций по повышению эксплуатационной надежности композитных материалов (КМ). Развитие промышленности в современных условиях невозможно без использования полимерных материалов и, особенно, защитных покрытий на их основе, которые отличаются повышенными показателями теплофизических и физико-механических свойств, незначительной токсичностью и горючестью. Для деталей энергетических установок, в том числе и судовых, эксплуатируемых под действием высоких температур и давлений, перспективным является использование защитных покрытий на основе полимеров. Важнейшими характеристиками указанных покрытий являются: тепло- и огнестойкость, устойчивость к воздействию агрессивных сред (топливо, масло, вода, газы и пары, ПАВ и др.) [1–11]. Таким образом выбор состава защитных покрытий и технологии их нанесения является актуальной задачей современного материаловедения, поскольку структура и толщина адгезивов, их оптимальные адгезионные, теплофизические и физико-механические свойства зависят от многих факторов. Одним из факторов, влияющих на улучшение свойств защитных покрытий является использование двух- и более компонентных бидисперсных наполнителей [12]. Поэтому для выбора оптимального состава защитных покрытий, технологии получения и нанесения, а также их дальнейшего применения необходимы сведения о механизме разрушения КМ, а также исследование влияния различных факторов на прочность и долговечность композитов, которые невозможны без предварительных экспериментальных исследований [13].

Анализ последних исследований и публикаций. Применение оптимизации состава двух- и более компонентных бидисперсных наполнителей с использованием

методов статистики и прогнозирования позволяет определить технологические параметры, обеспечивающие как улучшение адгезионных, физико-механических и теплофизических свойств, а также долговечность покрытий, так и обладающие лучшей огнестойкостью. Применение методов математической статистики и обработки результатов экспериментов дает возможность за короткий период времени оптимизировать содержание наполнителей для формирования покрытий с улучшенными свойствами [3].

Целью работы является оптимизация состава трехкомпонентного наполнителя-антипирена для защитных огнестойких покрытий на основе эпоксикомпозитов, пластифицированных трихлорэтилфосфатом для элементов энергетических установок.

Материалы и методы исследования. Исследованы составы на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93) с молекулярной массой 360...470, содержащей 21,5 % эпоксидных групп.

В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применяли отвердитель аминного типа – полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594-85), способный формировать трехмерную сетчатую структуру в отсутствии нагрева. Химическая формула ПЭПА – $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH})_n\text{H}$, где $n = 1 \dots 4$, динамическая вязкость – 0,9 Па·с.

В качестве пластификатора применяли трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) (ТУ 6-05-1611-78). Молекулярная масса ТХЭФ – 285,49; внешний вид – низковязкая прозрачная маслянистая жидкость; химическая формула – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{Cl}_3\text{O}_4\text{P}$. При введении в композицию ТХЭФ получают материал, горение которого быстро прекращается после нивелирования действия открытого пламени.

Эпоксидное связующее формировали по следующей технологии: дозирование компонентов, гидродинамическое совмещение пластификатора и эпоксидной диановой смолы ЭД-20 до получения однородной смеси и последующего полного растворения добавки в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин при комнатной температуре $T = 298 \pm 2$ К, ультразвуковая обработка продолжительностью $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, введение отвердителя ПЭПА и гидродинамическое совмещение компонентов в течение времени $\tau = 2 \pm 0,1$ мин, отверждение композиции. Отверждение КМ проводили по экспериментально установленному режиму: формирование образцов и их выдержка в течение $\tau = 12,0 \pm 0,1$ ч при температуре $T = 298 \pm 2$ К, нагрев со скоростью $v = 3$ К/мин до выбранных температур сшивания $T = 393 \pm 2$ К и $T = 413 \pm 2$ К [10] (принято по результатам предварительного исследования адгезионных и физико-механических свойств исследуемых композитов), выдержка образцов при данной температуре в течение времени $t = 2,0 \pm 0,05$ ч, медленное охлаждение до температуры $T = 298 \pm 2$ К. С целью стабилизации структурных процессов в матрице образцы выдерживали в течение времени $t = 24$ ч на воздухе при температуре $T = 298 \pm 2$ К с последующим проведением экспериментальных исследований.

Введение различных по природе, форме и дисперсности наполнителей в эпоксидное связующее способствует физико-химическому взаимодействию, возникающему на границе раздела фаз «полимер-наполнитель», и зависит от химической активности наполнителя, удельной площади поверхности, что существенно влияет на процессы структурообразования и определяет свойства КМ в процессе эксплуатации. С учетом того, что необходимо обеспечить негорючесть материалов в качестве наполнителей для экспериментальных исследований использованы: мелкозернистый наполнитель ($d = 5 \dots 10$ мкм) – совелитовый порошок (ТУ36-131-83) и крупнозернистые наполнители ($d = 63$ мкм) – алюминат кальция (ГОСТ 969-91) и хлорамин Б (ТУ 9392-031-00203306-97).

Совелитовый порошок (СП) состоит из смеси солей углекислого магния (MgCO_3) и углекислого кальция (CaCO_3) с асбестом (MgSiO_3). Средняя плотность порошка не превышает 350 кг/м^3 .

Алюминат кальция (АК) или глиноземистый цемент – неорганическое соединение с химической формулой $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$. Физические свойства: молярная масса – 158,039 г/моль; температура плавления – 1605 °С; плотность – 2,98 г/см³.

Хлорамин Б (ХАБ) представляет собой кристаллогидрат натриевой соли хлорамида бензолсульфокислоты. При нагревании разлагается с выделением хлора и хлористого водорода. Химическая формула $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NClNa}$. Молярная масса – 213,5 г/моль. ХАБ – белый или слегка желтоватый кристаллический порошок со слабым запахом хлора.

Результаты исследований и их обсуждения. Проведение экспериментальных исследований, связанных с оптимизацией состава защитных покрытий, являются, как правило, многофакторными (оптимизация свойств композитов и содержания наполнителей). Методы математической статистики позволяют адекватно оценить содержание нескольких наполнителей различной дисперсности с учетом технологических факторов, комплекса физико-механических, теплофизических свойств и показателей надежности. В работе методом математической статистики определяли оптимальное содержание в ПКМ крупнозернистых наполнителей (алюмината кальция и хлорамина Б) с дисперсностью $d = 63$ мкм и мелкозернистых наполнителей (совелитового порошка и углекислого кальция) с дисперсностью $d = 5 \dots 10$ мкм для формирования адгезионного и функционального слоев защитных покрытий.

На предварительном этапе экспериментально исследовали физико-механические и теплофизические свойства ПКМ, наполненных тремя наполнителями крупной и мелкой зернистости различной физической природы. Для прогнозирования свойств и оптимизации содержания каждого наполнителя в ПКМ проводили их статистическую обработку с помощью прикладного пакета STATGRAPHICS® Centurion XVI [15-18].

Предварительные исследования показали, что линейная модель неадекватна к экспериментальным данным, поэтому решено использовать трехфакторный центральный композиционный план ротatable-типа.

В процессе эксперимента было изучено влияние на физико-механические (модуль упругости при изгибе, E , ГПа; разрушающее напряжение при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа; ударная вязкость, W , кДж/м²) и теплофизические (теплостойкость по Мартенсу, T , К; потери массы, ε_m , %) свойства ПКМ трех факторов: содержание алюмината кальция, хлорамина Б и совелитового порошка.

Исходные данные для статистической обработки результатов исследования ПКМ1, состоящего из эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 ($q = 100$ масс.ч.), пластифицированной трихлорэтилфосфотом ($q = 10$ масс.ч.) и наполненной частицами алюмината кальция, хлорамина Б и совелитового порошка, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для статистической обработки результатов исследований свойств ПКМ1

Уровень варьирования	Переменные факторы		
	Содержание алюмината кальция, q_1 , масс.ч.	Содержание хлорамина Б, q_2 , масс.ч.	Содержание совелитового порошка, q_3 , масс.ч.
Верхний уровень	80	6	20
Нижний уровень	30	1	10

В табл. 2 приведены исходные данные и результаты реализации математической модели по результатам исследования свойств ПКМ1.

Анализ полученных с помощью прикладного пакета STATGRAPHICS® Centurion XVI результатов статистической обработки экспериментальных испытаний физико-механических (E , $\sigma_{изг}$, W) и теплофизических (T , ε_m) свойств ПКМ1, наполненного частицами алюмината кальция, хлорамина Б и совелитового порошка показывает следующее.

Таблица 2 – Исходные данные и результаты реализации математической модели по результатам экспериментальных исследований свойств ПКМ1

№ опыта	Факторы			Отклики				
	$q_1 (A)$	$q_2 (B)$	$q_3 (C)$	E	$\sigma_{изг}$	W	T	ε_m
	масс.ч.	масс.ч.	масс.ч.	ГПа	МПа	кДж/м ²	К	%
1	60	1	20	5,4	23,52	2,41	360	32,1
2	40	4	20	5,12	20,9	2,52	363	24,4
3	80	2	20	5,8	18,9	2,91	362	27,8
4	80	6	15	6,02	24,2	2,9	364	26,9
5	80	1	10	4,6	15,5	3,72	365	33,1
6	80	2	20	5,41	18,2	3,24	362	27,7
7	70	2	10	6,1	17,6	3,04	362	21,2
8	70	6	10	5,96	18,9	2,55	357	20,9
9	30	1	10	5,13	14,1	2,45	361	19,6
10	80	4	20	6,86	21,92	2,65	363	22,1
11	50	2	20	5,6	21,45	2,81	361	27,5
12	60	2	10	7,11	20,6	2,46	362	16,6
13	60	2	15	7,9	24,9	2,72	365	21,4
14	80	4	20	6,8	21,6	2,65	363	22,2
15	30	6	15	7,19	21,3	2,76	365	21,4
16	70	6	10	6,2	18,92	2,43	357	20,9

Для определения значимости факторов использовали карты Парето (рис. 1, а-д) и графики нормального вероятностного распределения (рис. 1, е-к).

На картах Парето (рис. 1, а-д) показано, что статистически значимые эффекты имеют те факторы и их сочетания (соответствующие им колонки на картах Парето), пересекающие вертикальную линию – 95 %-ю доверительную вероятность. Также, анализ полученных графиков диагностики ошибок прогноза значений (рис. 1, е-к) показывает, что факторы и сочетания, которые существенно отклоняются от прямой нормального распределения, являются значимыми в математической модели, в отличие от других факторов, расположенных непосредственно возле прямой линии распределения. Эти результаты являются подтверждением выводов о значимости факторов математической модели, сделанных с помощью карты Парето (рис. 1, а-д).

Исключив незначимые факторы и сочетания получили поверхности отклика для физико-механических (E , $\sigma_{изг}$ и W) и теплофизических (T , ε_m) свойств ПКМ1. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены поверхностями отклика (рис. 2, а-д), а также контурными графиками (рис. 2, е-к).

Математические модели, рассматриваемых физико-механических и теплофизических свойств композиционного материала ПКМ1, приведены в табл. 3.

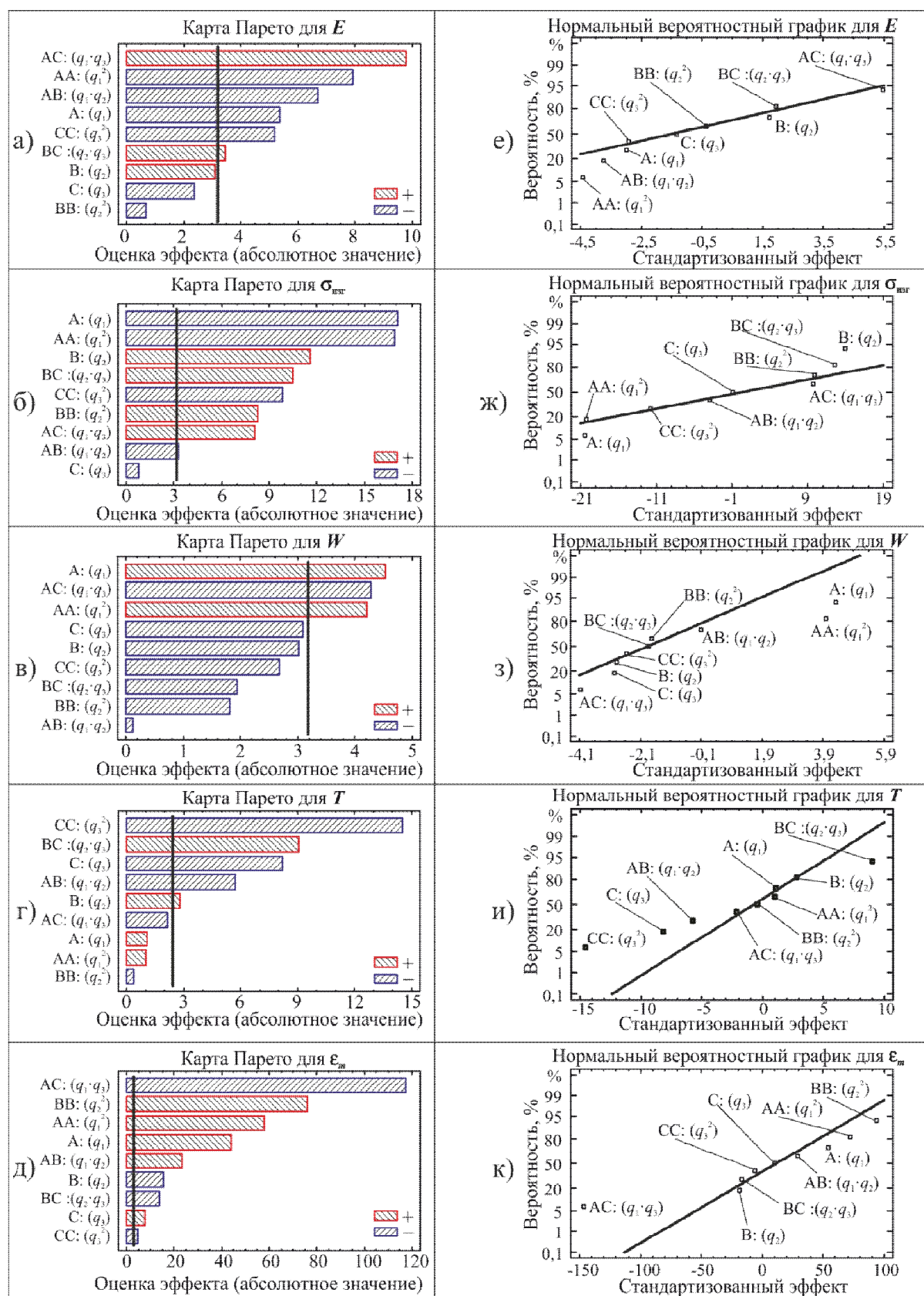


Рисунок 1 – Карты Парето (а-д) и графики диагностики отклонения ошибок прогнозирования значений выходного параметра от нормального распределения (е-к) для откликов E , $\sigma_{изг}$, W , T и ϵ_m .

Оптимальные значения показателей физико-механических и теплофизических свойств ПКМ1 при соответствующих содержаниях наполнителей (алюминат кальция – q_1 , хлорамин Б – q_2 и q_3 – совелитовый порошок) согласно данным статистической обработки приведены в табл. 4.

Таблица 3 – Математические модели физико-механических и теплофизических свойств ПКМ1

<i>Регрессионная модель</i>	$R^2, \%$	$R^2_{adj}, \%$	<i>CAO</i>
$E = -2,22 + 0,345 \cdot q_1 - 0,021 \cdot q_3 - 0,0043 \cdot q_1^2 - 0,013 \cdot q_1 \cdot q_2 + 0,013 \cdot q_1 \cdot q_3 + 0,064 \cdot q_2 \cdot q_3 - 0,033 \cdot q_3^2$	94,2	87,6	0,183
$\sigma_{изг} = -25,37 + 1,477 \cdot q_1 + 1,75 \cdot q_3 - 0,0147 \cdot q_1^2 - 0,0117 \cdot q_1 \cdot q_2 + 0,0179 \cdot q_1 \cdot q_3 + 0,691 \cdot q_2^2 + 0,288 \cdot q_2 \cdot q_3 - 0,104 \cdot q_3^2$	99,6	99,3	0,125
$W = 2,58 - 0,065 \cdot q_1 - 0,1062 \cdot q_2 + 0,208 \cdot q_3 + 0,00112 \cdot q_1^2 - 0,00345 \cdot q_1 \cdot q_2$	80,9	71,4	0,123
$T = 337,1 + 0,0862 \cdot q_1 - 2,174 \cdot q_2 + 3,575 \cdot q_3 - 0,0188 \cdot q_1 \cdot q_2 + 0,211 \cdot q_2 \cdot q_3 - 0,136 \cdot q_3^2$	99,1	98,4	0,183
$\varepsilon_m = 2,055 - 0,285 \cdot q_1 - 9,138 \cdot q_2 + 0,0091 \cdot q_3 + 0,0091 \cdot q_1^2 + 0,0136 \cdot q_1 \cdot q_2 - 0,0457 \cdot q_1 \cdot q_3 + 1,095 \cdot q_2^2 - 0,0655 \cdot q_2 \cdot q_3 - 0,0099 \cdot q_3^2$	99,9	99,9	0,0201

Примечание: R^2 – коэффициент детерминации; R^2_{adj} – уточненный коэффициент детерминации; CAO – среднее абсолютное отклонение

Таблица 4 – Оптимальные значения показателей физико-механических и теплофизических свойств ПКМ1

<i>Оптимальные значения</i>		<i>Содержание наполнителей</i>		
		<i>АК, q_1, масс.ч.</i>	<i>ХАБ, q_2, масс.ч.</i>	<i>СП, q_3, масс.ч.</i>
E_{opt} , ГПа	9,64	60	6	20
$\sigma_{изг\ opt}$, МПа	36,5	60	6	20
W_{opt} , кДж/м ²	3,75	80	1	10
T_{opt} , К	366,6	30	6	18
$\varepsilon_{m\ opt}$, кДж/м ²	33,8	80	1	18

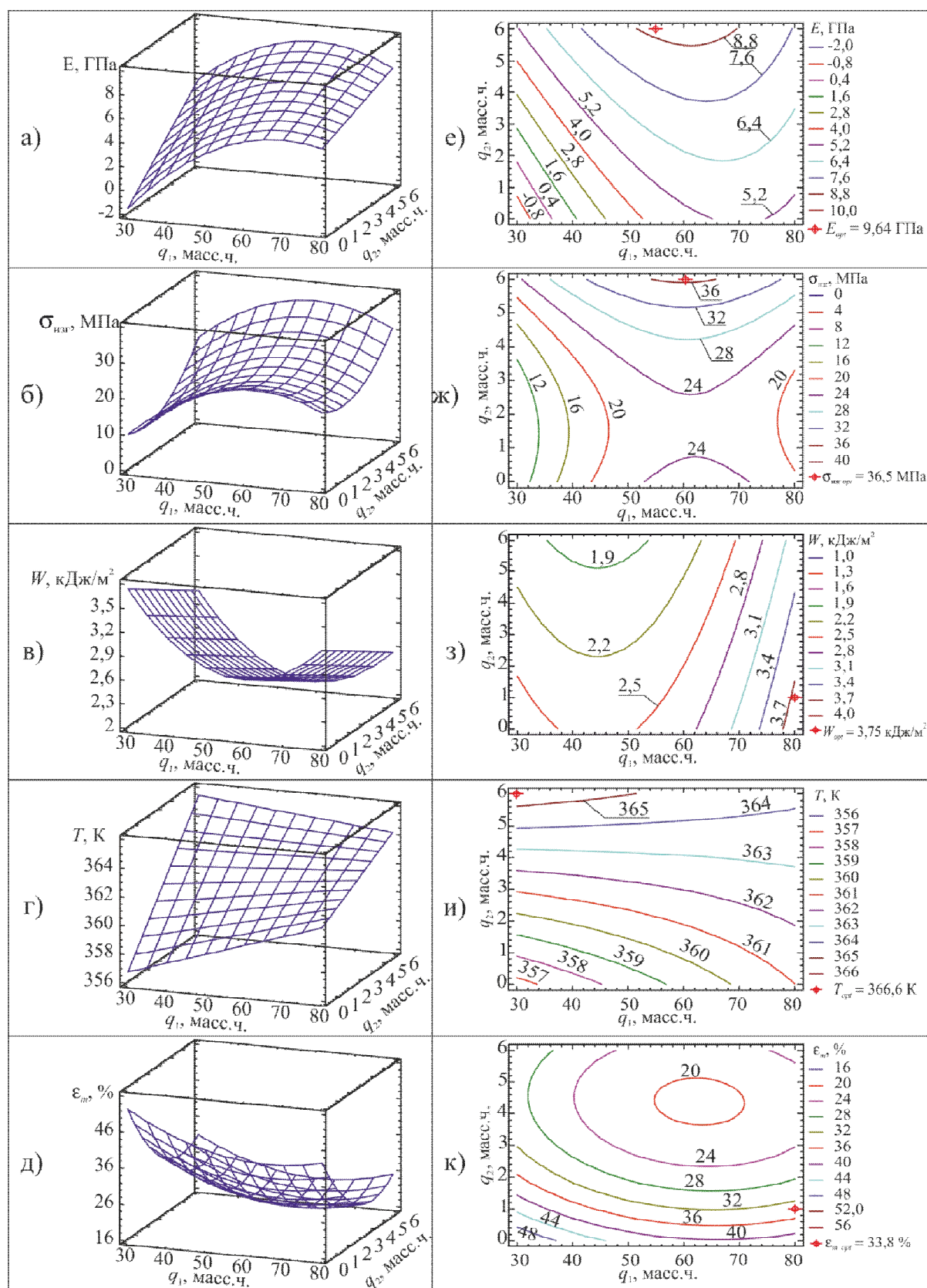


Рисунок 2 – Поверхности отклика (а-д) и контурные графики (е-к) для откликов E , $\sigma_{изг}$, W , T и ε_m при значениях q_3 , приведенным в табл. 4.

С помощью прикладного пакета STATGRAPHICS® Centurion XVI (модуль Multiple Response Optimization) провели оптимизацию полученных результатов статистической обработки для ПКМ1.

После получения полиномиальных уравнений регрессии (табл. 3), связывающих зависимые и независимые переменные, математическую модель оптимизировали

с одновременным учетом всех откликов – показателей физико-механических (E , $\sigma_{изг}$, W) и теплофизических (T , ε_m) свойств ПКМ1 с целью определения оптимального содержания наполнителей. Функцию желательности (предпочтительного использования) оценивали во всем диапазоне рассматриваемой модели [19, 20–23]. Результаты оптимизации приведены на рис. 3 и табл. 5.

При оптимизации определяли комбинацию экспериментальных факторов по всем заданным откликам путем максимизации или минимизации каждого из них. Следует отметить, что значения откликов E (модуль упругости при изгибе, ГПа), $\sigma_{изг}$ (предел прочности при изгибе, МПа), W (ударная вязкость, кДж/м²) и T (теплостойкость по Мартенсу, К) должны иметь максимальные значения, а ε_m (потери массы, %) – минимальное значение.

Определение обобщенного параметра оптимизации. В ряде случаев сведение многокритериальности к единому интегральному показателю качества осуществляется на основе функций желательности.

Под желательностью d понимали тот или иной желательный уровень параметра оптимизации. Величина d по шкала желательности, согласно [19], может меняться от 0 до 1.

Шкала выглядит следующим образом:

$d = 1,00$ – максимально возможный уровень качества;

$d = 1,00...0,80$ – допустимый и превосходный (очень высокий) уровень качества, которого также не всегда следует добиваться;

$d = 0,80...0,60$ – допустимый и хороший уровень качества (он все же выше того, которого реально добиваются);

$d = 0,60...0,37$ – допустимый и достаточный уровень качества;

$d = 0,37$ – заданный уровень качества (соответствует тому значению параметра оптимизации, которое необходимо получить);

$d = 0,37...0$ – недопустимый уровень качества;

$d = 0$ – максимально нежелательный уровень качества.

Значение d на шкале желательности можно смещать вверх или вниз в зависимости от конкретных ситуаций.

Идея использования функции желательности в качестве параметра оптимизации заключается в том, что значения каждого из параметров оптимизации (y_i), которых в задаче может быть сколь угодно много, переводят в соответствующие желательности (d_i), после чего формируют обобщенную функцию желательности (D), представляющую среднее геометрическое желательностей отдельных параметров оптимизации [19]:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}, \quad (1)$$

где n – число изучаемых параметров оптимизации.

При односторонних ограничениях типа $y \leq y_{max}$ или $y \geq y_{min}$ функцию желательности определяют из уравнения:

$$d_i = e^{-(a_i)}, \quad a_i = e^{-(y'_i)}, \quad (2)$$

где y'_i – некоторая безразмерная величина, линейно (чаще всего) или нелинейно связанная с y_i .

Значение y'_i определяют из выражения:

$$y'_i = \frac{2y_i - y_{max} - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}. \quad (3)$$

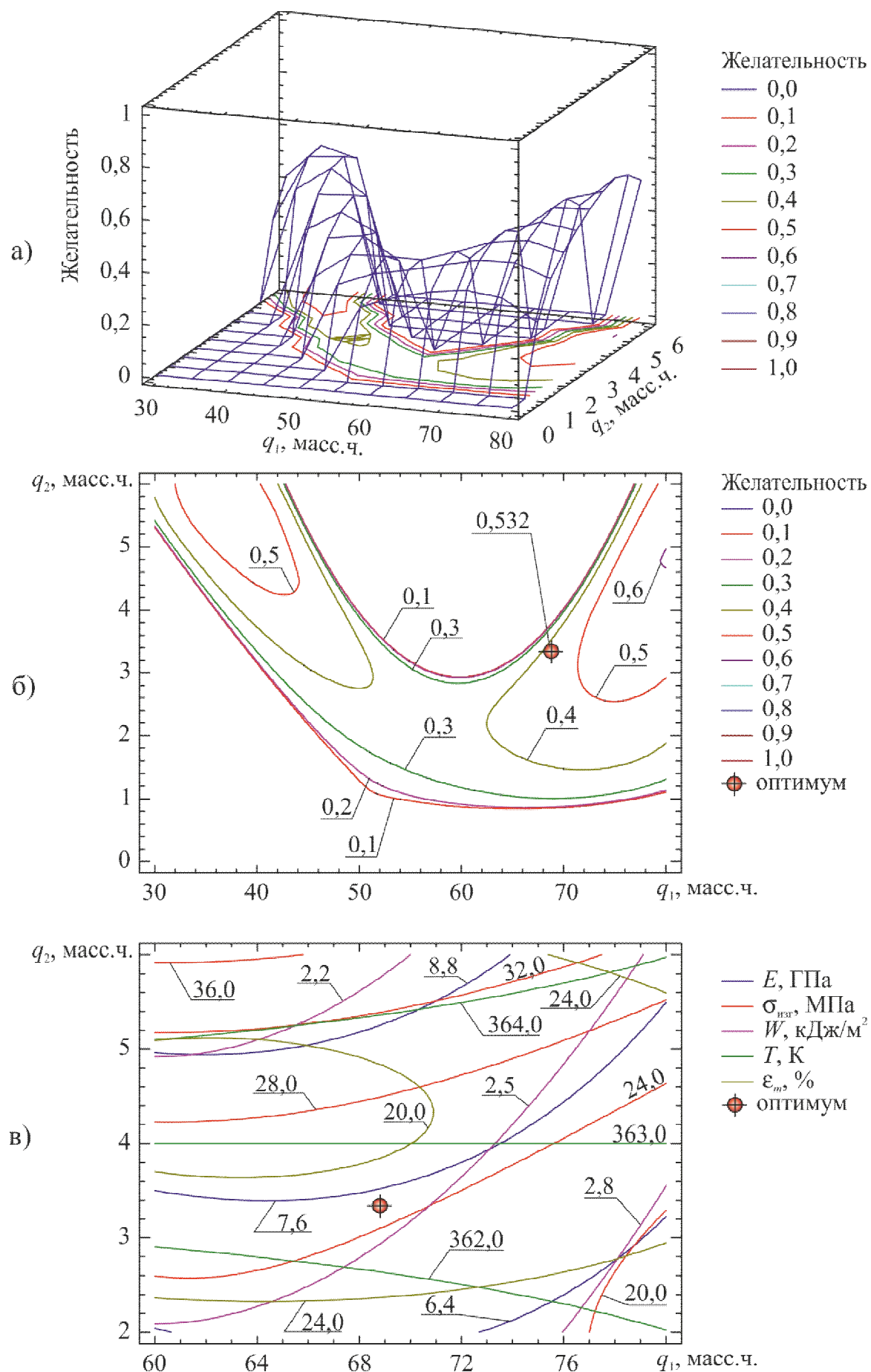


Рисунок 3 – Поверхность желательности (а), контурный график желательности (б) и контурные графики (в) для откликов E , $\sigma_{изг}$, W и ϵ_m при $q_3 = 14,9$ масс.ч.

Таблица 5 – Результаты оптимизации для ПКМ1

№ n/n	Одновременная комбинация откликов для определения желательности					Частные желательности для соответствующего параметра оптимизации					Обобщенная желательность
	Y_j					d_i					$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}$
	E	$\sigma_{изз}$	W	T	ε_m	$d_1(E)$	$d_2(\sigma_{изз})$	$d_3(W)$	$d_4(T)$	$d_5(\varepsilon_m)$	
	ГПа	МПа	кДж/м ²	К	%	—	—	—	—	—	
1	5,4	23,5	2,41	360,0	32,1	0,355	0,449	0,066	0,368	0,553	0,292
2	5,12	20,9	2,52	363,0	24,4	0,313	0,368	0,225	0,379	0,368	0,325
3	5,8	18,9	2,91	362,0	27,8	0,367	0,368	0,368	0,368	0,370	0,368
4	6,02	24,2	2,9	364,0	26,9	0,368	0,545	0,368	0,454	0,368	0,415
5	4,6	15,5	3,72	365,0	33,1	0,066	0,287	0,692	0,692	0,692	0,363
6	5,41	18,2	3,24	362,0	27,7	0,355	0,368	0,368	0,368	0,370	0,366
7	6,1	17,6	3,04	362,0	21,2	0,368	0,366	0,368	0,368	0,362	0,366
8	5,96	18,9	2,55	357,0	20,9	0,368	0,368	0,259	0,066	0,359	0,242
9	5,13	14,1	2,45	361,0	19,6	0,315	0,066	0,126	0,368	0,330	0,200
10	6,86	21,9	2,65	363,0	22,1	0,370	0,374	0,330	0,379	0,366	0,364
11	5,6	21,5	2,81	361,0	27,5	0,364	0,370	0,365	0,368	0,369	0,367
12	7,11	20,6	2,46	362,0	16,6	0,382	0,368	0,141	0,368	0,066	0,217
13	7,9	24,9	2,72	365,0	21,4	0,692	0,692	0,353	0,692	0,363	0,532
14	6,8	21,6	2,65	363,0	22,2	0,369	0,371	0,330	0,379	0,367	0,363
15	7,19	21,3	2,76	365,0	21,4	0,390	0,369	0,360	0,692	0,363	0,420
16	6,2	18,9	2,43	357,0	20,9	0,368	0,368	0,095	0,066	0,359	0,198

В результате проведенной оптимизации для ПКМ1 получили максимальное значение обобщенной желательности $D_{opt} = 0,532$ (по шкале желательности соответствует допустимому и достаточному уровню качества [19]) при котором содержание наполнителей в ПКМ1: $q_1 = 68,8$ масс.ч. – содержание алюмината кальция; $q_2 = 3,4$ масс.ч. – содержание хлорамина Б; $q_3 = 14,9$ масс.ч. – содержание совелитового порошка.

При указанном содержании наполнителей в ПКМ1 значения откликов составляют: $E = 7,7$ ГПа – модуль упругости при изгибе; $\sigma_{изг} = 23,1$ МПа – предел прочности при изгибе; $W = 3,0$ кДж/м² – ударная вязкость; $T = 365$ К – теплостойкость по Мартенсу; $\varepsilon_m = 18,9$ % – потери массы.

Выводы. Методами статической обработки результатов экспериментального исследования полимеркомпозитного материала ПКМ1 получены уравнения регрессии для физико-механических (E , $\sigma_{изг}$ и W) и теплофизических (T и ε_m) характеристик композиционных материалов, определены оптимальные значения указанных характеристик.

С помощью прикладного пакета STATGRAPHICS® Centurion XVI (модуль Multiple Response Optimization) проведена оптимизация полученных результатов статистической обработки для композиционного материала ПКМ1 по функции желательности (предпочтительного использования).

В результате проведенной оптимизации для ПКМ1 получили оптимальные концентрации наполнителей: $q_1 = 68,8$ масс.ч. – концентрация алюмината кальция; $q_2 = 3,3$ масс.ч. – концентрация хлорамина Б; $q_3 = 14,9$ масс.ч. – концентрация совелитового порошка. При указанных концентрациях наполнителей в ПКМ1 значения откликов составляют: $E = 7,7$ ГПа – модуль упругости при изгибе; $\sigma_{изг} = 23,1$ МПа – предел прочности при изгибе; $W = 3,0$ кДж/м² – ударная вязкость; $T = 365$ К – теплостойкость по Мартенсу; $\varepsilon_m = 18,9$ % – потери массы.

На основании полученных результатов планируется разработка состава новых полимерных КМ и режимов формирования полимеркомпозитных покрытий (ПКП) с улучшенными адгезионными, физико-механическими и теплофизическими свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие / [М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.] ; под. ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
2. Технические свойства полимерных материалов : учеб.-справ. пособие / В. К. Крыжановский [и др.] ; под ред. В. К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2007. – 235 с.
3. Стухляк П. Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий / П. Д. Стухляк. – Тернополь : Збруч, 1994. – 177 с.
4. Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2008. – 658 с.
5. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / В. К. Крыжановский [и др.]; под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2008. – 460 с.
6. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Профессия, 2012. – 624 с.
7. Михайлин Ю. А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2011. – 415 с.
8. Мийченко И. П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов : учеб. пособ. / И. П. Мийченко. – СПб. : Научные основы и технологии, 2012. – 374 с.
9. Крыжановский В. К. Технические свойства пластмасс : учеб. пособие / В. К. Крыжановский. – СПб. : Профессия, 2014. – 246 с.
10. Крыжановский В. К. Инженерный выбор и идентификация пластмасс / В. К. Крыжановский. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2009. – 203 с.
11. Технология полимерных материалов : учеб. пособие для вузов по спец. «Химическая технология высокомолекулярных соединений» / А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов [и др.]; под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб. : Профессия, 2008. – 533 с.
12. Букетов А. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.
13. Прочность материалов и конструкций / под ред. В.Т. Трощенко [и др.] – К. : Академперіодика, 2006. – 1076 с.
14. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б. А. Ляшенко, Е. К. Соловых, В. И. Мирненко [и др.]; под ред. В. В. Харченко. – К. : Ин-т пробл. прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2010. – 193 с.
15. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах / В. Дюк. – СПб. : Питер, 1997. – 240 с.
16. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics Centurion / Р. З. Пен. – Красноярск : СибГТУ, 2014 – 293 с.
17. Григорьев С. Г. Пакет прикладных программ STATGRAPHICS на персональном компьютере / С. Г. Григорьев, А. М. Перфилов, В. В. Левандовский [и др.] – СПб. : Питер, 1992. – 104 с.
18. STATGRAPHICS® Centurion XVII User Manual [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://cdn2.hubspot.net/hubfs/402067/Manuals/_/Statgraphics_Centurion_XVII_User_Manual.pdf?t=1456949632854.
19. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский ; АН СССР, Науч. совет по комплекс. проблеме «Кибернетика». – М. : Наука, 1976. – 280 с.
20. Ахназарова С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.

21. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В. Г. Блохин, О. П. Глудкин, А. И. Гуров, М. А. Ханин; под ред. О. П. Глудкина – М. : Радио и связь, 1997. – 232 с.

22. Грачев Ю. П. Математические методы планирования эксперимента : учеб. пособие для студ. вузов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М. : ДеЛиПринт, 2005. – 296 с.

23. Рузинов Л. П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Л. П. Рузинов, Р. И. Слободчикова. – М. : Химия, 1980. – 280 с.

REFERENCES

1. Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. et al. (2008). *Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologija*. SPb. : Professija.

2. Kryzhanovskij V. K. (Ed.). (2007). *Tehnicheskie svojstva polimernyh materialov*. SPb. : Professija.

3. Stuhljak P. D. (1994). *Jepoksidnye kompozity dlja zashhitnyh pokrytij*. Ternopol' : Zbruch.

4. Mihajlin Ju. A. (2008). *Special'nye polimernye kompozicionnye materialy*. SPb. : Nauchnye osnovy i tehnologii.

5. Kryzhanovskij V. K. (Ed.) (2008). *Proizvodstvo izdelij iz polimernyh materialov*. SPb. : Professija.

6. Mihajlin Ju. A. (2012). *Termoustojchivye polimery i polimernye materialy*. SPb. : Professija.

7. Mihajlin Ju. A. (2011). *Teplo-, termo- i ognestojkost' polimernyh materialov*. SPb. : Nauchnye osnovy i tehnologii.

8. Mijchenko I. P. (2012). *Tehnologija polufabrikatov polimernyh materialov*. SPb. : Nauchnye osnovy i tehnologii.

9. Kryzhanovskij V. K. (2014). *Tehnicheskie svojstva plastmass*. SPb. : Professija.

10. Kryzhanovskij V. K. (2009). *Inzhenernyj vybor i identifikacija plastmass*. SPb. : Nauch. osnovy i tehnologii.

11. Nikolaev A. F., Kryzhanovskij V. K., Burlov V. V. et al. (2008). *Tehnologija polimernyh materialov ; ucheb. posobie dlja vuzov po spec. «Himicheskaja tehnologija vysokomolekuljarnyh soedinenij»*. Kryzhanovskij V. K. (Ed.) SPb. : Professija.

12. Buketov A. V., Stuhljak P. D. & Chyhira I.V. (2011). *Vlastyvoli modyfikovanyh ul'trazvukom epoksyplastiv*. Ternopil' : Krok.

13. Troshhenko V. T. (Ed.). (2006). *Prochnost' materialov i konstrukcij*. Kyiv : Akademperiodika.

14. Ljashenko B. A., Solovyh E. K., Mirnenko V. I. et al. (2010). *Optimizacija tehnologii nanesenija pokrytij po kriterijam prochnosti i iznosostojkosti*. Harchenko V.V. (Ed.). Kyiv : In-t probl. Prochnosti im. G.S. Pisarenko NAN Ukrainy.

15. Djuk V. (1997). *Obrabotka dannyh na PK v primerah*. SPB. : Piter.

16. Pen R. Z. (2014). *Planirovanie jeksperimenta v Statgraphics Centurion*. Krasnojarsk : SibGTU.

17. Grigor'ev S. G., Perfilov A. M., Levandovskij V. V. et al. (1992). *Paket prikladnyh programm STATGRAPHICS na personal'nom komp'yutere*. SPb. : Piter.

18. STATGRAPHICS® Centurion XVII User Manual [cdn2.hubspot.net](http://cdn2.hubspot.net/hubfs/402067/Manuals/_Statgraphics_Centurion_XVII_User_Manual.pdf?t=1456949632854). Retrieved from http://cdn2.hubspot.net/hubfs/402067/Manuals/_Statgraphics_Centurion_XVII_User_Manual.pdf?t=1456949632854

19. Adler Ju. P., Markova E. V., Granovskij Ju. V. (1976). *Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij*. Moskva : Nauka.

20. Ahnazarova S. L., Kafarov V. V. (1985). *Metody optimizacii jeksperimenta v himicheskoy tehnologii : ucheb. posobie dlja him.-tehnol. spec. vuzov*. Moskva : Vysshaja shkola.

21. Blohin V. G., Gludkin O. P., Gurov A. I., Hanin M. A (1997). *Sovremennyj jeksperiment: podgotovka, provedenie, analiz rezul'tatov*. Gludkin O. P. (Ed.) Moskva : Radio i

svjaz'.

22. Grachev Ju. P., Plaksin Ju. M. (2005). *Matematicheskie metody planirovanija jeksperimenta : ucheb. posobie dlja stud. Vuzov*. M. : DeLiPrint.

23. Ruzinov L. P., Slobodchikova R. I. (1980). *Planirovanie jeksperimenta v himii i himicheskoy tehnologii*. M. : Himija.

Акімов О. В., Михайлик В. Д., Бень А. П., Івченко Т. І., Гнатов А. В. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РЕМОНТУ І ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ТРАНСПОРТІ

Представлена оптимізація результатів експериментальних досліджень складу захисних покриттів, призначених для відновлення та ремонту елементів транспортних енергетичних установок, що веде до підвищення ефективності їх експлуатації. У результаті проведеної оптимізації набуті оптимальних значень концентрацій наповнювачів у трикомпонентних бідисперсних захисних полімеркомпозитних покриттях із полішеними адгезійними, фізико-механичними і теплофізичними властивостями.

Ключові слова: оптимізація, захисні покриття, полімеркомпозит.

Akimov A. V., Mikhailik V. D., Ben A. P., Ivchenko T. I., Gnatov A. V. OPTIMIZATION OF PROTECTIVE COATINGS FOR THE REPAIR AND IMPROVEMENT OF THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF THE POWER PLANTS IN THE TRANSPORT

Submitted by optimizing the results of experimental studies of the composition of protective coatings designed to recover and repair of transport elements of power plants, which leads to increased efficiency of their operation. As a result of optimization of the optimal values obtained filler concentrations in the three-bidisperse polimercomposite protective coatings with improved adhesion, mechanical and thermal properties.

Keywords: optimization, protective coatings, polimercomposite.

© Акімов О. В., Михайлик В. Д., Бень А. П., Івченко Т. І., Гнатов А. В.

Статтю прийнято
до редакції 06.04.16

УДК 620.197

ЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ОТ ОКИСЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ТЕРМООБРАБОТКУ И ОБРАБОТКУ ДАВЛЕНИЕМ

Алексенко В. Л., старший преподаватель кафедры технической механики, инженерной и компьютерной графики Херсонской государственной морской академии, E-mail: mv-brailo@yandex.ua;

Брайло Н. В., к.т.н., старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, E-mail: mv-brailo@yandex.ua;

Сердюк Н. В., курсант Херсонской государственной морской академии, E-mail: mv-brailo@yandex.ua

Анализируются существующие способы безокислительного нагрева под обработку давлением и термообработку. Из них отбираются и апробируются два, которые дают лучший защитный эффект при наименьших затратах и не требуют дефицитного оборудования, материалов и сырья – временные высокотемпературные покрытия и нагрев заготовок в ваннах с расплавом стекла. Подобран состав самоудаляющегося покрытия способного выполнять роль технологической смазки при обработке давлением. Приводятся результаты лабораторных и заводских испытаний. Рекомендуется последовательное применение нагрева в расплавах стекла при ковке и штамповке с последующей защитой готовых изделий временными покрытиями при термообработке, что позволяет создать сплошной безокислительный технологический процесс производства продукции повышенного качества.

Ключевые слова: безокислительный нагрев, обработка давлением, технологическая смазка, временное высокотемпературное покрытие, нагрев в расплавах стекла.

Введение. Не вдаваясь в причины обвальной деиндустриализации большинства стран постсоветского пространства и Украины в частности, отметим, что базисом возрождения нашей экономики вероятно будут отдельные мелкие и средние фрагменты дореформенного промышленного потенциала. Сохранение наработанных и создание новых технологий для повышения конкурентоспособности таких предприятий, которые станут центрами роста послекризисной экономики, является одной из задач, стоящих перед прикладной наукой Украины.

Так, традиционные для юго-востока металлообрабатывающие производства нуждаются в совершенствовании технологии нагрева заготовок под термообработку и штамповку, что связано, в значительной степени, с негативными побочными эффектами этой важной технологической операции. Борьба с такими из них как окисление и обезуглероживание поверхности представляет для технологов наибольшие трудности, а именно эти отрицательные стороны нагрева в наибольшей степени снижают качество изделий. В частности, сильное окисление резьбы высокопрочных болтов из стали 40Х при нагреве до 860°C под термообработку, ведёт к изменению геометрии резьбы, обезуглероживанию поверхностного слоя, а в итоге к уменьшению прочности и повышенной трудоемкости очистки [1]. Особенно толстый слой окалина образуется на поверхности заготовок при нагреве до более высокой температуры 1100...1300°C для обработки давлением (головки болтов, заготовки трубных ключей и т.п.). В последнем случае окалинообразование не только снижает коэффициент использования материала, стойкость штампов и требует увеличения припусков, но и ведет к общему ухудшению качества поверхности (куски окалина вминаются в металл) и резкому увеличению трудоемкости очистных операций [1–6, 8, 12, 14–17].

Учитывая, что к настоящему времени предложено много различных способов безокислительного нагрева, из которых целый ряд оправдал себя на предприятиях с высокой культурой производства [2], разработчик поставил своей задачей их анализ и выбор одной двух таких технологий безокислительного нагрева, которые с наименьшими капитальными затратами дали бы наибольший эффект на сохраняющихся производствах.

Цель исследования. Основная часть данной разработки посвящена:

- анализу существующих способов безокислительного нагрева;
- выбору тех из них, которые дадут возможно полный защитный эффект при наименьших затратах и не потребуют дефицитного оборудования, материалов и сырья;
- проверке выбранных решений в лабораторных условиях и на производстве;
- разработке приемлемых технологических схем, которые могли бы лечь в основу заданий на конструкторские разработки.

Обзор и сравнение существующих методов безокислительного нагрева. При нагреве материалов и сплавов для термических операций прокатки, поковки, штамповки, нормализации, закалки и отпуска на поверхности заготовок образуется слой окалины, приводящий к угару до 4...10 % исходного материала [2].

Окисление поверхностных слоев сопровождается также обеднением нижележащих слоев легирующими элементами и растворением в них кислорода, азота, водорода, что приводит к изменению химического состава и механических свойств. Наличие окалины приводит к трудоемким операциям механической или химической очистки и изменениям геометрии поверхности.

Решение проблемы защиты поверхности заготовок и деталей при термообработке позволяет уменьшить и даже исключить припуски на механическую обработку, повысить механические свойства изделий, уменьшить материалоемкость и снизить трудоемкость их изготовления.

В настоящее время окисление металла при нагреве удастся уменьшить регулированием состава топочных газов и с помощью скоростного нагрева. С целью защиты деталей от окисления применяют печи с контролируемой атмосферой, а также вакуумные печи [3–6, 8]. Небольшие детали нагревают в контейнерах из коррозионностойких сталей [2, 3–6] в расплавах солей [15] и стекла [17].

Широкие перспективы открывает технология безокислительного нагрева, основанная на использовании временных защитных покрытий [2].

Проведем ориентировочное сравнение перечисленных методов в пределах требований, которые могут быть к ним чаще всего предъявлены в машиностроении. Для этого выделим основные достоинства, которыми может обладать или не обладать каждый из указанных способов защиты от окисления при нагреве.

1. Возможность практически полной защиты от окисления и обезлегирования поверхностных слоев.
2. Возможность обработки крупных заготовок.
3. Простота технологического оборудования.
4. Недефицитность оборудования.
5. Недефицитность вспомогательных материалов.
6. Невысокие цены на вспомогательные материалы.
7. Отсутствие повышенного износа основного и вспомогательного оборудования.
8. Относительная безопасность процесса.
9. Наличие положительных побочных технологических эффектов (легирование поверхностных слоев, технологические высокотемпературные смазки).

Сознавая некоторую расплывчатость и неодинаковую ценность перечисленных технологических качеств вообще и их зависимость от условий производства в частности, присвоим, тем не менее, каждому из перечисленных методов в случае наличия положительного свойства некоторую условную единицу ценности, а при отсутствии - нуль. Результаты для сравнения поместим в табл. 1.

Из таблицы следует, что среди способов, обеспечивающих высокую степень защиты заготовок от окисления, наиболее целесообразным является использование защитных покрытий. Аналогичные выводы получены в Германии [2]. Установлено, что из трех способов защиты стали от окисления и обезуглероживания: 1) применение защитной атмосферы; 2) скоростной нагрев; 3) покрытие – эффективными являются только

покрытия. Применение защитных атмосфер и скоростного нагрева не дало положительных результатов из-за окисления металла [2].

Таблица 1 – Сравнение методов безокислительного нагрева

	<i>Наименование способа безокислительного нагрева</i>	<i>Наличие или отсутствие техноло- гических и экономических качеств</i>									<i>Сумма баллов</i>	<i>Место</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>		
1	Регулирование состава топочных газов	0	1	1	1	1	1	1	1	0	7	3
2	Скоростной нагрев	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	5
3	Печи с контролируемой атмосферой (в т. ч. инертными газами)	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4	5
4	Нагрев в вакууме	1	0	0	0	1	1	1	1	0	5	4
5	Нагрев в контейнерах с инертными газами	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4	5
6	Нагрев в расплавах солей	0	0	1	1	1	1	0	0	1	5	4
7	Нагрев в расплавах стекла	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8	2
8	Защитные смеси и обмазки	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8	2
9	Высокотемпературные защитные покрытия	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1

Сущность безокислительного нагрева с использованием защитных покрытий состоит в следующем [2]: «... эти покрытия являются временными – перед нагревом заготовки покрытие наносится, а после нагрева и выполнения технологических операций удаляется с поверхности металла».

Применяют покрытия нескольких типов: эмалевые (стекловидные), стеклокерамические, стеклометаллические, керамические. Предназначены они для защиты сталей и сплавов при температурах 500...1600°C. Наиболее распространены силикатные эмали, представляющие собой сплав окислов, получаемый из смеси песка, мела, соды, глинозема и других недорогих компонентов. Эмаль наносят на поверхность деталей окунанием, обливанием или напылением. При нагреве детали слой эмали оплавляється, образуя сплошную газонепроницаемую пленку, прочно сцепленную с металлом, которая и обеспечивает защиту детали.

Технологический процесс эмалирования является простым, он не требует сложного оборудования. Расход эмали на 1 кв.м. площади не превышает 0,2...0,5 кг. При некоторых технологических операциях эмаль в процессе охлаждения (в результате значительной разницы коэффициентов теплового линейного расширения эмали и металлов) самопроизвольно удаляется с поверхности деталей, что исключает химическое травление или другую очистку. Поверхность детали остается светлой без заметных следов окисления. Детали, полученные таким методом, можно ставить в машины, подвергая механической обработке лишь места их сопряжения.

Применение покрытий при нагреве конструкционных и легированных сталей позволяет уменьшить глубину обезуглероженного слоя в 10...15 раз и обеспечить высокое качество проката.

Эмали весьма эффективны как высокотемпературные смазки при штамповке и прессовании коррозионностойких и конструкционных сталей и сплавов, снижают сопротивление деформированию, уменьшая теплоотдачу между заготовкой и штампом, а также скорость охлаждения. В результате повышается точность заготовок, увеличивается в 1,5...2,5 раза стойкость штампов.

Значительной частью положительных качеств защитных покрытий обладает их «упрощенная» разновидность, именуемая «защитные смеси и обмазки», которые, однако, не могут обеспечить полную защиту от окисления.

Большой интерес представляет использование для нагрева заготовок ванны с расплавленным стеклом [17] (2-е место в табл. 1). Этот способ обладает следующими достоинствами:

- 1) обеспечивает практически полную защиту металла от окисления и обезуглероживания;
- 2) минимальное окисление поковок при остывании на воздухе (0,2 % по опытным данным);
- 3) доступная стоимость и недефицитность защитной среды, растворение в стекломассе исходной (прокатной) окалины;
- 4) практически неограниченный верхний предел температуры нагрева;
- 5) сжигание топлива с коэффициентом расхода воздуха $\alpha = 1,0$;
- 6) равномерность нагрева, отсутствие опасности местного перегрева и окисления металла при длительной выдержке в печи;
- 7) большая скорость и тепловая экономичность нагрева, по сравнению с обычным пламенным;
- 8) наличие тонкого слоя стекла на поверхности нагретых заготовок, обеспечивающего технологическую смазку при штамповке.

Недостатки способа: он неприемлем для крупных заготовок; его применение требует решения ряда задач получения легкоплавких стёкол с низкой вязкостью и стойких к действию расплавов стекла футеровок ванн.

По совокупности технологических свойств, простоте и недефицитности оборудования и материалов, безокислительный нагрев заготовок для термообработки и штамповки а) с защитным покрытием, б) в расплавах стекла – наиболее перспективны в условиях производства.

На рис. 1–3 представлены образцы из стали У7 после пребывания в течение 2 часов при температуре 1300°C в расплаве соответствующему стеклу 291В1, шихта для которого приготовлена в лаборатории из сырья, используемого на Херсонском заводе стеклоизделий [1].



Рисунок 1 – Образцы после нагрева в расплаве стекла 291В1, где видна частично отслоившаяся стеклянная плёнка, покрытая сетью трещин



Рисунок 2 – Контрольные образцы после нагрева в атмосфере печи, слой окалины до 2 мм

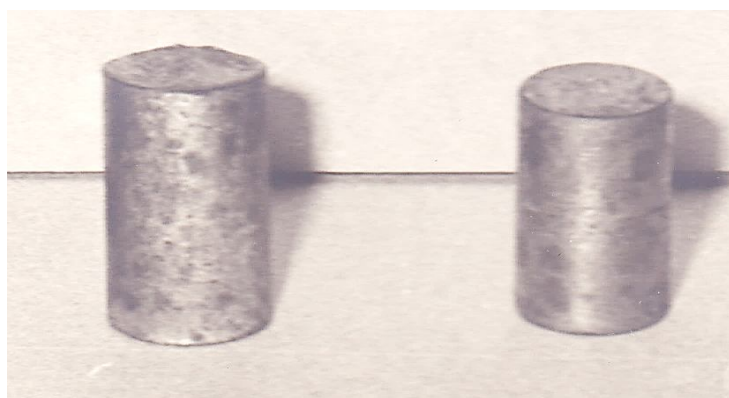


Рисунок 3 – Образцы после удаления защитного слоя стекла

Безокислительный нагрев с использованием временных высокотемпературных защитных покрытий. Этот способ безокислительного нагрева с использованием временных высокотемпературных защитных покрытий – относительно «молодой» технологический процесс и, несмотря на его успешное использование на передовых предприятиях (турбостроение [18] и т.п.), малоизвестен широкому кругу специалистов. Последнее отчасти объясняется разбросанностью сведений о нем в сравнительно небольшом числе журнальных статей и единственном справочном пособии [2], где этот вопрос изложен систематически (см. библиографию работы [2]). В настоящее время в нашей стране и за рубежом разработано большое количество защитных высокотемпературных покрытий. Отечественные защитные покрытия марок ЭВТ-8А, ЭВТ-10, ЭВТ-13, ЭВТ-20 успешно выполняют функции уменьшения окалинообразования при температурах до 900 °С, их эксплуатационные качества подробно описаны в [2]. Попытка применения указанных покрытий для низколегированных и особенно углеродистых сталей при более высоких температурах (1000...1300 °С) приводили в ряде случаев к увеличению коррозии в связи с чем в настоящее время разрабатываются [2, 9, 12] новые составы покрытий в том числе многослойные.

Ниже описаны результаты лабораторных и заводских испытаний боросиликатного временного защитного покрытия, предлагаемого разработчиком.

Боросиликатная защитная эмаль для безокислительного нагрева. Для защиты изделий из стали при нагреве под термообработку предложено защитное покрытие на базе боросиликатной эмали. При подборе состава покрытия учитывалось [2], что по сравнению с щелочными силикатными покрытиями боросиликатные покрытия обеспечивают большую стабильность свойств при нагреве заготовок. Коррозионная активность боросиликатных покрытий, даже содержащих щелочные окислы, сравнительно невелика. Эти покрытия можно отнести к легкоплавким, они имеют широкий температурный

интервал размягчения, так как их вязкость относительно медленно уменьшается при нагреве и увеличивается при охлаждении. Поэтому такие составы называются «длинными» – они сравнительно долго не затвердевают при понижении температуры заготовок.

Содержание борного ангидрида в боросиликатных покрытиях может достигать 30...40 % по массе. В качестве модифицирующих добавок используют окислы CaO , BaO , MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 . Благодаря низкому содержанию окислов щелочных металлов заметно уменьшается химическое взаимодействие расплава покрытия с защищаемыми сплавами.

Для приготовления боросиликатных покрытий используются специальные фритты, а также боросиликатные стекла, например, типа «пирекс». Боросиликатные покрытия применяются для защиты от окисления и в качестве смазки при горячей обработке давлением самых различных сталей и сплавов».

Кроме вышеперечисленного, разработчик особое внимание уделил требованию самоочищаемости при охлаждении. Известно существенное различие коэффициентов теплового расширения керамики и стали. Следовательно, эмали и глазури, предназначенные для керамики нанесённые на сталь, должны хорошо отслаиваться за счёт температурных напряжений при остывании. Кроме того, широкое производство фритты эмалей для производства керамики не требует создания аналогичных производств на предприятиях металлообрабатывающей промышленности. Такая эмаль с высоким содержанием бора показала хорошие защитные свойства и способность к самоудалению при лабораторных и заводских экспериментах с углеродистыми и легированными сталями: высокопрочные болты, детали трубных ключей, метчики [1]. Исходное сырьё для приготовления этой эмали включает следующие доступные материалы:

1 Кварцевый песок, основным компонентом которого является SiO_2 .

2 Буря $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$ (десятиводная), вместо неё можно применить природные боросодержащие минералы, например, данбурит. Химический состав одного из образцов данбурита в процентах по весу: SiO_2 – 37,7; Al_2O_3 – 0,8; Fe_2O_3 – 2,7; CaO – 31,1; Mn_2O_3 – 0,2; B_2O_3 – 20,0; R_2O – 0,2; П.П.П. – 8,0.

В последнем случае вместе с окислами бора в состав эмали одновременно будет введен кварц и окислы калия.

3 Пегматит – горная порода крупнозернистой структуры, обычно содержит 75 % полевого шпата (щелочноземельный кальциевый полевой шпат – анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ или щелочные: калиевый полевой шпат – ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$; натриевый – альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ и 25 % – кварца (SiO_2).

4 Мел (CaCO_3) – в природе образует мощные залежи.

Детали состава предлагаемой защитной эмали не приводятся в связи с подготовкой заявки на предполагаемое изобретение.

Сравнивая химический состав данного покрытия с близким по составу боросиликатными и алюмоборосиликатными покрытиями ([2]) видим, что подобный состав может оказаться полезен:

- для защиты от окисления и смазки при выдавливании, прессовании и штамповке жаропрочных и никелевых сплавов до 1200–1240 °С,

- защиты от окисления и обезуглероживания стали при нагреве до 950–1050 °С.

Выводы и рекомендации. Сравнение известных методов безокислительного нагрева показало, что наиболее перспективными для внедрения являются нагрев в расплавах стекла и использование временных защитных покрытий. Оба метода обладают единым защитным механизмом – поверхность заготовок отделяется от атмосферы печи расплавом окислов, препятствующих диффузии кислорода. Отличие фактически состоит в толщине защитного слоя. В первом случае она составляет несколько сантиметров, и защита получается исключительно надёжной (если сам расплав не проявляет агрессивных свойств) в течение нескольких часов. Во втором случае толщина покрытия – доли миллиметра и надёжное предохранение от коррозии возможно в более короткий период и при более низких температурах (речь идет только об апробированных покрытиях).

Оба способа защиты нашли применение на предприятиях с высокой культурой производства. Нами подобранно и испытано в лабораторных и заводских условиях эффективное защитное покрытие на базе боросиликатной фритты. В лабораторных условиях проверены литературные данные о ценных, технологических свойствах легкоплавких стекол № 291а и № 291В1 и подобран состав шихты на основе относительно дешевых и доступных компонентов.

Важным достоинством предлагаемых методов является их относительная простота, дешевизна и недефицитность используемых сырьевых материалов и оборудования, а также отсутствие необходимости в сколь-нибудь существенной реконструкции имеющихся производственных мощностей. Кроме того, при совместном применении оба метода взаимно дополняют друг друга, компенсируя некоторые свои недостатки. Применение нагрева в расплавах стекла ограничивает размеры заготовок и более эффективно при повышенных (более 1000...1100 °С) температурах, когда достигается достаточно низкая вязкость и слой стекла на поверхности извлеченных заготовок получается равномерным, тонким, не требующим удаления излишков и может служить технологической смазкой при обработке давлением. Необходимость подготовки поверхности заготовок отсутствует, т. к. исходная окалина быстро и полностью растворяется в расплаве.

Применение этого способа защиты эффективно на кузнечнопрессовых участках, но требует устройства печи для выплавки расплава (простейшая газовая стекловаренная печь) или ванны с футеровкой, устойчивой к действию расплава (высокоглиноземистые огнеупоры) в существующих нагревательных печах. Для очистки от остатков стекла 291В1 после штамповки может потребоваться галтовка в барабанах. При нагреве в расплавах угар металла уменьшается на 70 и более процентов, увеличивается в 1,5...2,5 раза стойкость штампов, а усилие штамповки уменьшается в 1,5...2 раза. Точность и качество поверхности повышаются, снижается трудоемкость очистки.

Если послековки, штамповки и механической обработки необходима термическая обработка (850...950 °С), то целесообразно использование защитных покрытий. Подготовка поверхностей к нанесению покрытия сведется в этом случае лишь к обезжириванию поверхностей, обработанных режущим инструментом или чистых поверхностей от обработки давлением с использованием нагрева в расплавах стекла. В термических цехах с мелкосерийным характером производства рекомендуется организация небольшого участка для нанесения защитных покрытий. Термообработка при этом ведется с использованием имеющихся нагревательных печей по существующей технологии. Небольшое возрастание трудоемкости при нанесении защитного покрытия компенсируется значительным ее сокращением при окончательной очистке готовых деталей (самоудаление). При этом практически полностью исключается обезуглероживание и существенно возрастает точность изготовления изделий и качество их поверхности.

Таким образом, последовательное применение нагрева в расплавах стекла при ковке и штамповке с последующей защитой готовых изделий временными покрытиями при термообработке позволяют создать «сплошной» безокислительный технологический процесс производства разных видов продукции повышенного качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование и совершенствование конструкций и технологи производства строительных кранов с целью повышения их надёжности и снижения себестоимости изготовления. Разработка технологических смазок для процессов ОМД : отчёт по НИР ИИ / Херсонский индустриальный институт, № Г. Р. 01825010811. – Херсон, 1983. – 133 с.
2. Солнцев С. С. Защитные покрытия металлов при нагреве : справ. пособие / С. С. Солнцев, А. Т. Туманов. – М. : Машиностроение, 1976. – 240 с.
3. Каменичный И. С. Пособие термисту инструментального цеха / И. С. Каменичный. – К.: Техника, 1975. – 174 с.

4. Каменичный И. С. Краткий справочник технолога-термиста / И. С. Каменичный. – М.; К. : Mashgiz. [Юж. отд-ние], 1963. – 286 с.
5. Каменичный И. С. Справочник термиста / И. С. Каменичный. – К. : Техника, 1978. – 230 с.
6. Высокотемпературная коррозия и методы защиты от нее : [сб. ст. / АН СССР. Ин-т физ. химии ; редкол.: д-р хим. наук А. В. Бялобжеский, д-р техн. наук Ю. Н. Голованов (отв. ред.) и др.]. – М. : Наука, 1973. – 127 с.
7. Аппен А. А. Температуроустойчивые неорганические покрытия / А. А. Аппен. – Л. : Химия, 1967 – 240 с.
8. Стычинский В. В. Предупреждение образования окалины и методы очистки деталей / В. В. Стычинский, С. Д. Бешелев. – М. : Машиностроение, 1964. – 132 с.
9. Свирский Л. Д. Исследования в области защиты металлов от окисления и обезуглероживания при высокотемпературном нагреве / Л. Д. Свирский, Л. И. Прасол, Л. Л. Брагина, Г. В. Неелова // Защитные высокотемпературные покрытия. – Л. : Наука, 1972. – С. 229–232.
10. Самсонов Г. В. Тугоплавкие покрытия / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М. : Металлургия, 1973. – 399 с.
11. Высокотемпературные неорганические покрытия / под ред. Дж. Гуменика, мл.; пер. К. С. Чернявского, под ред. д-ра техн. наук М. А. Маураха. – М. : Металлургия, 1968. – 339 с.
12. Солнцев С. С. Высокотемпературные защитные покрытия. / С. С. Солнцев, В. А. Розенкова, Г. В. Барышникова, А. Т. Туманов. – Л. : Химия, 1972. – 213 с.
13. Защитные высокотемпературные покрытия // Труды 5-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям (г. Харьков, 12-16 мая 1970 г.). – Л. : Наука, 1972. – 368 с.
14. Баязитов М. И. Борирование в обмазках при печном нагреве / М. И. Баязитов, А. А. Алиев // МиТОМ. – 1974. – № 7. – С. 46–47
15. Смольников Е. А. Соляные ванны для нагрева металлов / Е. А. Смольников // МиТОМ. – 1970. – № 11. – С. 71–78.
16. Ковалев Л. К. Стекло как смазка при горячей деформации металлов // Бюллетень «Стекло». – ГИС, 1961. – № 1. – 57 с.
17. Гущина И. И. Разработка и исследование специальных составов стекла для нагрева заготовок / И. И. Гущина, Е. Г. Шадек // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – № 9. – С. 34–37.
18. Применение стеклянных защитных покрытий при штамповке лопаток из жаропрочных сплавов / общ. ред. Н. И. Корнеев, И. Г. Скугарев, М. Я. Кулешов. – М. : Машиностроение, 1966. – 124 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khersonskiyj industrialnijj institut (1983). *Issledovanie i sovershenstvovanie konstrukcij i tekhnologi proizvodstva stroitel'nykh kranov s cel'ju povysheniya ikh nadyozhnosti i snizheniya sebestoimosti izgotovleniya. Razrabotka tekhnologicheskikh smazok dlya processov OMD : otchyot po NIR Ilyu № G. R. 01825010811*. Kherson.
2. Solncev S. S., Tumanov A. T. (1976). *Zashitnihe pokrihtiya metallov pri nagreve : sprav. posobie* M. : Mashinostroenie.
3. Kamenichnijj I. S. (1975). *Posobie termistu instrumental'nogo cekha*. Kyev: Tekhnika.
4. Kamenichnijj I. S. (1963). *Kratkiy spravochnik tekhnologa-termista*. M.; K. : Mashgiz. [Yuzh. otdnie.
5. Kamenichnijj I. S. (1978). *Spravochnik termista* K. : Tekhnika.
6. Byalobzheskijj A. V., Golovanov Yu. N. (Ed.) et al. (1973). *Vysokotemperaturnaya korroziya i metodih zashitih ot nee*. Moskva : Nauka.
7. Appen A. A. (1967). *Temperaturoustojchivihe neorganicheskie pokrihtiya* L. : Khimiya.

8. Stihchinskiy V. V., Beshelev S. D. (1964). *Preduprezhdenie obrazovaniya okalinih i metodih ochistki detaley*. M. : Mashinostroenie.
9. Svirskiy L. D., Prasol L. I., Bragina L. L., Neelova G. V. (1972). *Issledovaniya v oblasti zathitih metallov ot okisleniya i obezuglerozhivaniya pri vihsokotemperaturnom nagreve*. Zathitnihe vihsokotemperaturnihe pokrihtiya. L. : Nauka. 229–232.
10. Samsonov G. V., Ehpik A. P. (1973). *Tugoplavkie pokrihtiya* M. : Metallurgiya.
11. Maurakha M. A. (Ed.). (1968). *Vihsokotemperaturnihe neorganicheskie pokrihtiya* M. : Metallurgiya.
12. Solncev S. S., Rozenkova V. A., Barihsnikova G. V., Tumanov A. T. (1972). *Vihsokotemperaturnihe zathitnihe pokrihtiya*. L. : Khimiya.
13. Zathitnihe vihsokotemperaturnihe pokrihtiya (1972). *Trudih 5-go Vsesoyuznogo sovethaniya po zharostoykim pokrihtiyam* L. : Nauka, 368.
14. Bayazitov M. I., Aliev A. A. (1974). *Borirovanie v obmazkakh pri pechnom nagreve* MiTOM, 7, 46–47
15. Smoljnikov E. A. (1970). *Solyanihe vannih dlya nagreva metallov* MiTOM, 11, 71–78.
16. Kovalev L. K. (1961). *Steklo kak smazka pri goryacheyj deformacii metallov* Byulletenj «Steklo», GIS, 1. 57.
17. Guthina I. I., Shadek E. G. (1966). *Razrabotka i issledovanie specialjnihkh sostavov stekla dlya nagreva zagotovok*. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 9, 34–37.
18. Korneev N. I., Skugarev I. G., Kuleshov M. Ya. (Ed.) (1966). *Primenenie steklyannihkh zathitnihkh pokrihtiy pri shtampovke lopatok iz zharoprochnihkh splavov* M. : Mashinostroenie.

Алексенко В. Л., Браїло М. В., Сердюк М. В. ЗАХИСТ СТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК ВІД ОКИСЛЕННЯ В ПРОЦЕСІ НАГРІВУ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПІД ТИСКОМ

Аналізуються існуючі способи безокисного нагріву під обробку тиском і термообробку. З них відбираються і апробуються два, які дають кращий захисний ефект при найменших витратах і не вимагають дефіцитного обладнання, матеріалів і сировини – тимчасові високотемпературні покриття і нагрів заготовок в ваннах з розплавом скла. Підібрано склад самовидається покриття здатного виконувати роль технологічного мастила при обробці тиском. Наводяться результати лабораторних і заводських випробувань. Рекомендується послідовне застосування нагріву в розплавах скла при куванні і штампуванні з подальшим захистом готових виробів тимчасовими покриттями при термообробці, що дозволяє створити суцільний безокислительний технологічний процес виробництва продукції підвищеної якості.

Ключові слова: безокислительний нагрів, обробка тиском, технологічна мастило, тимчасове високотемпературне покриття, нагрів в розплавах скла.

Alekseenko V. L., Brailo N. V., Serdyuk N. V. PROTECTION OF STEEL BILLETS FROM OXIDATION DURING HEATING AND PROCESSING HEAT TREATMENT UNDER PRESSURE

Analyzed existing methods nonoxidative heating under pressure treatment and heat treatment. Of these, two are tested and selected to give the best protective effect at the lowest cost and do not require scarce equipment, supplies and raw materials – time high-temperature coating and heating of billets in baths of molten glass. Selected composition coating deletes itself capable of performing the role of technological lubrication by pressure treatment. The results of laboratory and factory tests. Recommended consistent application of heat in the glass melts in forging and stamping, followed by protection of finished products temporary cover during the heat treatment that allows you to create a solid nonoxidizing manufacturing process of high-quality products.

Keywords: nonoxidizing heating, pressure processing, Lubricants technological, temporary high-temperature coating, heating in the glass melts.

© Алексенко В. Л., Браїло М. В., Сердюк М. В.

Статтю прийнято
до редакції 24.05.16

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ ІЗ ПОЛІПШЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Букетов А. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: buketov@tstu.edu.ua;

Зінченко Д. О., аспірант кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: denim102@bk.ru;

Клевцов К. М., д.т.н., професор, професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, E-mail: buketov@tstu.edu.ua;

Бень А. П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, E-mail: a_ben@i.ua;

Наговський Д. А., к.т.н., доцент, доцент кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії, E-mail: buketov@tstu.edu.ua

Досліджено вплив вмісту дисперсних наповнювачів MoS_2 та $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ на руйнівні напруження при згинанні (σ_z), модуль пружності (E) та ударну в'язкість (W) епоксикомпозитів. Встановлено, що дисперсність і природа наповнювачів визначає їх критичний вміст у зв'язувачі.

Доведено, що для формування композитів з поліпшеними фізико-механічними властивостями необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити наповнювач дисульфід молибдену або тальку за вмісту $q = 5 \dots 15$ мас.ч. У такому випадку формуються матеріали з поліпшеними властивостями. Додатково встановлено, що отримані показники ударної в'язкості композитів при введенні у зв'язувач дисульфиду молибдену збільшуються порівняно з епоксидною матрицею у 2 рази. При цьому максимальною здатністю протидіяти ударним навантаженням і його тріщиностійкості відзначається композитний матеріал за вмісту наповнювача $q = 5$ мас.ч.

Слід зазначити, що при розробці захисних покриттів ефективність, надійність і тривалий час експлуатації досягають створенням багатошарових композитів. Тому доцільно використовувати композит у комплексі наповнений частками дисульфиду молибдену чи мікротальку за оптимального вмісту і наночасток.

Підтвердженням результатів дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів є аналіз фрактограм зламу композитів. Показано, що у матеріалах з недостатньою чи надмірною кількістю дисперсних часток спостерігали концентратори напружень. Це, у свою чергу призводить до швидкого старіння і передчасного руйнування композитів.

Ключові слова: епоксикомпозит, наповнювач, руйнівні напруження, модуль пружності, фрактограми зламу.

Постановка проблеми. Матеріали на основі епоксидних олігомерів широко застосовують у промисловості завдяки комплексу необхідних властивостей. Висока хімічна стійкість до впливу агресивних середовищ, підвищена зносостійкість зумовлює широке застосування епоксидних композитів у вигляді покриттів для захисту металевих деталей від спрацювання при терті [1]. Експлуатація технологічного устаткування при знакозмінних навантаженнях і підвищених температурах зумовлює підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик епоксикомпозитів. При розробленні систем з необхідними характеристиками необхідно раціонально поєднувати властивості матриці, інгредієнтів системи та технологічні режими формування епоксикомпозитних матеріалів. Виходячи з цього, створення нових матеріалів із підвищеною зносостійкістю на основі епоксидного зв'язувача потребує глибокого вивчення механізму їх формування в умовах впливу різних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню властивостей епоксидних композитів (КМ) присвячено публікації, у яких в основному висвітлюють питання хімії і

технології формування матеріалів, а також наведено основні характеристики нових композитів [2–4].

На сьогодні постійно збільшується кількість робіт, які присвячені дослідженню фізико-механічних властивостей КМ, зокрема композитів, що містять мікро- та макродисперсні наповнювачі [5–7]. Можна констатувати, що, вводючи у полі- чи олігомер активний до міжфазової взаємодії дисперсний наповнювач, можна отримати композит з наперед заданими і прогнозованими властивостями у комплексі. При цьому вплив наповнювача розповсюджується на увесь об'єм полімеру і суттєво змінює його властивості, особливо у зовнішніх поверхневих шарах навколо дисперсних часток [3, 4]. Окрім того, введення дешевих і активних наповнювачів, таких як дисульфід молібдену та мікротальк, у КМ зменшує можливість поширення тріщин на початковому етапі руйнування матеріалів, що, як наслідок, поліпшує їх надійність у процесі експлуатації [7–10].

Мета роботи. На основі залежності властивостей матеріалів від вмісту наповнювачів встановити критичний вміст мікродисперсних часток (дисульфиду молібдену і мікротальку) у зв'язувачі для формування покриттів з покращеними фізико-механічними характеристиками.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах [8]. Зшивали КМ, вводючи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювачі було використано частки дисульфиду молібдену (ДМ) і мікротальку (МТ) з дисперсністю 7...10 мкм.

ДМ є сухою мастильною речовиною зі стабільними властивостями при експлуатації у середовищі за діапазоном температур $T = 25...350$ °С. МТ застосовують як наповнювач у гумовій, паперовій, лакофарбовій галузях промисловості.

Епоксидний композит, наповнений частками дисперсних наповнювачів, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = 353 \pm 2$ К і її витримка при даній температурі впродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1$ хв; дозування дисперсного наповнювача та подальше введення його у епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсного наповнювача впродовж часу $\tau = 1 \pm 0,1$ хв; ультразвукова обробка (УЗО) композиції впродовж часу $\tau_3 = 1,5 \pm 0,1$ хв; охолодження композиції до кімнатної температури впродовж часу $\tau = 60 \pm 5$ хв; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = 5 \pm 0,1$ хв. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $\tau = 12,0 \pm 0,1$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання КМ впродовж часу $\tau = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі за температури $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: руйнівні напруження при згинанні, модуль пружності, ударна в'язкість.

Руйнівні напруження і модуль пружності КМ при згинанні визначали згідно ГОСТ 4648-71 і ГОСТ 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Ударну в'язкість визначали за методом Шарпі відповідно до ГОСТ 4647-80 на маятниковому копрі МК-30 за температури $T = 298 \pm 2$ К і при відносній вологості $d = 50 \pm 5$ %. Використовували зразки з розміром $(63,5 \times 12,7 \times 12,7) \pm 0,5$ мм.

Відхилення значень при дослідженнях показників фізико-механічних властивостей КМ становило 4...6 % від номінального.

Дослідження структури матеріалів проводили на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який обладнаний камерою Levenhuk C310 NG (3,2 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення змінювали в межах від $\times 100$ до $\times 1600$ разів. Безпосередньо у роботі зразки досліджували при збільшенні у $\times 400$ разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Levenhuk TourView».

Результати досліджень та їх обговорення. Для визначення критичного вмісту наповнювачів у епоксидній матриці для формування КМ з поліпшеними властивостями на початковому етапі досліджували руйнівні напруження (σ_{32}) та модуль пружності при згинанні (E). Експериментально встановлено (рис. 1), що руйнівні напруження матриці при наведених вище режимах зшивання становлять $\sigma_{32} = 48,0$ МПа.

Введення у епоксидний олігомер часток дисперсного наповнювача ДМ за вмісту $q = 5 \dots 80$ мас.ч. (тут і далі за текстом вміст дисперсних часток наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру) приводить до монотонного зменшення показників руйнівних напружень КМ до $\sigma_{32} = 29,5 \dots 39,5$ МПа (рис. 1, крива 1). Такі результати можна пояснити поступовим перенасиченням адсорбенту у композиції, а, отже, зменшенням енергії адсорбції та молекулярної рухливості структурних елементів ланцюгів епоксидного олігомеру, підвищенням в'язкості системи. Авторами [3–5] показано, що введення активних часток за значного вмісту у зв'язувач призводить до зменшення ступеня змочування дисперсного наповнювача олігомером та формування КМ з дефектами.

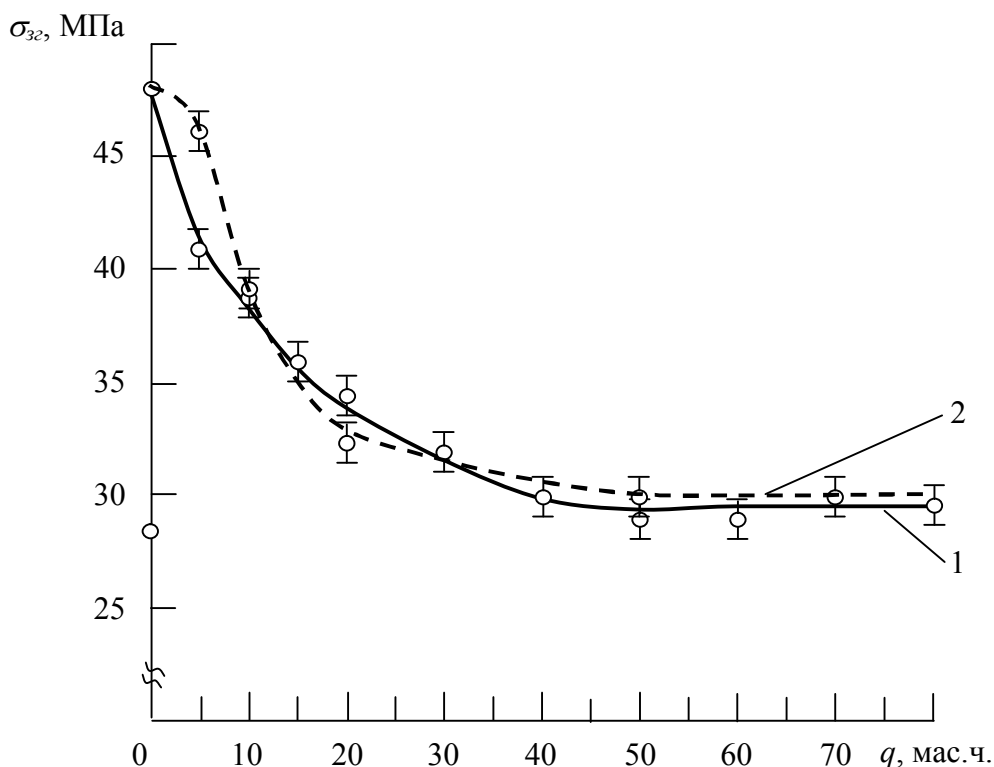


Рисунок 1 – Залежність руйнівних напружень при згинанні (σ_{32}) КМ від вмісту мікродисперсних наповнювачів: 1 – ДМ; 2 – МТ

Стосовно наповнювача МТ встановлена схожа тенденція (рис. 1, крива 2). При введенні дисперсного наповнювача за вмісту $q = 5 \dots 80$ мас.ч. спостерігали монотонне зменшення показників руйнівних напружень КМ до $\sigma_{32} = 29,9 \dots 46,1$ МПа. Максимальні значення на кривій залежності руйнівних напружень від кількості МТ спостерігали для КМ, що містить $q = 5$ мас.ч. дисперсного наповнювача ($\sigma_{32} = 46,1$ МПа). Як зазначено вище, зменшення показників руйнівних напружень при збільшенні вмісту часток у КМ пов'язано зі зменшенням ступеня змочування наповнювачів. Це також передбачає зменшення ван-дер-ваальсових сил в усьому об'ємі композиції і призводить до передчасного руйнування фізичних зв'язків під час впливу статичних навантажень.

Паралельно досліджували залежність модуля пружності при згинанні від вмісту наповнювачів у КМ (рис. 2). Експериментально встановлено, що модуль пружності при згинанні модифікованої УЗО матриці становить $E = 2,9$ ГПа. При введенні ДМ (рис. 2, крива 1) за вмісту $q = 5 \dots 80$ мас.ч. спостерігали монотонне збільшення показників модуля пружності КМ до $E = 3,0 \dots 4,0$ ГПа. Отримані результати дослідження добре узгоджуються із результатами випробувань руйнівних напружень при згинанні КМ (рис. 1, крива 1). Показано, що введення наповнювача за вмісту $q = 80$ мас.ч. сприяє максимальному підвищенню модуля пружності до $E = 4,0$ ГПа у той час, як показники руйнівних напружень є мінімальними. Це свідчить про формування жорстких систем, які відзначаються підвищеними показниками залишкових напружень і незначними пружними та пластичними деформаціями.

Стосовно наповнювача МТ (рис. 2, крива 2) можна констатувати про аналогічну тенденцію. За вмісту часток у кількості $q = 5 \dots 80$ мас.ч. спостерігали значне підвищення модуля пружності КМ з $E = 2,9$ ГПа (для епоксидної матриці) до $E = 3,5 \dots 6,6$ ГПа. Це також добре узгоджується із результатами дослідження руйнівних напружень при згинанні КМ з даним наповнювачем (рис. 1, крива 2).

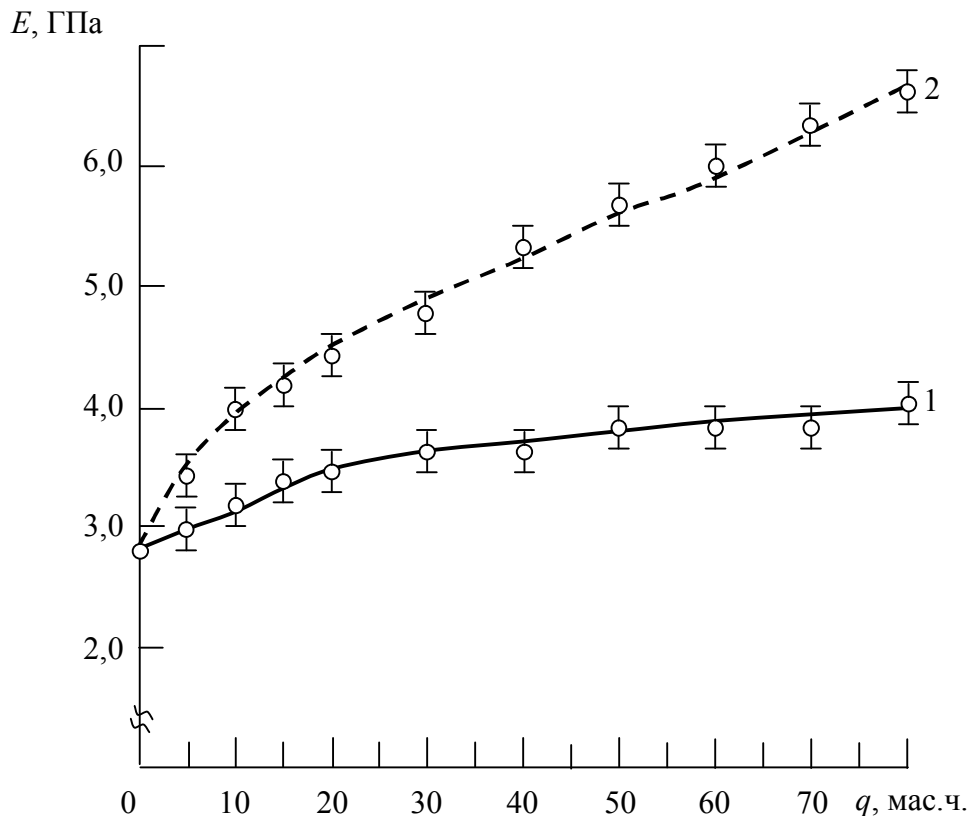


Рисунок 2 – Залежність модуля пружності при згинанні (E) КМ від вмісту мікродисперсних наповнювачів: 1 – ДМ; 2 – МТ

Із метою підтвердження наведених вище результатів на наступному етапі досліджували ударну в'язкість епоксикомпозитів, наповнених ДМ та МТ (рис. 3). Експериментально встановлено, що при введенні ДМ (рис. 3, крива 1) за вмісту $q = 5 \dots 15$ мас.ч. ударна в'язкість зростає відносно вихідної матриці ($W = 7,3$ кДж/м²) і становить $W = 13,1 \dots 14,3$ кДж/м². Максимум на кривій залежності ударної в'язкості від вмісту ДМ ($W = 14,3$ Дж/м²) виявлено при введенні часток за вмісту $q = 5$ мас.ч., що додатково узгоджується із результатами досліджень руйнівних напружень при згинанні та свідчить про інтенсифікацію процесів зшивання за даного наповнення КМ. Надалі введення наповнювача за вмісту $q = 20 \dots 80$ мас.ч. сприяє суттєвому зниженню показників ударної в'язкості КМ до $W = 7,1 \dots 8,4$ кДж/м². Збільшення вмісту наповнювача до $q = 80$ мас.ч. призводить до перенасичення композиту дисперсною добавкою. Очевидно,

що у процесі полімеризації погіршується міжфазова взаємодія системи «полімер – наповнювач», внаслідок недостатнього змочування останнього. У свою чергу це зумовлює інтенсивну міжшарову рухливість у матеріалах під час удару і, як наслідок, зменшуються показники ударної в'язкості матеріалів.

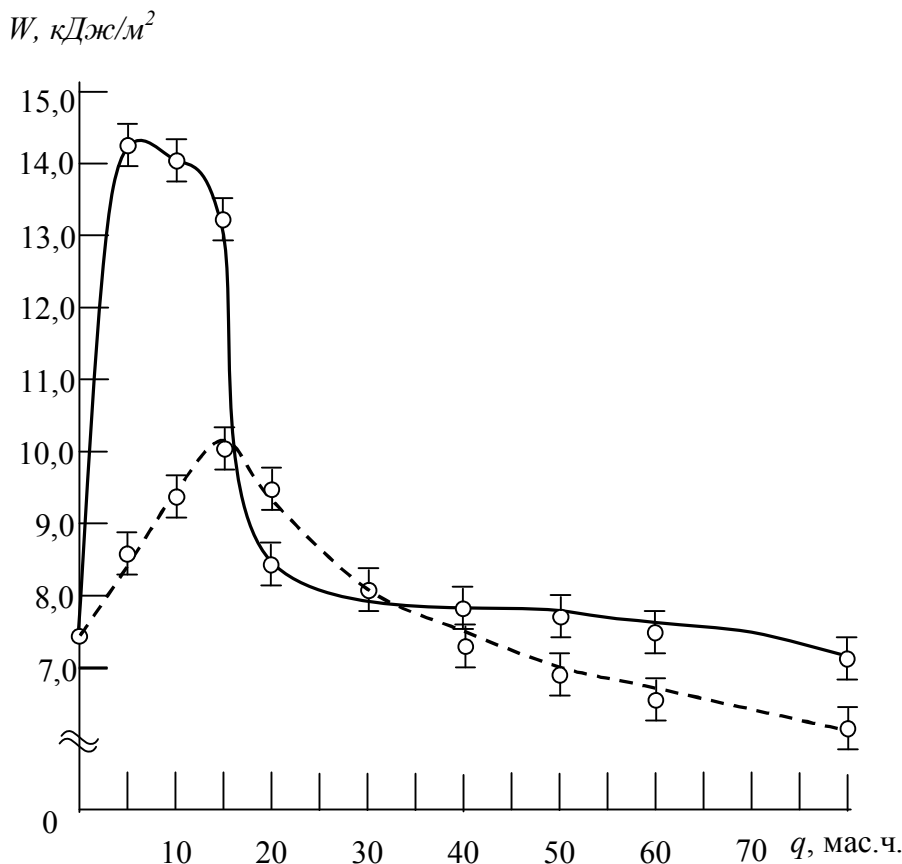


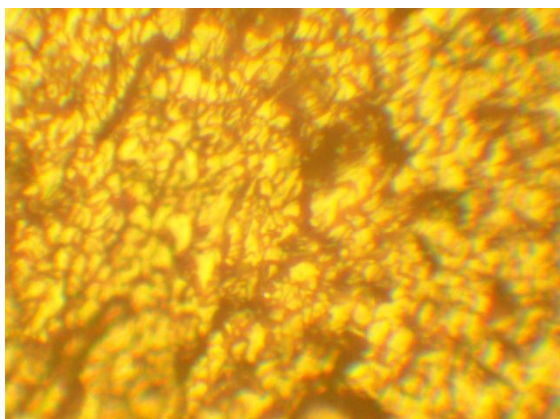
Рисунок 3 – Залежність ударної в'язкості (W) КМ від вмісту мікродисперсних наповнювачів: 1 – ДМ; 2 – МТ

Стосовно наповнювача МТ відмічено наступну тенденцію. При введенні МТ (рис. 3, крива 2) за вмісту $q = 5 \dots 15$ мас.ч. ударна в'язкість КМ зростає відносно вихідної матриці ($W = 7,3$ кДж/м²) і становить $W = 8,7 \dots 10,1$ кДж/м². Максимум на кривій залежності ударної в'язкості від вмісту МТ ($W = 10,1$ Дж/м²) виявлено при введенні часток за вмісту $q = 15$ мас.ч. Надалі введення наповнювача за вмісту $q = 20 \dots 80$ мас.ч. сприяє суттєвому зниженню показників ударної в'язкості КМ до $W = 6,0 \dots 8,4$ кДж/м².

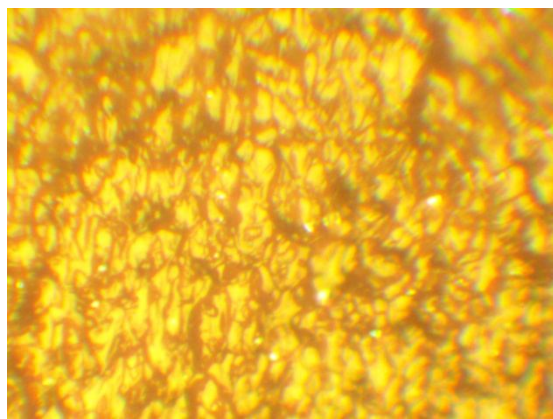
У цілому наведені вище дані добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень властивостей КМ при згинанні. Тобто, динаміка ударної в'язкості КМ від вмісту ДМ і МТ корелює з аналогічною залежністю руйнівних напружень і модуля пружності при згинанні зразків.

Додатково, для підтвердження зазначених вище результатів дослідження проаналізовано фрактограми зламу епоксикомпозитів, наповнених ДМ та МТ (рис. 4).

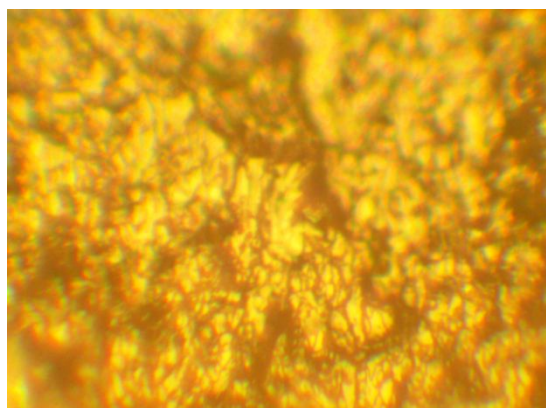
Встановлено (рис. 4), що структура поверхні зламу КМ за різним вмістом наповнювачів має подібний характер. Помітна тенденція, що зі зростанням вмісту ДМ та МТ поверхня зламу зразків відзначається більшою кількістю пор. При цьому лінії сколювання поглиблюються та розширюються, поверхня зламу набуває пластичного характеру. Це свідчить про формування напруженого стану у системах з кінетичної та термодинамічної точки зору.



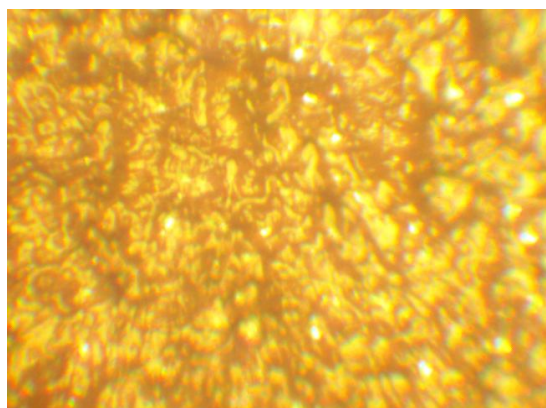
а) 5 мас.ч.



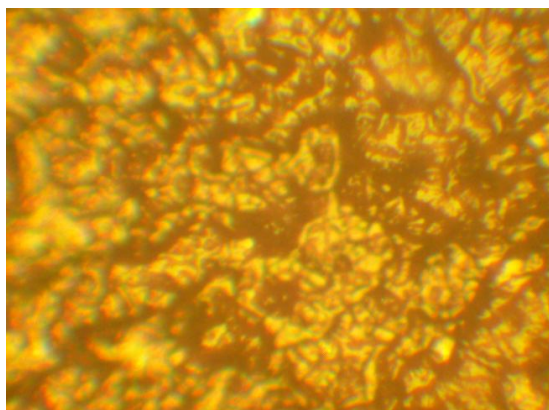
к) 5мас.ч.



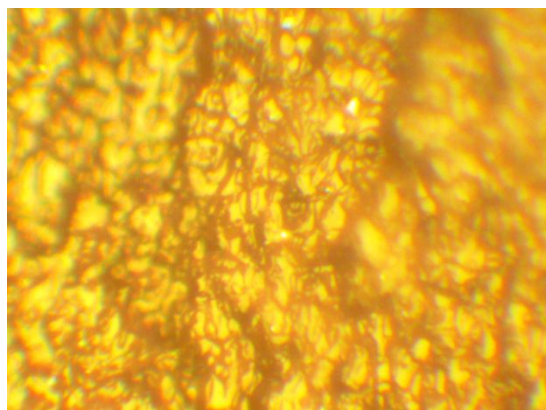
б)10 мас.ч.



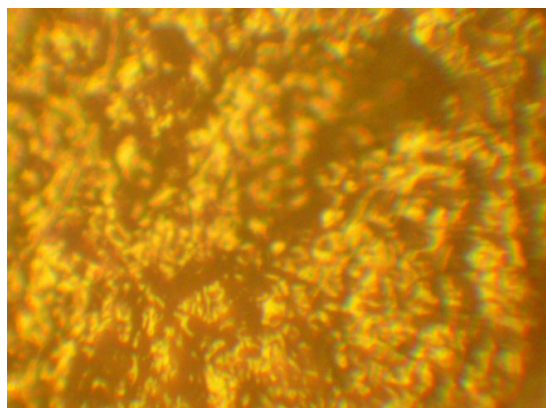
л) 10 мас.ч.



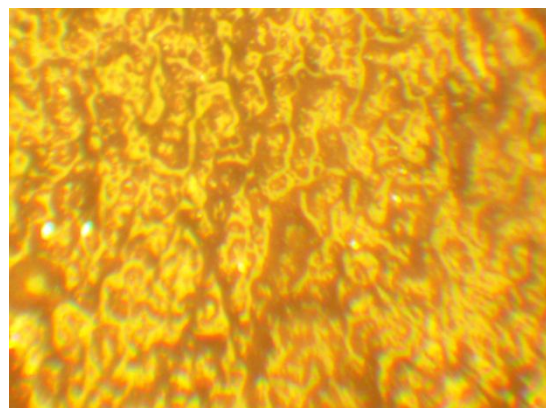
в) 15 мас.ч.



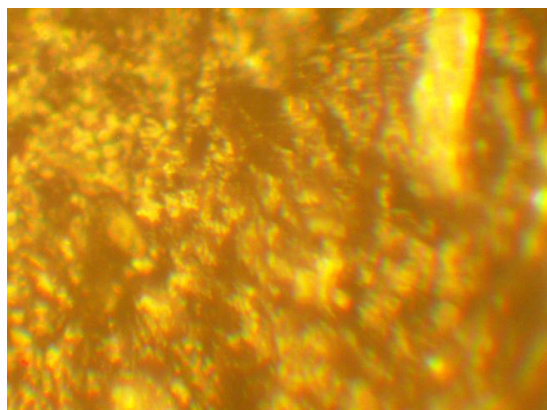
м) 15 мас.ч.



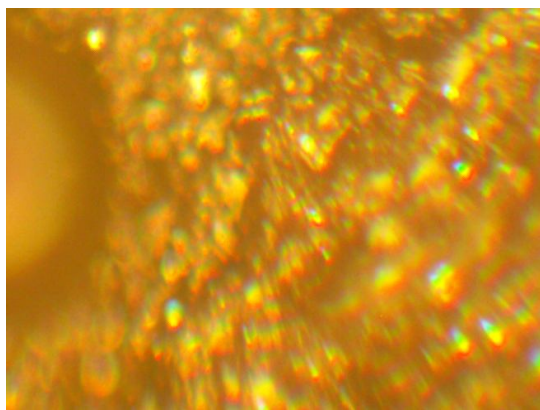
г) 20 мас.ч.



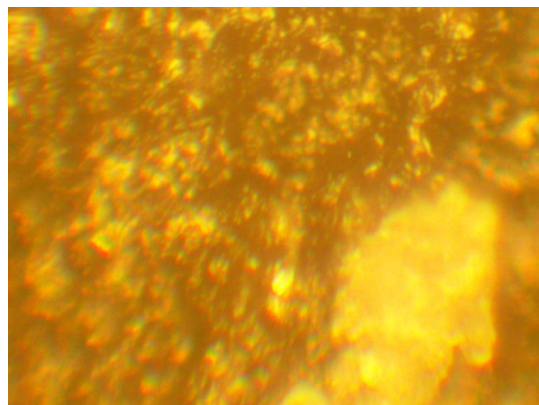
н) 20 мас.ч.



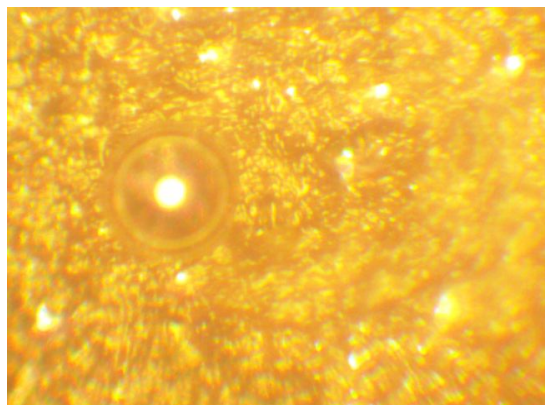
д) 30 мас.ч.



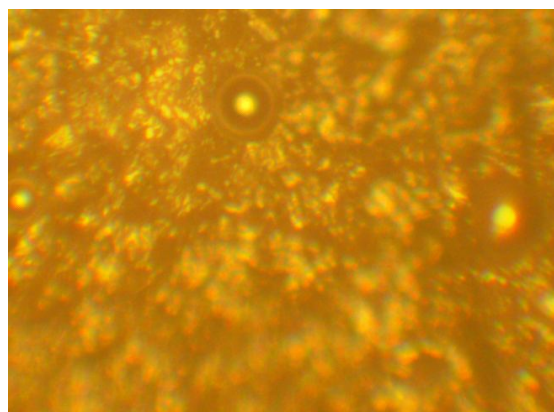
о) 30 мас.ч.



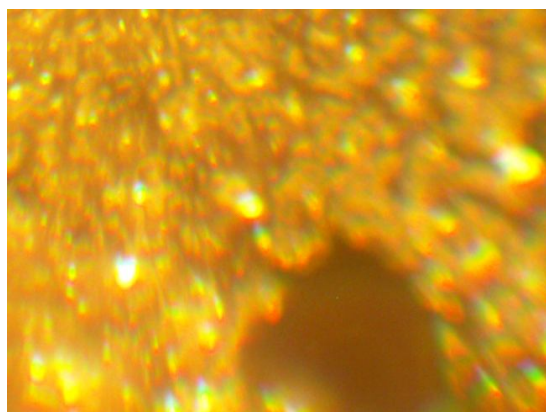
е) 40 мас.ч.



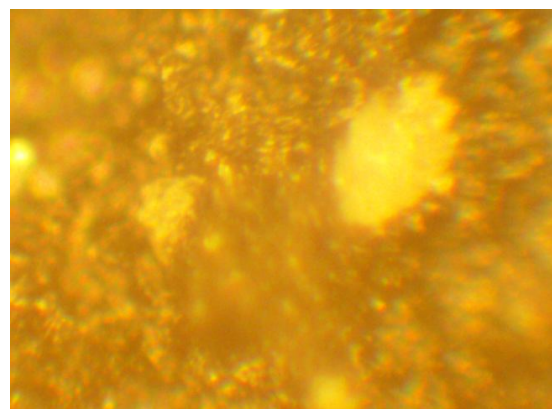
п) 40 мас.ч.



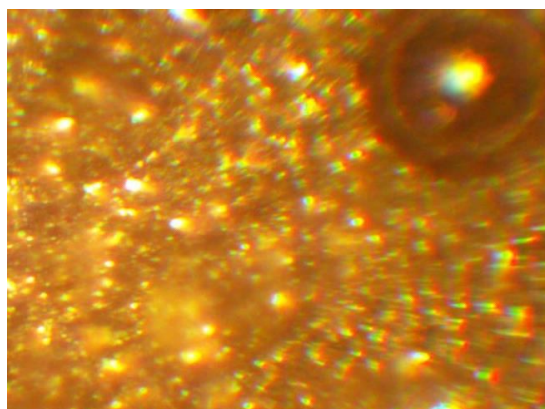
є) 50 мас.ч.



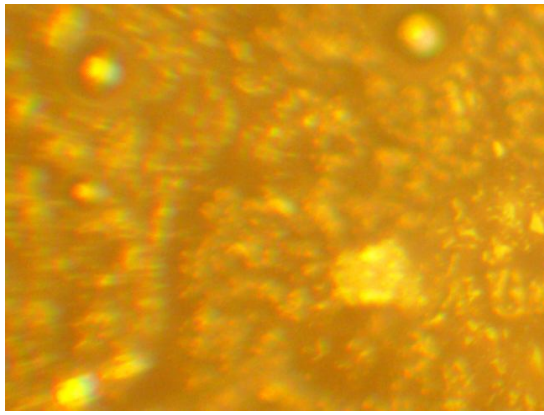
р) 50 мас.ч.



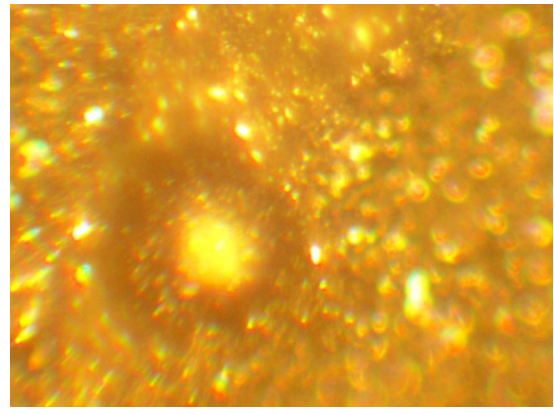
ж) 60 мас.ч.



с) 60 мас.ч.



з) 80 мас.ч.



т) 80 мас.ч.

Рисунок 4 – Фрактограми зламу ($\times 400$) епоксикомпозитів наповнених МТ та ДМ:

а-з) мікротальк; к-т) дисульфід молібдену

Аналіз структурних особливостей композитів, наповнених ДМ та МТ у кількості $q = 5 \dots 15$ мас.ч. (рис. 4, а-в і к-м відповідно), показав, що у об'ємі КМ частки рівномірно розподілені. Тобто, утворення скупчень часток наповнювачів не спостерігали. Для таких матеріалів відмічено наявність ліній сколювання рівномірного характеру, які направлені у різні боки. При цьому утворюється сітка тріщин із рівномірним їх розподілом у об'ємі матриці та на поверхні сколювання. Лінії сколювання не утворюють глибоких кратерів, вони формуються плавними і без особливо розгалужених та явно виражених траєкторій. Форма зламу відносно рівна, без слідів макроскопічних деформацій. Це додатково підтверджує результати попередніх досліджень і припущення про те, що КМ із вмістом наповнювачів ДМ та МТ у кількості $q = 5 \dots 15$ мас.ч. відзначаються максимальними значеннями руйнівних напружень при згинанні та показниками ударної в'язкості.

Для епоксикомпозитів, наповнених ДМ і МТ у кількості $q = 20 \dots 80$ мас.ч., характерний крихкий злам. Можна стверджувати, що такі матеріали є пластичними. Підтвердженням цьому є присутність на поверхні зламу жолобків і кратерів, що є додатковими концентраторами напружень у композитах (рис. 4, г-з і н-т відповідно). При цьому поверхні руйнування залишаються пологими та добре відбивають світлові промені. Мікроструктура даних епоксикомпозитів характеризується наявністю скупчень дисперсних часток мікротальку та дисульфиду молібдену, які нерівномірно розподілені у системах. Такі скупчення можуть бути ініціаторами швидкого руйнування розроблених композитів під впливом статичних та динамічних навантажень.

Отже, можна зробити висновок, що результати, отримані методом оптичної мікроскопії, добре узгоджуються з даними випробувань фізико-механічних властивостей матеріалів. При цьому аналіз фрактограм зламу дозволив констатувати про достовірність попередньо отриманих результатів дослідження фізико-механічних властивостей розроблених композитів.

Згідно результатів дослідження фізико-механічних властивостей наповнених ДМ та МТ епоксидних КМ встановлено, що максимальними значеннями руйнівних напружень при згинанні ($\sigma_{32} = 46,1$ МПа) відзначаються КМ за вмісту МТ у кількості $q = 5$ мас. ч., найбільшими показниками модуля пружності при згинанні ($E = 6,6$ ГПа) – КМ вмісту МТ у кількості $q = 80$ мас. ч., а максимальними значеннями ударної в'язкості ($W = 13,1 \dots 14,3$ кДж/м²) – композити за вмісту ДМ у кількості $q = 5 \dots 15$ мас. ч.

Зважаючи на проведені експериментальні дослідження було визначено оптимальний вміст наповнювачів для формування функціонального шару захисних покриттів, який становить $q = 5 \dots 15$ мас.ч. часток ДМ або $q = 5 \dots 15$ мас.ч. часток МТ на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20.

Висновки. На основі проведених досліджень можна констатувати наступне. Доведено, що для формування композитів із поліпшеними фізико-механічними властивостями необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити наповнювач у вигляді часток дисульфиду молібдену за вмісту $q = 5 \dots 15$ мас.ч. або часток мікротальку за вмісту $q = 5 \dots 15$ мас.ч. У такому випадку формуються матеріали з наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні $\sigma_{32} = 35,7 \dots 39,5$ МПа (для КМ з дисульфідом молібдену) та $\sigma_{32} = 35,1 \dots 46,1$ МПа (для КМ з мікротальком), модуль пружності при згинанні – $E = 3,0 \dots 3,3$ ГПа (для КМ з дисульфідом молібдену) та $E = 3,5 \dots 4,2$ ГПа (для КМ з мікротальком).

Додатково встановлено, що отримані показники ударної в'язкості композитів при введенні у зв'язувач часток дисульфиду молібдену збільшуються порівняно з епоксидною матрицею у 2 рази. При цьому максимальною здатністю протидіяти ударним навантаженням і його тріщиностійкості відзначається композитний матеріал за вмісту наповнювача у кількості $q = 5$ мас.ч. Ударна в'язкість такого композиту становить $W = 14,3$ кДж/м². Доведено, що показники ударної в'язкості композитів при введенні у зв'язувач часток мікротальку збільшуються несуттєво порівняно з показниками ударної в'язкості матриці. При цьому максимальною здатністю протидіяти ударним навантаженням і його тріщиностійкості відзначається композитний матеріал за вмісту наповнювача мікротальку у кількості $q = 15$ мас.ч. Ударна в'язкість такого композиту становить – $W = 10,0$ кДж/м².

Результати, отримані методом оптичної мікроскопії, добре узгоджуються з випробуваннями фізико-механічних властивостей матеріалів. При цьому аналіз фрактограм зламу дозволив констатувати про доцільність застосування композитів за вмісту наповнювачів у кількості $q = 5 \dots 15$ мас.ч. Такі матеріали є ефективними для практичного застосування у вигляді захисних покриттів, які експлуатують в умовах впливу знакозмінних навантажень, у тому числі й у вузлах тертя.

У майбутньому планується дослідити вплив наповнювачів на теплофізичні характеристики композитів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие для вузов по специальности «Технология перераб. пласт. масс и эластомеров» / [Кербер М. Л. и др.; под общ. ред. Берлина А. А.] – СПб. : Профессия, 2008. – 557 с.
2. Корякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Корякина. – М. : Химия, 1988. – 272 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. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням : монографія / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов. – Тернопіль : Збруч, 2009. – 237 с.
5. Букетов А. В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
6. Белый В. А. Проблема создания композиционных материалов и управление их фрикционными свойствами // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 3. – С. 389–395.
7. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Ю. С. Липатов. – К. : Наукова думка, 1980. – 260 с.
8. Стухляк П. Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий. – Тернополь : Збруч, 1994. – 177 с.
9. Буря А. И. Новые полимерные композиты в узлах трения железнодорожного транспорта / Буря А. И., Дудин В. Ю., Чукаловский П. А. // Вісник Східноукраїнського

національного університету ім. В. Даля. Техн. науки. Серія : Транспорт. – 2004. – № 8. – С. 184–189.

10. Кудина Е. Ф. Получение эпоксиминеральных дисперсных композитов / Е. Ф. Кудина // Материалы 26-й межд. конф. «Композиционные материалы в промышленности» (Ялта, Крым, 2006). – Ялта : Славполиком, 2006. – С. 315–318.

REFERENCES

1. Kerber M. L. et al. (2008). *Polimerniye kompozicionniye materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie dlya vuzov po specialnosti «Tekhnologiya pererab. plast. mass i ehlastomerov»*. Berlina A. A. (Ed.) SPb. : Professiya.
2. Koryakina, M. I. (1988). *Ispitaniye lakokrasochnnikh materialov i pokrihtiyj*. M.: Khimiya.
3. Stukhlyak P. D., Buketov A. V. & Redjko O.I. (2011). *Epoksidno-dianovi kompoziti: tekhnologiya formuvannya, fiziko-mekhanichni i teplofizichni vlastivosti*. Ternopilj : Krok.
4. Stukhlyak P. D., Buketov A. V. (2009). *Epoksikompozitni materialy, modifikovani ultravioletovim oprominenniam: monografiya*. Ternopilj: Zbruch.
5. Buketov A. V., Sapronov O. O., Aleksenko V. L. (2015). *Epoksidni nanokompoziti: monografiya*. Kherson : KhDMA.
6. Belihyj V. A. (1982). Problema sozdaniya kompozicionnikh materialov i upravlenie ikh frikcionnikhmi svoystvami. *Trenie i iznos. Vol. 3, 3*, 389–395.
7. Lipatov Yu. S. (1980). *Mezhfazniye yavleniya v polimerakh*. K.: Naukova dumka.
8. Stukhlyak P. D. (1994). *Ehpoksidniye kompozitih dlya zathitnikh pokrihtiyj*. Ternopolj: Zbruch.
9. Burya A. I., Dudin V. Yu., Chukalovskiy P. A. (2004). Noviye polimerniye kompozitih v uzlakh treniya zheleznodorozhnogo transtporta *Visnik Skhidnoukrainsjkgogo nacionaljnogo universitetu im. V. Dalya. Tekhn. nauki. Seriya : Transport*, 8, 184–189.
10. Kudina E. F. (2006). Poluchenie ehpoksimineraljnikh dispersnikh kompozitov *Materialih 26-yj mezhd. konf. «Kompozicionniye materialih v promishlennosti» (Slavpolikom). Yalta, Krihm*, 315–318.

Букетов А. В., Зинченко Д. А., Клевцов К. Н., Бень А. П., Наговский Д. А. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Исследовано влияние содержания дисперсных наполнителей MoS_2 и $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ на разрушающие напряжения при изгибе ($\sigma_{\text{изг}}$), модуль упругости (E) и ударную вязкость (W) эпоксикомпозитов. Установлено, что дисперсность и природа наполнителей определяет их критическое содержание в связующем.

Доказано, что для формирования композитов с улучшенными физико-механическими свойствами необходимо в эпоксидный олигомер ЭД-20 (100 мас.ч.) вводить наполнитель дисульфид молибдена или тальк при содержании $q = 5 \dots 15$ масс.ч. В таком случае формируются материалы с улучшенными свойствами. Дополнительно установлено, что полученные показатели ударной вязкости композитов, при введении в связующее дисульфида молибдена, увеличиваются по сравнению с эпоксидной матрицей в 2 раза. При этом максимальной способностью противодействовать ударным нагрузкам и трещиностойкостью отличается композитный материал при содержании наполнителя $q = 5$ масс.ч.

Следует отметить, что при разработке защитных покрытий эффективность, надежность и длительное время эксплуатации достигают созданием многослойных композитов. Поэтому целесообразно использовать композит, наполненный в комплексе частицами дисульфида молибдена или микроталька при оптимальном содержании и нанодобавками.

Подтверждением результатов исследования физико-механических свойств материалов является анализ фрактограмм излома композитов. Показано, что в материалах с недостаточным или избыточным количеством дисперсных частиц наблюдали концентраторы напряжений. Это в свою очередь, приводит к быстрому старению и преждевременному разрушению композитов.

Ключевые слова: эпоксикомпозиты, наполнитель, разрушающее напряжение, модуль упругости, фрактограммы излома.

Buketov A. V., Zinchenko D. O., Klevtsov K. M., Ben A. P., Nahovskyy D. A. IMPROVEMENT OF TRANSPORT SYSTEMS EXPLOITATION RELIABILITY THROUGH THE USE OF EPOXY COMPOSITES WITH IMPROVED PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES

The influence of content of MoS_2 and $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ disperse fillers on destructive stresses in bending (σ_b), the modulus of elasticity (E) and toughness (W) of epoxycomposites were investigated. It was established that the dispersion and the nature of fillers determine their critical content in binder.

It is proved that molybdenum disulfide or talc filler with a content of $q = 5 \dots 15$ wt % must be entered in epoxy oligomer ED-20 (100 wt %) for producing composites with improved physico-mechanical properties. In this case the materials with improved properties are formed. Additionally found that when inputting molybdenum disulfide in binder, the obtained toughness indexes of the composites are increasing 2-fold compared with the epoxy matrix. Also the composite material with the filler content of $q = 5$ wt % is marked by maximum ability to counteract shock loads and cracking resistance.

It should be noted that the effectiveness, reliability and long operating time are achieved by creating the multilayered composites during the development of protective coatings. So it is therefore advisable to use the composite in a complex filled with molybdenum disulfide or microtalc particles with optimal content and nanoparticles.

The fracture-graphical analysis of composites is the confirmation of study results of physico-mechanical properties. It is shown that stress concentrators were observed in materials with insufficient or excessive amount of disperse particles. This in turn leads to rapid aging and premature destruction of composites.

Keywords: epoxycomposite, filler, destructive stresses, modulus of elasticity, fracture-graphical analysis.

© Букетов А. В., Зинченко Д. О., Клевцов К. М., Бень А. П., Наговський Д. А.

Статтю прийнято
до редакції 30.05.16

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БАРАБАННЫМ ОКОМКОВАТЕЛЕМ

Исаев Е. А., д.т.н., профессор, профессор кафедры судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии,
E-mail: ischeis938@mail.ru;

Чернецкая И. Е., д.т.н., профессор, профессор кафедры вычислительной техники Юго-Западного государственного университета (г. Курск, Российская Федерация),
E-mail: white731@yandex.ru;

В статье рассмотрен процесс уплотнения сыпучих материалов на основе теории консолидации. Описание динамики уплотнения тонкоизмельченного материала, осуществляемое в фазе «течения» материала и связанное с этим явление формоизменения. Для описания процессов динамики уплотнения гранул использован закон Дарси с учетом переменности коэффициента фильтрации в зависимости от коэффициента пористости образца, а также нелинейной зависимости «напряжение – деформация», возникающей при приложении нагрузки. В результате исследования получено, что в начале процесса гранулообразования, когда гранулообразуемая масса представлена в основном исходной шихтой и определенным процентом зародышей, прирост массы гранул возрастает примерно в 4 раза, а условия воздействия на гранулообразующую среду могут быть увеличены порядка до 100 раз.

Ключевые слова: гранулообразование, полиномиальным методом, автоматическое управление.

Постановка проблемы. Основную нагрузку механического оборудования составляет динамическая нагрузка, связанная с ускорением и замедлением масс механизма в переходных процессах. Установлено, что может наступить автоколебательный режим работы оборудования при различных значениях жесткости механических характеристик электропривода и окомкователя ($\beta < \beta_B$). Это наблюдается при резком изменении производительности или скорости вращения барабана. Например, при увеличении угловой скорости вращения окомкователя, отражающей технологию процесса гранулообразования, объем сыпаемого материала уменьшается, а момент сопротивления вращению барабана M_{c2} , создаваемый массой комкуемого материала, увеличивается. При дальнейшем увеличении центробежные силы возрастают настолько, что объем сыпаемой части материала становится еще меньше объема восходящего потока. Эти специфические особенности, кроме указанного, определяются эффектом взаимодействия частиц при гранулообразовании и ростом размеров гранул. При этом существует тесная связь между угловой скоростью вращения окомкователя и производительностью по исходной шихте. Рассмотрим совокупность системы – барабанный окомкователь и электропривод с позиции двух массовой электромеханической системы, соединенные упругой механической связью.

В связи с тем, что момент сопротивления M_{c2} вносит основной вклад в дестабилизацию процесса формирования гранул, возникла необходимость исследования механической части системы управления барабанным окомкователем, структурная схема которой представлена на рис. 1.

Характерной особенностью машин и механизмов, подобных приведенной на рис. 1, является наличие упругих механических звеньев в кинематических линиях, в результате чего возникают дополнительные динамические нагрузки привода, и процессы в действительности не соответствуют оптимальным значениям [1].

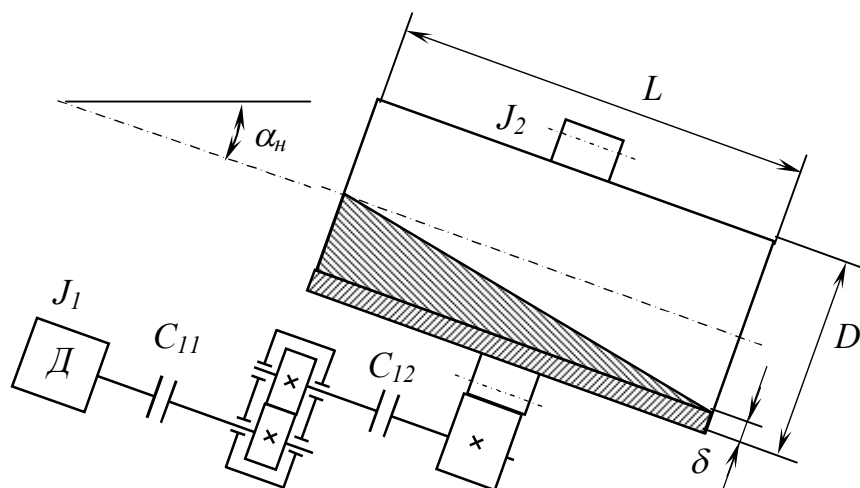


Рисунок 1 – Структурная схема механической части системы управления барабанным окомкователем

Для рис. 1. введены следующие обозначения: D – двигатель; J_2 , J_1 – моменты инерции барабана с комкуемым материалом и двигателя соответственно, причем, $J_2 = J_{\delta} + J_{cod}$ (сумма моментов инерции барабана и его содержимого, т.е. комкуемого материала); C_{11} , C_{12} – жесткость вала двигателя и барабанного окомкователя соответственно (жесткость упругих связей); L , D – длина и диаметр барабанного окомкователя соответственно; α_n – угол наклона барабанного окомкователя, относительно горизонта; δ – толщина гарнисажа (материал, налипающий на стенки барабанного окомкователя).

Преобразуем структурную схему рис. 1 в виде операторной схемы, представленной на рис. 2 [2]:

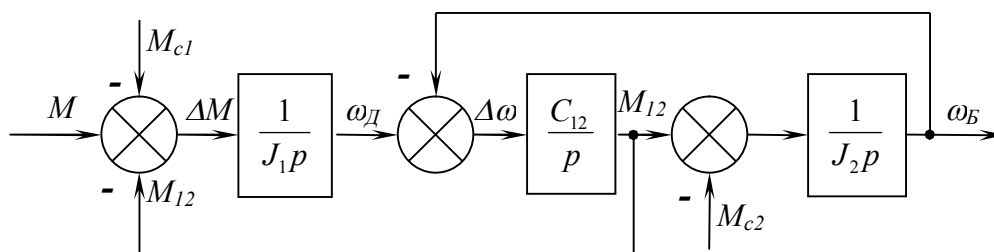


Рисунок 2 – Операторная схема механической части системы управления электроприводом барабанного окомкователя, где M , M_{c1} , M_{12} – электромагнитный момент вращения вала двигателя и моменты нагрузки; M_{c2} – момент сопротивления вращению барабана, создаваемый массой комкуемого материала; C_{12} – жесткость вала согласно рис. 1; ω_D и ω_B – угловая скорость вращения вала двигателя и барабана соответственно

Уравнения движения механической части согласно рис. 2:

$$M - M_{c1} - M_{12} = J_1 \frac{d\omega_D}{dt}; \quad M_{12} - M_{c2} = J_2 \frac{d\omega_B}{dt}; \quad \frac{dM_{12}}{dt} = C_{12}(\omega_D - \omega_B). \quad (1)$$

Расчет момента инерции содержимого производим предварительно выбрав примерные профили заполнения барабана. Предлагается для расчетов использовать следующий закон заполнения барабана:

$$\rho(\varphi, l) = \left(\frac{D}{2} - \delta \right) \left[1 - \frac{\sin \left(\varphi l - \pi \frac{l-1}{2 + \frac{1}{l}} \right)}{\varphi + \frac{l^2}{4}} \right], \quad (2)$$

где φ, l – параметры профиля заполнения барабанного окомкователя материалом.

Момент инерции пустого барабана, согласно рис. 1:

$$J_{\emptyset} = \int_0^{\delta} \rho L \pi \left(\frac{D}{2} - \delta + r \right)^3 dr = \frac{\pi \rho L}{4} \left(\frac{D}{2} - \delta + r \right)^4 \Big|_0^{\delta} = \frac{\pi \rho L}{4} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{D}{2} - \delta \right)^4 \right]. \quad (3)$$

Расчет момента инерции содержимого осуществляется по выражению:

$$J_{cod} = \iiint_D \rho^2 dm,$$

где $dm = \gamma_{нас.} \cdot dv$; $dv = \rho \cdot dl \cdot d\rho \cdot d\varphi$; $\gamma_{нас.}$ – насыпной вес материала:

$$J_{cod} = \iiint_D \gamma_{нас.} \cdot \rho^3 dl \cdot d\rho \cdot d\varphi. \quad (4)$$

Раскрывая выражение (4) получим:

$$J_{cod} = \gamma_{нас.} \int_1^{l+1} dl \int_{\pi \frac{l^2+l+1}{2l^2+l}}^{\pi \frac{l-1}{2l+1}} d\varphi \int_{\left(\frac{D}{2} - \delta \right) \left[1 - \frac{\varphi l - \pi \frac{(l-1)}{2 + \frac{1}{l}}}{\varphi + \frac{l^2}{4}} \right]}^{\frac{D}{2} - \delta} \rho^3 \cdot d\rho, \quad (5)$$

где $d\varphi, dl, d\rho$ – приращения угла поворота, длины барабана и степени заполнения материалом, соответственно.

Момент сопротивления вращению барабана определяется по выражению:

$$M_{c2} = \iiint_D \rho \sin \left(\varphi - \pi/3 \right) g dm = g \iiint_D \gamma_{нас.} \cdot \sin \left(\varphi - \pi/3 \right) \cdot \rho^2 dl \cdot d\rho \cdot d\varphi, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения.

Раскрывая приведенный интеграл (6) получим зависимость момента сопротивления вращению барабана M_{c2} , создаваемый массой материала, предназначенного для гранулообразования, от геометрических размеров барабанного окомкователя и параметров комкуемого материала:

$$M_{c2} = g \gamma_{нас.} \int_1^{L+1} dl \int_{\pi \frac{l^2+l+1}{2l^2+l}}^{\pi \frac{l-1}{2l+1}} \sin \left(\varphi - \pi/3 \right) d\varphi \int_{\xi_1}^{\frac{D}{2} - \delta} \rho^2 \cdot d\rho, \quad \xi_1 = \left(\frac{D}{2} - \delta \right) \left[1 - \frac{\varphi l - \pi \frac{(l-1)}{2 + \frac{1}{l}}}{\varphi + \frac{l^2}{4}} \right]. \quad (7)$$

Преобразование системы дифференциальных уравнений (1) путем исключения M_{l2} и ω_D относительно ω_B осуществляем по методике [2].

В этом случае передаточная функция системы имеет вид:

$$W_3(p) = \frac{-M_{c2}J_1p^2 + J_1pC_{12} - M_{c2}C_{12}}{[J_1J_2p^3 - M_{c2}J_1p^2 + (J_2 + J_1)pC_{12} - M_{c2}C_{12}]J_1p}. \quad (8)$$

Тогда зависимость скорости вращения барабана от момента M определяется выражением:

$$\omega_B = M \frac{-M_{c2}J_1p^2 + J_1pC_{12} - M_{c2}C_{12}}{[J_1J_2p^3 - M_{c2}J_1p^2 + (J_2 + J_1)pC_{12} - M_{c2}C_{12}]J_1p}, \quad (9)$$

или после простых преобразований, выражение, устанавливающее зависимость угловой скорости вращения барабана ω_B от момента двигателя M :

$$\omega_B = \frac{1}{J_1J_2} \left[\frac{J_2J_1(M - M_{c2})}{J_2 + J_1} - \frac{M_{c2}J_1^2 + J_2J_1M}{J_2 + J_1} \cos \left(\sqrt{\frac{(J_2 + J_1)}{J_2J_1}} C_{12}t \right) \right]. \quad (10)$$

Анализируя (10) отметим колебательный характер угловой скорости вращения барабана в функции соотношения моментов M и M_{c2} , и моментов инерции J_1 и J_2 , откуда следует, что ω_B изменяется во времени периодически, а амплитуда колебаний ω_B определяется M и M_{c2} (рис. 3, рис. 4). При незначительной разности M и M_{c2} , т. е. в установившемся режиме, возбуждаются колебания, амплитуда которых лежит в допустимых пределах. Если же разность моментов значительна, то в системе возникают низкочастотные колебания с большой амплитудой, что отрицательно сказывается на работе механизмов и нарушает нормальный ход процесса производства гранул [3]. Исходя из вышесказанного, для стабилизации угловой скорости вращения барабанного окомкователя целесообразна разработка системы автоматического управления гранулообразования [1].

Целью исследования является разработка и описание работы системы автоматического управления барабанным окомкователем.

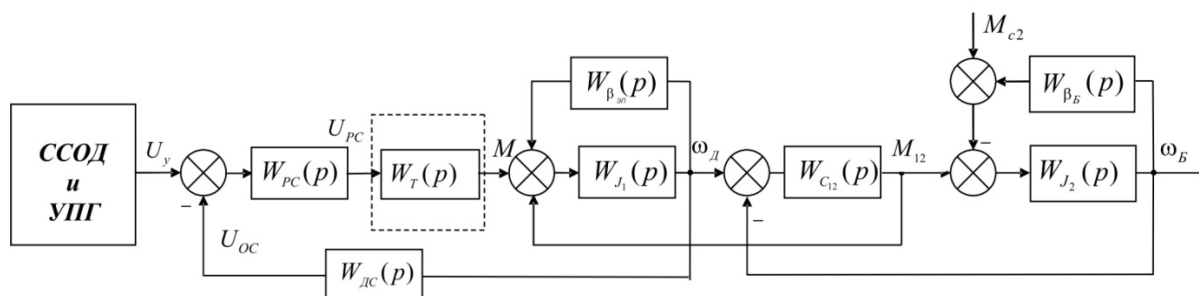


Рисунок 3 – Структурная схема регулирования скорости барабанного окомкователя

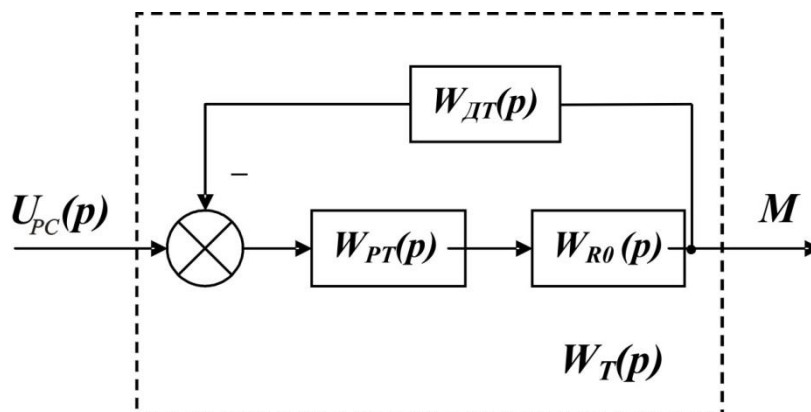


Рисунок 4 – Схема коррекции тока якоря двигателя

Основная часть. Основную нагрузку передач составляет динамическая нагрузка, связанная с ускорением и замедлением масс механизма в переходных процессах. Отметим, что механизм обладает большим приводным моментом инерции $J_2 > J_1$, $\gamma > 1$. Такая особенность работы барабанного окомкователя представлена нелинейной механической характеристикой.

Динамическая неустойчивость в двухмассовых системах с нелинейной механической характеристикой нагрузки рассмотрена, например, в [4].

Был проведен синтез полиномиальным методом передаточной функции регулятора скорости (РС) для двухмассовой системы с управляемым двигателем постоянного тока независимого возбуждения в зоне оптимальной скорости вращения [5].

Поскольку в регуляторе тока (РТ) используется ПИ-регулятор, то передаточная функция:

$$W_{PT} = \frac{K_{PT}}{p} = \frac{K_y \cdot K_{кор}}{p},$$

где R_0 – суммарное сопротивление резисторов в цепи якоря; N – число зон (ступеней); K_{PT} – коэффициент передачи контура коррекции, представляющий долю проводимости токовой цепи в период коррекции; K_y , $K_{кор}$ – коэффициенты передачи усилителя и корректора, соответственно.

Передаточная функция резисторной цепи и датчика тока:

$$W_{R_0} = \frac{N}{R_0}; \quad W_{ДТ} = K_{ДТ}.$$

С учетом изложенного передаточная функция звена $W_T(p)$:

$$W_T(p) = \frac{K_{PT} \cdot N}{(T_T p + 1) \cdot R_0} = \frac{\frac{K_{PT} \cdot N}{p \cdot R_0}}{1 + \frac{K_{PT} \cdot N \cdot K_{ДТ}}{p \cdot R_0}} = \frac{K_T}{T_T \cdot p + 1}, \quad (11)$$

где K_{PT} – общий коэффициент передачи регулятора тока; $K_T = K_{PT} N$; $T_T = \frac{R_0}{K_{PT} \cdot N \cdot K_{ДТ}}$ – длительность управляющего импульса системы автоматического регулирования M двигателя в установившемся режиме.

Передаточная функция двухмассового электромеханического объекта, который является объектом для контура регулирования скорости (при $\beta_E < 0$ и $\beta < 0$) определяется:

$$W_{\omega}(p) = \frac{U_{\omega}(p)}{U_p(p)} = \frac{K \cdot \left(\frac{J_1}{C_{12}} p^2 - \frac{|\beta_E|}{C_{12}} + 1 \right)}{(T_T \cdot p + 1) \left(\frac{J_1 J_2}{C_{12} |\beta|} p^3 + \frac{1}{C_{12}} \left(J_2 - J_1 \frac{|\beta_E|}{|\beta|} \right) p^2 + \left(\frac{J_1 + J_2}{|\beta|} - \frac{|\beta_E|}{C_{12}} \right) p + \left(1 - \frac{|\beta_E|}{|\beta|} \right) \right)}, \quad (12)$$

где K – общий коэффициент передачи объекта:

$$K = K_T \cdot K_{ДТ} / |\beta|.$$

Используем известные соотношения [6]:

$$\gamma = (J_1 + J_2) / J_1; \Omega_{12}^2 = C_{12} / J_2; T_m = (J_1 + J_2) / |\beta|. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12) получим:

$$W_{oo}(p) = \frac{U_{oc}(p)}{U_p(p)} = \frac{K \cdot \left(\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} p^2 - \frac{|\beta_b|}{C_{12}} + 1 \right)}{(T_T \cdot p + 1) \left(\frac{T_m}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left(1 - \frac{|\beta_b|}{|\beta|(\gamma-1)} \right) p^2 + \left(T_m - \frac{|\beta_b|}{C_{12}} \right) p + \left(1 - \frac{|\beta_b|}{|\beta|} \right) \right)}. \quad (14)$$

В связи с тем, что при $|\beta| < |\beta_b|$ $W_{oo}(p)$ относится к группе неминимально-фазовых звеньев [7], поэтому для синтеза РС воспользуемся методом полиномиальных уравнений [8], применение которого позволило для создания статической системы регулирования скорости неустойчивой двухмассовой электромеханической системы в качестве регулятора скорости использовать ПИД-регулятор. Расчеты в системе управления скоростью вращения барабанного окомкователя были смоделированы в среде Matlab Simulink и представлены на рис. 5 и получены результаты ее работы (рис. 6).

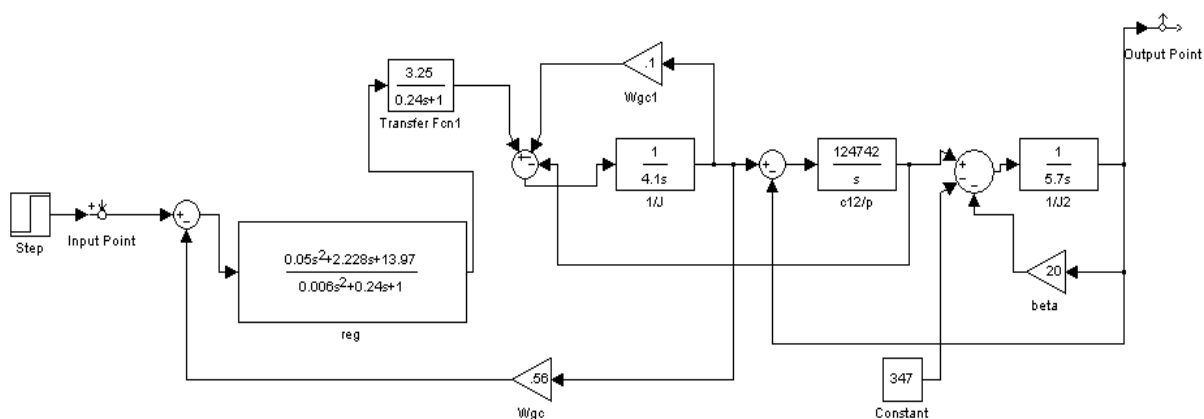


Рисунок 5 – Модель системы управления вращением барабанного окомкователя

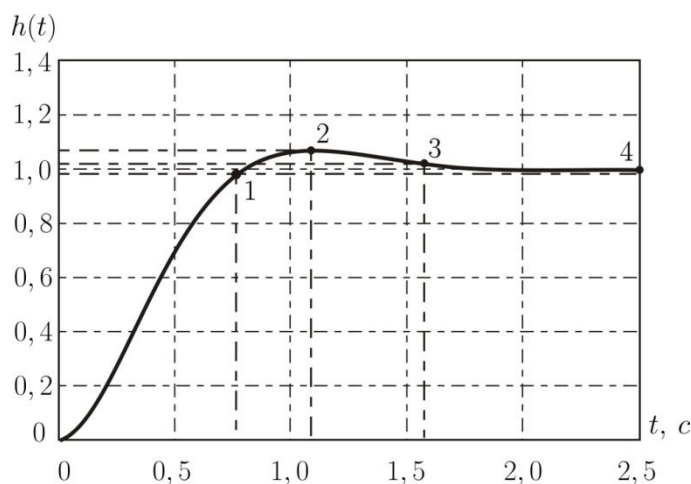


Рисунок 6 – Переходная характеристика процесса с двумя резисторами в цепи якоря двигателя электропривода

Выводы. В результате анализа полученной переходной характеристики, можно утверждать, что система управления барабанным окомкователем имеет незначительное перерегулирование 7%, время регулирования составляет 1,58 с при ошибке 0,3 %, что обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к работе электропривода барабанного окомкователя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черneckая И. Е. Исследование электропривода, включающего барабанный окомкователь как объект управления / И. Е. Черneckая // Известия ЮЗГУ. Серия УИВТ. – 2011. – № 1. – С. 15–21.
2. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – К. : Вища шк., 1989. – 431 с.
3. Черneckая И. Е. Работа окомковательного оборудования с позиций электромеханической системы / И. Е. Черneckая, Е. А. Исаев // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы : материалы I международной научно-технической конференции («Диагностика – 09»). – Курск : Курск. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 158–162.
4. Классен В. П. Основы техники гранулирования / В. П. Классен, И. Г. Гришаев. – М. : Химия, 1982. – 272 с.
5. Клепиков В. Б. Определение границ устойчивости электропривода с отрицательным вязким трением с учетом упругости кинематической цепи / В. Б. Клепиков, А. В. Осичев // Электричество. – 1989. – № 1. – С. 36–41.
6. Ключев В. И. Теория электропривода : учеб. для вузов / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
7. Бессекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1972. – 760с.
8. Черneckая И. Е. Оптимизация управления электроприводом при окомковании сыпучих материалов / Е. А. Исаев, И. Е. Черneckая // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический университет». – Харьков, 2002. – № 12, Том 2. – С. 502–503.

REFERENCES

1. Cherneckaya I. E. (2011). Issledovanie ehlektroprivoda, vkluyuchayuthego barabanniy okomkovatel' kak ob'jekt upravleniya. *Izvestiya YuZGU. Seriya UIVT*, 1, 15–21.
2. Zayjcev G. F. (1989). *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya i regulirovaniya*. K. : Vitha shk.
3. Cherneckaya I. E., Isaev E. A. (2009). Rabota okomkovatel'nogo oborudovaniya s pozitsiy ehlektromekhanicheskoy sistemih. *Informacionno-izmeritel'nihe, diagnosticheskie i upravlyayuthe sistemih : materialih I mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii («Diagnostika – 09»)*. Kursk : Kursk. gos. tekhn. un-t, 158–162.
4. Klassen V. P., Grishaev I. G. (1982). *Osnovih tekhniki granulirovaniya*. M. : Khimiya.
5. Klepikov V. B., Osichev A. V. (1989). Opredelenie granic ustoyjchivosti ehlektroprivoda s otricatelnym vyazkim treniem s uchetom uprugosti kinemacheskoy cepi. *Ehlektrichestvo*, 1, 36–41.
6. Klyuchev V. I. (1998). *Teoriya elektroprivoda : ucheb. dlya vuzov* M. : Ehnergoatomizdat.
7. Bessekerskiy V. A., Popov E. P. (1972). *Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya*. M. : Nauka.
8. Isaev E. A., Cherneckaya I. E. (2002). Optimizaciya upravleniya ehlektroprivodom pri okomkovanii sihpuchikh materialov. *Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «Khar'kovskiy politekhnicheskij universitet»*, 12, Tom 2. Khar'kov, 502–503.

Ісаєв Є. О., Чернецька І. Є. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БАРАБАННИМ ОКОМКОВАТЕЛЕМ

У статті розглянутий процес ущільнення сипких матеріалів на основі теорії консолідації. Опис динаміки ущільнення тонкоподрібненого матеріалу, який здійснюється у фазі «течії» матеріалу та пов'язане з цим явище зміни форми. Для опису процесів динаміки ущільнення гранул використаний закон Дарсі з урахуванням змінни коефіцієнта фільтрації залежно від коефіцієнта пористості зразка, а також нелінійної залежності «напруга-деформація», що виникає при навантаженні. В результаті дослідження отримано, що на початку процесу гранулоутворення, коли гранулоутворююча маса представлена в основному початковою шихтою і певним відсотком зародків, приріст маси гранул зростає приблизно в 4 рази, а умови дії на гранулоутворююче середовище можуть бути збільшені у порядку до 100 разів.

Ключові слова: гранулоутворення, динаміка ущільнення, динамічне навантаження.

Isaev E. A., Chernetskaya I. E. DYNAMICS OF COMPRESSION OF ELEMENTARY VOLUME OF FRIABLE MATERIAL

In the article the process of compression of friable materials is considered on the basis of theory of consolidation. Description of dynamics of compression of fine-divided material, carried out in the phase of «flow» of material and the phenomenon of формозменения related to it. For description of processes of dynamics of compression of granules the law of Darcy is used taking into account changeability of coefficient of filtration depending on the coefficient of porosity of standard, and also nonlinear dependence «tension-deformation», arising up at an appendix loading. It is got as a result of research, that at the beginning of process of гранулообразования, when гранулообразуемая mass is presented mainly by an initial charge and certain percent of embryos, the increase of mass of granules increases approximately in 4 times, and affecting terms гранулообразующую environment can be megascopic order to 100 times.

Keywords: гранулообразование, dynamics of compression, dynamic loading.

© Ісаєв Є. О., Чернецька І. Є.

Статтю прийнято
до редакції 7.05.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІЇ ТЯЖІННЯ НА ПОКАЗНИКИ КІЛЬКОСТІ ПАСАЖИРОМІСЦЬ

Іванов І. Є., к.т.н., докторант кафедри транспортних системи і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: kafedra_tsl@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4991-7755

У статті розглядається врахування змін функцій тяжіння на розподіл загальної кількості пасажиромісць. Розроблено модель спільного функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту. У результаті математичного моделювання визначено зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів та їх відсоткове співвідношення, а також отримано закономірності зміни кількості пасажиромісць (для різних номінальних місткостей) залежно від функції тяжіння.

Ключові слова: маршрутна мережа, транспортна робота, рухливість, номінальна місткість.

Вступ. Задача побудови міських пасажирських транспортних систем відноситься до складних і багатофакторних, тому що кожен етап може вирішуватися декількома методами й мати різнопланові результати залежно від обраних критеріїв. При цьому перерозподіл транспортної роботи з особистого транспорту на громадський має позитивний вплив на екологічні, соціальні й економічні показники життєдіяльності міст. Але існують проблеми визначення параметрів, що обумовлюють потенціальну та реалізовану рухливість населення міст.

Постановка проблеми. Уся рухливість мешканців міста підрозділяється на трудову, культурно-побутову та змішану, це коли громадянин послідовно з трудової має культурно-побутову поїздки, наприклад, їдучи на роботу, ввозять дитину у дитячий садок. В свою чергу, рухливість може реалізовуватись транспортом або пішки.

Окремої уваги заслуговують як транспортні, так і пішохідні переміщення. При цьому пішохідні можуть розглядатись окремо, а транспортні, в багатьох випадках, як сумісні з пішохідними. Так, наприклад, громадянин пішки пересувається до зупинного пункту міського транспорту і потім їде у громадському транспорті, потім пішки переміщується до зупинки іншого маршруту, здійснює поїздки в міському транспорті, а потім пішки підходить до кінцевого пункту призначення. Таких комбінацій пішого і транспортного переміщення може бути багато з пересадками та без них, з використанням особистого та громадського транспорту, або і того, і іншого за час одного переміщення [1, 2].

Таким чином сукупність можливостей мешканців міст для здійснення переміщення обумовила безліч досліджень для прогнозування, розрахунку, моделювання, розподілу транспортної роботи між наведеними способами її організації і реалізації [1–4]. Тому формування підходу до визначення перерозподілу транспортної роботи з особистого транспорту на громадський є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення потенціальних кореспонденцій застосовують два способи: натурні дослідження та математичне моделювання.

Застосування першого способу дозволяє отримати більш достовірні дані за рахунок використання потрібної кількості дослідників, але є дороговартісним. При чому головним недоліком є неможливість визначити потенційні кореспонденції при будь-яких змінах маршрутної мережі або транспортної мережі, центрів тяжіння та ін.

Альтернативою дорогим натурним дослідженням є застосування другого способу визначення потенційних кореспонденцій – математичного моделювання.

Аналіз робіт [1–6] дозволив виявити, що при визначенні транспортних кореспонденцій у містах використовують три основні групи математичних моделей: детерміновані; ймовірнісні та евристичні. Так, встановлено, що детерміновані моделі дозволяють однозначно визначити кількість транспортних кореспонденцій залежно від

визначальних факторів. Одним з найбільш розповсюджених представників детермінованих моделей є гравітаційний метод [1–7]:

$$H_{ij} = k \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot d_{ij}, \quad (1)$$

де H_{ij} – потенційні кореспонденції між районами, що можуть бути отримані відповідно до повної аналогії гравітаційного закону, пас.; k – калібрувальний коефіцієнт; HO_i – обсяг відправлення пасажирів із району i за розрахунковий період, пас.; HP_j – обсяг прибуття пасажирів у район j за розрахунковий період, пас.; d_{ij} – функція тяжіння, яка відображає відстань або витрати часу та коштів на переміщення з району i у район j .

Основною складовою всіх математичних моделей є функція тяжіння, яка за своїм фізичним змістом є зворотною величиною відстані або часу переміщення:

$$d_{ij} = \frac{1}{l_{ij}}, \quad (2)$$

або

$$d_{ij} = \frac{1}{t_{ij}}, \quad (3)$$

де l_{ij} – відстань між i -им та j -им районом, км; t_{ij} – час руху між i -им та j -им районом, год.

У різні часи були отримані різновиди функції тяжіння, а саме [1–11]:

$$d_{ij} = \frac{1}{l_{ij}^\mu}, \quad (4)$$

$$d_{ij} = \frac{a}{l_{ij}^\mu}, \quad (5)$$

$$d_{ij} = ae^{-\beta \cdot l_{ij}}, \quad (6)$$

$$d_{ij} = ae^{-\beta \cdot l_{ij}^\mu}, \quad (7)$$

де μ – показник степеня; a, β – коефіцієнти моделі.

Відмінністю ймовірнісних математичних моделей від детермінованих є використання в якості критерію розподілу кореспонденцій – ймовірності вибору переміщення [3, 7, 10]:

$$H_{ij} = k \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot P_{ij}, \quad (8)$$

де P_{ij} – ймовірність того, що переміщення почнеться в районі i та закінчиться в районі j .

Недоліком цього підходу є пошук надскладних функцій розподілу ймовірностей та отримання адекватних значень кореспонденцій у масштабах міста.

Натомість евристичні моделі визначення транспортних кореспонденцій призначені для вивчення й аналізу динаміки пасажирських перевезень [2–4, 8, 9]. Тобто на підставі емпіричних моделей та інтуїтивно отриманих коефіцієнтів вони передбачають зміни кількості переміщень внаслідок введення нових пасажироутворюючих та пасажиропоглинаючих пунктів (промислових об'єктів, житлових масивів, торгівельних центрів, тощо). Але помилки в розрахунках при користуванні ними досягають 200 % і вище, що не дозволяє використовувати їх для визначення транспортних кореспонденцій, на основі яких можна було б розробляти пропозиції про зміну маршрутної системи.

Мета дослідження. Метою даної статті є визначення закономірностей зміни кількості пасажиромісць залежно від зміни функції тяжіння.

Виклад основного матеріалу. Вибір пасажиром маршруту переміщення має загальну направленість до бажання використання такої поїздки, при якій зручності максимальні, тобто коефіцієнт динамічного заповнення салону під час руху – мінімальний. Такий вибір, в кінцевому результаті, обумовив перерозподіл пасажирів із салонів переповнених маршрутів у салони недозаповнених транспортних засобів інших, альтернативних маршрутів. Таким чином, попит і пропозиція на маршрутах вирівнюється не тільки шляхом перерозподілу пасажирів, а й варіюванням кількості транспортних засобів на маршрутах. Якщо допустити, що попит і пропозиція в період функціонування маршрутної системи рівні між собою, то можна записати систему рівностей:

– для першого маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{\mathcal{K}}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta-1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Iij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{Iii} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu})} \cdot \frac{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{\text{нік}}}{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{1k}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{1k}}{\sum_{k=1}^s l_{1k}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Iij} \cdot k_j \cdot J_1 \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{Iii} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu}) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_1 \cdot V_{e1} \cdot q_1 \cdot T_{\text{нік}}}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

– для другого маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{\mathcal{K}}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta-1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Iij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{Iii} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu})} \cdot \frac{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{\text{нік}}}{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{2k}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{2k}}{\sum_{k=1}^s l_{2k}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Iij} \cdot k_j \cdot J_2 \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{Iii} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu}) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_2 \cdot V_{e2} \cdot q_2 \cdot T_{\text{нік}}}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

– для X-го маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{\mathcal{K}}^{0,063} \cdot \left(V_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05} \right)^2 \cdot H_{\Pi j} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{\Pi i} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu})} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{\text{нік}}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{Xk}}{\sum_{k=1}^s l_{Xk}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{\Pi j} \cdot k_j \cdot J_X \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{\Pi i} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu}) \cdot \sum_{m=1}^r J_{mk} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_{\text{нік}}},
 \end{aligned} \tag{11}$$

Відповідно на X -му маршруті кількість пасажиромісць – ω_X , тоді рівняння (9) – (11) приймають вигляд:

– для першого маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{\mathcal{K}}^{0,063} \cdot \left(V_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05} \right)^2 \cdot H_{\Pi j} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{\Pi i} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu})} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{\text{нік}}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{1k}}{\sum_{k=1}^s l_{1k}} = \\
 & = \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{\Pi j} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_1}{q_1 \cdot t_{o\delta 1}} \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{1k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{1k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{1k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^{\mu} \sum_{i=1}^n (H_{\Pi i} \cdot k_i / l_{ij}^{\mu}) \cdot \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{o\delta mk}} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_1 \cdot V_{e1} \cdot T_{\text{нік}}},
 \end{aligned} \tag{12}$$

– для другого маршруту:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta-1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{l=1}^n (H_{Пil} \cdot k_l / l_{ij}^\mu)} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{2k}}{\sum_{k=1}^s l_{2k}} =
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_2}{q_2 \cdot t_{об2}} \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{2k}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{2k}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{2k}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пil} \cdot k_l / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{обmk}} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_2 \cdot V_{e2} \cdot T_{ник}} , \\
 & \text{— для } X\text{-го маршруту:} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{177 \cdot H_{Ж}^{0,063} \cdot (y_a^{0,27} \cdot (\delta-1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05})^2 \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu \sum_{l=1}^n (H_{Пil} \cdot k_l / l_{ij}^\mu)} \cdot l_{ij}}{\sum_{X=1}^R \omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}} \times \\
 & \times \frac{\sum_{k=1}^s \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right) \cdot l_{Xk}}{\sum_{k=1}^s l_{Xk}} =
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{k=1}^s \frac{H_{Bi} \cdot H_{Пij} \cdot k_j \cdot \frac{\omega_X}{q_X \cdot t_{обX}} \cdot \left(\left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{Xk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{Xk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{Xk}} \right)^{1,69} \right)}{l_{ij}^\mu \sum_{i=1}^n (H_{Пil} \cdot k_l / l_{ij}^\mu) \cdot \sum_{m=1}^r \frac{\omega_{mk}}{q_{mk} \cdot t_{обmk}} \cdot \left(\frac{\tau_{cep}}{\tau_{mk}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\gamma_{cep}}{\gamma_{mk}} \right)^{0,23} \cdot \left(\frac{T_{cep}}{T_{mk}} \right)^{1,69}} \cdot l_{ij}}{\omega_X \cdot V_{eX} \cdot T_{ник}} ,
 \end{aligned}$$

Визначивши місткість транспортних засобів (q_X) на X -му маршруті, можна визначити і їхню кількість (A_X):

$$A_X = \frac{\omega_X}{q_X}, \tag{15}$$

або

$$A_X = \frac{t_{обX}}{I_X^e}, \tag{16}$$

де I_X^e — обраний інтервал руху транспортних засобів на X -му маршруті, год.

У результаті моделювання зміни загальної кількості пасажиромісць транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння є поступове зменшення всіх місткостей загальної структури парку транспортних засобів (рис. 1).

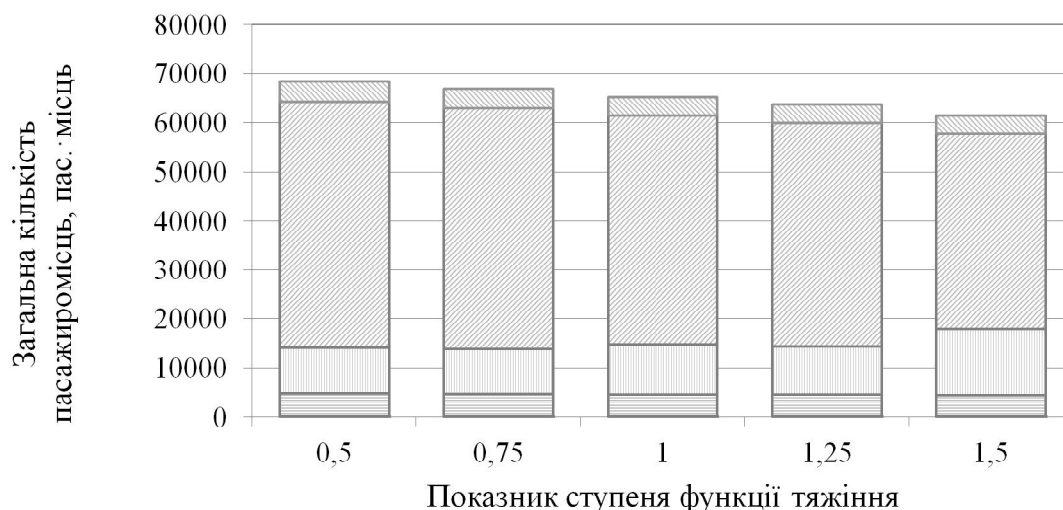


Рисунок 1 – Динаміка зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння:

– $q_n = 19$ пас.;
 – $q_n = 45$ пас.;
 – $q_n = 70$ пас.;
 – $q_n = 110$ пас.;
 – $q_n = 180$ пас.

Для відображення змін у структурі парку транспортних засобів залежно від місткості було визначено відсоткове співвідношення від загальної кількості пасажиромісць (рис. 2). Де видно, що із зміною показника ступеня функції тяжіння відбувається перерозподіл транспортних засобів великої місткості на транспортні засоби малої та середньої місткості.



Рисунок 2 – Розподіл загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від показника ступеня функції тяжіння::

– $q_n = 19$ пас.;
 – $q_n = 45$ пас.;
 – $q_n = 70$ пас.;
 – $q_n = 110$ пас.;
 – $q_n = 180$ пас.

Аналізуючи наведені вище графіки (рис. 1, 2) та зміну загальної кількості пасажиромісць (рис. 3) залежно від показника ступеня функції тяжіння, бачимо, що остання має тенденцію до зниження на 32,9 %.

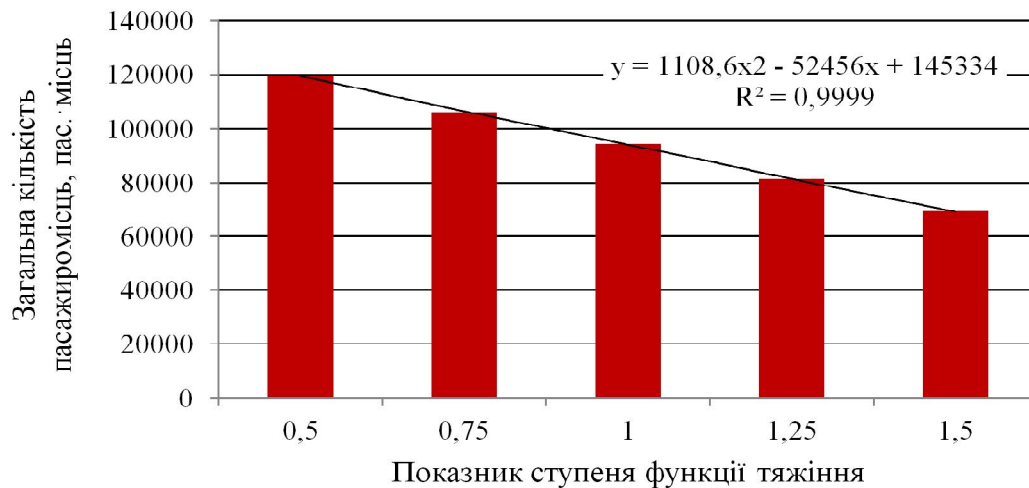


Рисунок 3 – Графік зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від показника ступеня функції тяжіння

Відповідно залежність зміни загальної кількості пасажиромісць від показника ступеня функції тяжіння описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції $R = -0,9999$. А модель має наступний вигляд:

$$\omega = 1108,6 \cdot \mu^2 - 52456 \cdot \mu + 145334. \quad (17)$$

У подальшому було досліджено розподіл парку транспортних засобів залежно від місткості й отримано математичні моделі, що описують отримані закономірності. Так, залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 19 пас.) від показника ступеня функції тяжіння не можливо описати, так як мала кількість експериментальних даних. При цьому можливий варіант аналітичного розрахунку наступним чином:

$$\omega_{q_n=19} = \omega - \omega_{q_n=45} - \omega_{q_n=70} - \omega_{q_n=110} - \omega_{q_n=180}. \quad (18)$$

Натомість залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 45 пас.) від показника ступеня функції тяжіння описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції $R = 0,725$. А математична модель має наступний вигляд:

$$\omega_{q_n=45} = 5657,1 \cdot \mu^2 - 9478,3 \cdot \mu + 5841. \quad (19)$$

Найменш закономірною є залежність зміни кількості пасажиромісць для номінальної місткості 70 пасажирів залежно від показника ступеня функції тяжіння, тому що має значення коефіцієнта детермінації $R = -0,282$. Це пояснюється змінами величини пасажиропотоків на маршрутах, які мають перехідний характер. Тому, залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 70 пас.) від показника ступеня функції тяжіння також описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має наступний вигляд математичної моделі:

$$\omega_{q_n=70} = -10320 \cdot \mu^2 + 19324 \cdot \mu + 8792. \quad (20)$$

Залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 110 пас.) від показника ступеня функції тяжіння має закономірний характер та описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має коефіцієнт кореляції $R = -0,944$. Математичний вигляд моделі наступний:

$$\omega_{q_n=110} = -31680 \cdot \mu^2 + 26488 \cdot \mu + 75284. \quad (21)$$

Високий зв'язок між зміною кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 180 пас.) і показником ступеня функції тяжіння, на що вказує значення коефіцієнта кореляції $R = -0,738$. Математично дана залежність описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня та має наступний вигляд:

$$\omega_{q_n=180} = 37234 \cdot \mu^2 - 88797 \cdot \mu + 55512. \quad (22)$$

Таким чином, проведена статистична обробка результатів моделювання змін показників функціонування пасажирських транспортних систем залежно від показника ступеня функції тяжіння, дозволила отримати адекватні закономірності, які можна використовувати у практичних розрахунках.

Висновки. Дослідження закономірностей функціонування МПТ свідчить про різноманітність пасажиромісткості транспортних засобів, які, у свою чергу, здебільш мають бути від 180 до 19 пасажирів у транспортному засобі.

Проведені дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням значення показника ступеня функції тяжіння зменшується загальна кількість пасажиромісць. При цьому відбувається перерозподіл транспортних засобів великої місткості від 73,3 % до 64,9 % на транспортні засоби малої та середньої місткості від 20,6 % до 30,2 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спирин. – М. : Академия, 2003. – 400 с.
2. Rao D. P. Urban passenger transportation / D. P. Rao, K. S. Murthy. – Inter-India Publications, 1997. – 416 p.
3. Доля В. К. Пасажирські перевезення / В. К. Доля. – Х. : Вид-во «Форт», 2011. – 507 с.
4. David Hensher. Bus Transport: Economics, Policy and Planning / David Hensher. – Amsterdam : Elsevier, 2007. – 538 p.
5. Hutchinson B. G. Principles of urban transport systems planning / B. G. Hutchinson. – N. Y. : McGraw-Hill, 1974. – 444 p.
6. Murray A. Strategic analysis of public transport coverage / A. Murray // Socio-economic planning sciences. – 2001. – № 35. – P. 175–188.
7. Stewart N. F. The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions / N. F. Stewart – N.Y. : Fifth Street, 1990. – 226 p.
8. Simpson B. J. Urban public transport today / B. J. Simpson. – E&FN Spon, 2003. – 222 p.
9. Iles R. Public Transport in Developing Countries / R. Iles. – Elsevier, 2005. – 478 p.
10. Логистика: Общественный пассажирский транспорт / [под ред. Л. Б. Миротина]. – М. : Экзамен, 2003. – 224 с.
11. Ігнатенко О. С. Організація автобусних перевезень у містах / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч. – К. : УТУ, 1998. – 196 с.

REFERENCES

1. Spirin, I. (2003). *Organization and management of passenger road transport*. Moscow: Academy, 400.
2. Rao, D. P., Murthy, K. S. (1997). *Urban passenger transportation*. Inter-India Publications, 416.
3. Dolya, V. (2011). *Passenger traffic*. Kharkiv: Publisher «Fort», 507.
4. Hensher, D. (2007). *Bus Transport: Economics, Policy and Planning*. Elsevier, 538.

5. Hutchinson, B. G. (1974). *Principles of urban transport systems planning*. McGraw-Hill, 444.
6. Murray, A. (2001). Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-economic planning sciences*, № 35, 175-188.
7. Stewart, N. F. (1990). *The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions*. Fifth Street, 226.
8. Simpson, B. J. (2003). *Urban public transport today*. E&FN Spon, 222.
9. Iles, R. (2005). *Public Transport in Developing Countries*. Elsevier, 478.
10. ed. Mirotin, L. (2003). *Logistics: public passenger transport*. Moscow: Exam, 224.
11. Ignatenko, A., Maruny'ch, V. (1998). *Organization of bus transportation in cities*. Kyiv: UTU, 196.

Иванов И. Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИИ ТЯГОТЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КОЛИЧЕСТВА ПАССАЖИРОМЕСТ

В статье рассматривается учет изменения функции тяготения на распределение общего количества пассажиромест. Разработана модель совместного функционирования маршрутов городского пассажирского транспорта. В результате математического моделирования определены изменения общего количества пассажиромест для различных емкостей транспортных средств и их процентное соотношение, а также получены закономерности изменения количества пассажиромест (для разных номинальных емкостей) в зависимости от функции тяготения.

Ключевые слова: маршрутная сеть, транспортная работа, подвижность, номинальная вместимость.

Ivanov I. E. DETERMINATION OF THE INFLUENCE ON THE FUNCTIONS OF GRAVITY INDICATORS QUANTITY PASSENGER SEATS

Problem sustainable distribution of traffic between modes of passenger transport is not possible, by selecting each passenger's own way of moving. The article discusses the accounting change on the distribution function of gravity the total number of passenger seats. The model of co-operation of urban passenger transport routes. As a result of mathematical modeling the changes in the total number of passenger seats for the various tanks for vehicles and their percentage, as well as patterns of change in number of received passenger seats (for different rated capacity) depending on the gravity function. Developed regression models determine the number of passenger seats (for different rated capacity) depending on the gravity matching function adequately.

Keywords: route network, transport operation, mobility, nominal capacity.

© Иванов И. Е.

Статтю прийнято
до редакції 06.05.16

ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ РЕЖИМЫ БЕСПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Калинчак В. В., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теплофизики Одесского национального университета имени И. И. Мечникова, E-mail: teplophys@onu.edu.ua;

Черненко А. С., к.ф.-м.н., доцент кафедры теплофизики Одесского национального университета имени И. И. Мечникова, E-mail: chernalex@ukr.net;

Софронков А. Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой химии Одесского государственного экологического университета, E-mail: a_sofronkov@ukr.net;

Селиванов С. Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии, E-mail: selivanstas@mail.ru;

Федоренко А. В., аспирант кафедры теплофизики Одесского национального университета имени И. И. Мечникова, E-mail: teplophys@onu.edu.ua

В работе представлены результаты комплексных исследований механизмов гистерезиса тепломассообмена и устойчивого беспламенного горения газозвоздушных смесей с примесями горючего газа на металлических частицах и нитях катализатора, диаметры которых настолько малы настолько, что радиационными теплотерями можно пренебречь. В качестве объекта исследования рассматриваются гистерезисные режимы тепломассообмена и кинетики беспламенного горения газозвоздушных смесей с примесями аммиака первого порядка по аммиаку с параллельным образованием азота и окиси азота на платиновых частицах и нитях малого диаметра. Изучены механизмы влияния схемы реакции и массопереноса на критические концентрации примеси аммиака и температуры воспламенения, зажигания и погасания, определяющие гистерезисные петли на зависимостях стационарной температуры платиновой частицы (нити) и скорости тепловыделения от температуры газозвоздушной смеси и концентрации аммиака. Показано, что температура беспламенного горения в диффузионном режиме и суммарная скорость тепловыделения при концентрации горючего, что больше концентрации погасания, линейно увеличивается с ростом концентрации горючего газа. Установлено что с уменьшением концентрации примеси горючего газа происходит вырождение гистерезисной петли на зависимости стационарной температуры частицы катализатора от температуры газозвоздушной смеси. При концентрациях примеси, больших концентрации вырождения, воспламенение происходит в кинетическом режиме, когда диффузионно-кинетическое отношение меньше единицы, а погасание в переходной области, в которой диффузионно-кинетическое отношение больше единицы. При уменьшении концентрации горючего газа возрастает диффузионно-кинетическое отношение при воспламенении, при погасании уменьшается, и стремятся к единице при приближении к концентрации вырождения гистерезисной области.

Ключевые слова: частица, металлические частицы(нити) катализатор окисления, аммиак, параллельные реакции, гистерезис тепломассообмена, самовоспламенение, погасание, поверхностное (беспламенное) горение.

Постановка задачи. В настоящее время актуальными и недостаточно изученными вопросами остаются определяющие механизмы беспламенного горения газозвоздушных смесей с примесями горючих газов на металлических нитях (частицах) катализатора и, конечно, критические режимные условия зажигания, воспламенения и погасания, которые характеризуют гистерезис тепломассообмена. Гистерезис тепломассообмена обозначает двузначность стационарных значений температуры металлической нити (частицы) катализатора и, следовательно, поверхностных (гетерогенных) скоростей химических реакций и тепловыделений, тепловых и массовых потоков при определенном значении силы тока, концентрации примеси горючего газа, температуре потока газозвоздушной смеси или диаметра нити.

В монографии Д. А. Франк-Каменецкого [1] приведены экспериментальные результаты, но не приведены механизмы по гистерезисным зависимостям температуры платиновой нити от силы электрического тока в зависимости от концентрации примеси

горючего газа (водород, аммиак) в газозвдушной смеси комнатной температуры. Указывается, что при заданных режимных параметрах тепловой гистерезис и двузначность стационарных устойчивых состояний определяется пересечением нелинейной функции скорости тепловыделения и конкурирующей функции теплоотвода от параметра состояния (температура нити) при трех стационарных температурах и, соответственно, трех стационарных значениях скорости тепловыделения. Нижнее значение температуры нити (частицы) характеризует устойчивые стационарные режимы низкоскоростного окисления примеси горючего газа и тепломассообмена поверхности частицы с газозвдушной смесью. Переход на верхнее значение устойчивой стационарной температуры беспламенного горения газозвдушной смеси происходит при условии, если начальная температура частицы больше критической температуры зажигания – промежуточной точке пересечения кривых теплоотвода и тепловыделения. Влиянию температуры зажигания на режимные параметры практически мало уделяют внимания, и это затрудняет понимание механизма перехода на верхнюю гистерезисную ветвь устойчивого поверхностного горения газозвдушной смеси с примесью горючего газа на частице (нити) катализатора внутри гистерезисной петли, например, на зависимости температуры платиновой нити от силы тока [1]. В данной работе этот недостаток устраняется при объяснении механизмов гистерезисных петель на зависимостях температуры нити (частицы) и скорости химического тепловыделения от температуры аммиачно-воздушной смеси и концентрации примеси аммиака. Однако, при построении нелинейной функции тепловыделения необходимо знание влияния температуры на скорости определяющих стадий. В случае каталитического окисления могут играть роль селективной адсорбции газообразных реагентов на и реакции нетепловой природы. Работа [2] свидетельствует о возможности нетепловой природы поверхностных реакций окисления горючего газа на платине. В работе [3] показано, что селективное окисление СО на Pt- и Rh-катализаторах происходит в условиях прочной адсорбции СО.

Знание механизмов взаимовлияния на различных стадиях процессов тепломассообмена, адсорбции и экзотермических реакций газообразных реагентов на поверхности частицы катализатора необходимо для целенаправленного выбора режимных параметров, обеспечивающих необходимый температурный уровень беспламенного горения газозвдушных смесей с примесями горючего газа на частице катализатора и скорость выхода целевого газообразного продукта. В частности эти исследования необходимы для разработки теплофизических основ каталитических газоанализаторов, первичный преобразователь которых выполнен на основе нити (частицы) из металлов платиновой группы.

Степень изученности проблемы. В основе работы термохимических газоанализаторов лежит использование зависимости мощности химического тепловыделения или температуры частицы(нити) катализатора от концентрации примеси горючего газа в газозвдушной смеси [4]. Для определения их содержания требуется незначительная доля горючего газа в воздухе, при каталитическом беспламенном горении которого увеличение температуры катализатора может происходить по линейному закону. Последнее выполняется при малости теплопотерь излучением и первом порядке каталитической реакции по горючему газу, находящемуся в недостатке в газозвдушной смеси, и протекающей в диффузионном режиме. Формально процессы каталитического горения газов можно разделить на две группы. В первую группу отнесем газы, окисление которых на катализаторе протекает по одной брутто-реакции первого порядка [5], во вторую – по двум или более параллельным реакциям, например аммиака на платиновой нити [4, 6–8] и горения толуола на оксидах ванадия [9]. Во втором случае зависимость скорости каталитического тепловыделения от температуры катализатора может определяться конкуренцией реакций, которые характеризуются различными теплотами сгорания и энергиями активации. Экспериментальные исследования [6] показали, что при относительно низких температурах окисление примесей аммиака на платиновых проволочках протекает преимущественно с образованием азота, с повышением

температуры появляется окись азота, скорость образования которого растет. Вопросы о механизмах самоускорения, воспламенения, зажигания и устойчивого беспламенного горения при параллельных неизотермических реакциях примеси горючего газа с адсорбированным на катализаторе кислородом являются актуальными и практически малоизученными.

Немаловажным остается вопрос о роли массопереноса, которая учитывается диффузионно-кинетическим отношением, в процессах воспламенения, зажигания, погасания и вырождения гистерезисных петель на зависимостях температуры нити (частицы) катализатора от концентрации примеси горючего газа и температуры газовой смеси [4, 8].

Цель данной работы – исследование роли массопереноса и кинетики параллельного окисления горючего газа (аммиака) в процессах воспламенения, зажигания и погасания гистерезисных петель на зависимостях температуры платиновой нити (частицы) и скорости тепловыделения от температуры газовой смеси и концентрации примеси горючего газа. Также целью работы является анализ влияния схемы каталитических реакций на зависимости температуры и скорости беспламенного горения от концентрации примеси аммиака и температуры газовой смеси для таких малых диаметров частицы (нити) катализатора, при которых можно пренебречь радиационными тепловыми потерями. В качестве объекта исследования рассматриваются гистерезисные режимы беспламенного горения газовой смеси с примесями аммиака на платиновых частицах и нитях малого диаметра.

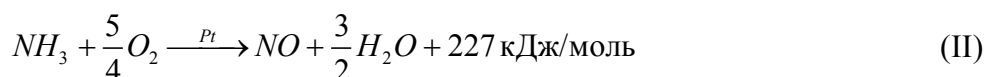
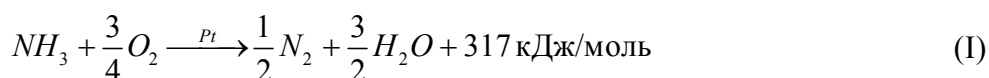
Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Изучить влияние схемы реакции на скорость тепловыделения, сравнить с экспериментальными результатами; определить критические температуры воспламенения, зажигания и погасания в зависимости от схемы реакции; исследовать зависимость температуры беспламенного горения от температуры аммиачно-воздушной смеси с примесью аммиака на платиновой нити.

2. Провести анализ гистерезисных зависимостей скорости тепловыделения на платиновой нити от температуры газовой смеси и концентрации примеси аммиака. Исследовать влияние температуры газовой смеси и концентрации примеси аммиака на скорость тепловыделения в режиме устойчивого беспламенного горения.

3. Исследовать зависимости температуры аммиачно-воздушной смеси $T_g(T)$ при уменьшении концентрации аммиака Z_a ; концентрации примеси аммиака от стационарной температуры платиновой нити при уменьшении температуры газовой смеси T_g . Определить температуры и концентрации вырождения гистерезисных петель на зависимостях $T_g(T)$, $T(Z_a)$. Построить кривые спинодали, проходящие через точки воспламенения и погасания. Провести анализ влияния критической начальной температуры платиновой нити на концентрацию зажигания и температуру газовой смеси зажигания внутри гистерезисных петель. Исследовать влияние температуры газовой смеси и концентрации примеси аммиака на температуру беспламенного горения.

Изложение основного материала. Каталитическое (поверхностное) горение газовой смеси с примесями аммиака на платиновой нити (частице) в зависимости от ее температуры может протекать с параллельным образованием азотсодержащих продуктов и воды:



Скорость химического тепловыделения q_{ch} при параллельном окислении аммиака равна сумме тепловыделения реакции (I) с образованием азота и тепловыделения реакции (II) с образованием окиси азота:

$$q_{ch} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \rho_g Z_a \frac{1}{1 + Se_{1,2}}, \quad Se_{1,2} = \frac{k_1 + k_2}{\beta}, \quad \beta = \frac{D_a}{d} Nu_D$$

$$k_1 = k_{01} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad k_2 = k_{02} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right),$$
(1)

где Z_a – концентрация (массовая доля) примеси горючего газа; q_{ch} – суммарная скорость химического тепловыделения при параллельном окислении аммиака, Вт/(м²К); $Se_{1,2}$ – суммарное диффузионно-кинетическое отношение; k_1, k_2 – константа скорости, соответственно, (I) и (II) химической реакции, м/с; k_{01}, k_{02} – предэкспонента, соответственно, (I) и (II) химической реакции, м/с; E_1, E_2 – энергия активации, соответственно, (I) и (II) химической реакций, Дж/моль.

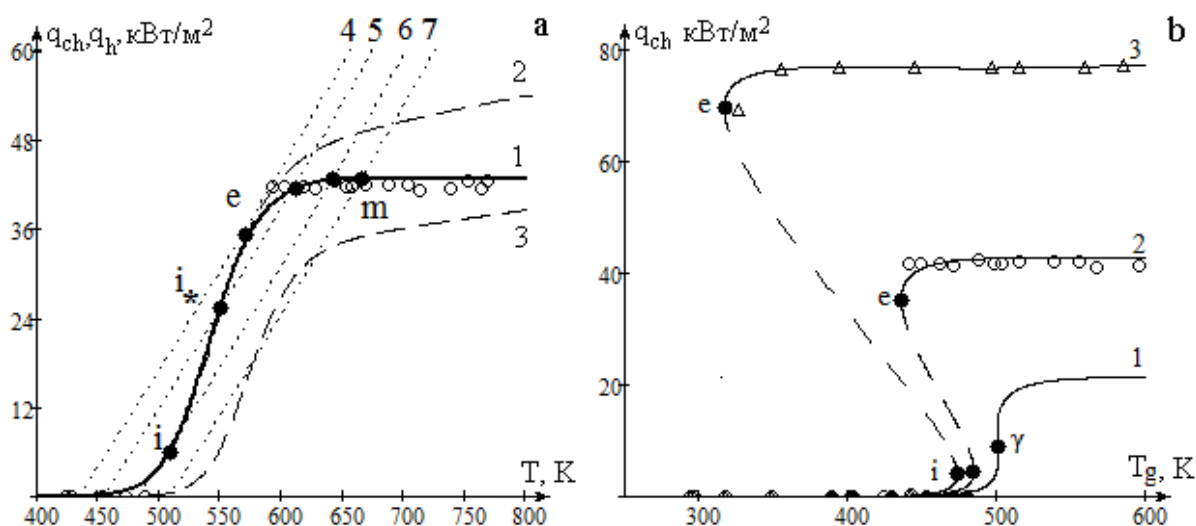


Рисунок 1 – Зависимость скорости реакционного тепловыделения:

а) Зависимость скорости реакционного тепловыделения q_{ch} (сплошная кривая 1 – учет реакций (I)–(II); пунктир 2 – реакция (I); пунктир 3 – реакция (II) и скорости теплоотвода q_h (пунктирные кривые 4–7) от температуры платиновой нити: $T_{ge} = 435 \text{ K}$ ($T_e = 573 \text{ K}$), $T_g = 455 \text{ K}$ ($T_{bk} = 540 \text{ K}$), $T_{gi} = 485 \text{ K}$ ($T_i = 505 \text{ K}$), $T_g = 510 \text{ K}$, диаметр $d = 100 \text{ мкм}$, $Nu_D = 0.64$, $T_w = 293 \text{ K}$, массовая доля аммиака $Z_a = 1\%$. – эксперимент [2], расчет по формулам (1) и (2); б) гистерезисная зависимость суммарной скорости тепловыделения на платиновой нити от температуры аммиачно-воздушной смеси 1. $Z_a = 0.5\%$, 2. $Z_a = 1\%$, 3. $Z_a = 1.8\%$. Δ – эксперимент [1]. $T_{g\gamma} = 505 \text{ K}$, $Z_{a\gamma} = 0.5\%$, расчет системы параметрических уравнений (1) и (3)

Суммарная скорость теплоотвода q_h (Вт/м²) за счет молекулярно конвективного механизмов q_g (закон Ньютона-Рихмана) и теплового излучения q_w (законы Кирхгофа и Стефана-Больцмана):

$$q_h = q_g + q_w, \quad q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4), \quad q_g = \alpha (T - T_g), \quad \alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d} = \beta c_{pg} \rho_g.$$
(2)

где ε – коэффициент черноты поверхности катализатора; σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²К⁴); α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²К); $\beta = D_a Sh / d$ –

коэффициент массообмена, м/с; $\lambda_g, c_{pg}, \rho_g$ – коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность газовой смеси; d – диаметр нити (частицы) катализатора, Nu – диффузионный критерий Нуссельта, Sh – число Шервуда (для данного случая равен числу Нуссельта); D_a – коэффициент концентрационной диффузии примеси горючего газа, м²/с.

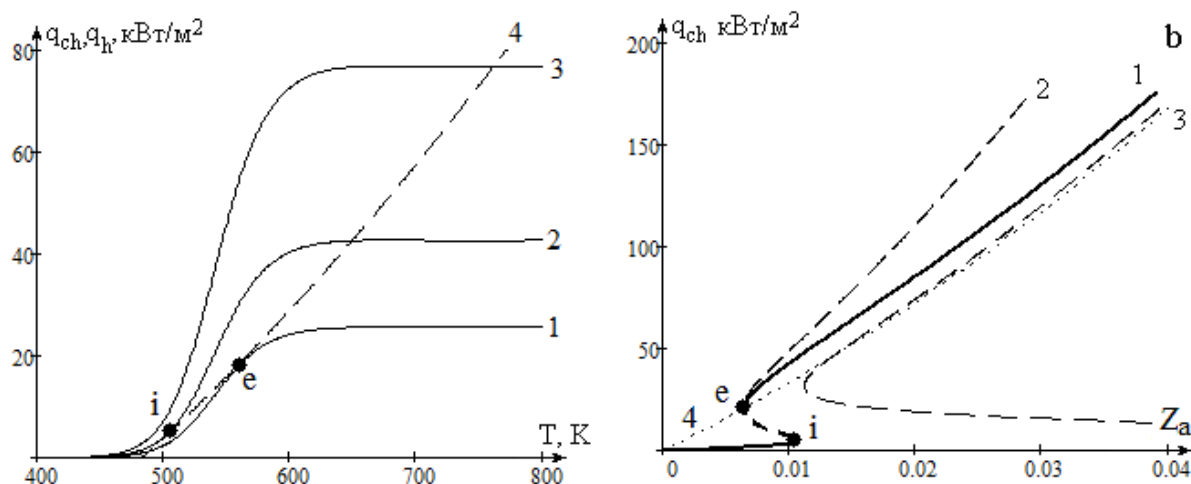


Рисунок 2 – Зависимости скорости тепловыделения:

а) зависимости скорости химического тепловыделения q_{ch} (сплошные кривые 1 – $Z_a = 0.5 \%$, 2 – $Z_a = 1 \%$, 3 – $Z_a = 1.8 \%$) и теплоотвода q_h (пунктирная кривая 4) ($T_g = 485 \text{ K}$), диаметр $d = 100 \text{ мкм}$, $Sh = 0.64$, $T_w = 293 \text{ K}$, расчет по (1) и (2); б) зависимость q_{ch} от относительной концентрации аммиака в газовой смеси. $T_w = 293 \text{ K}$, массовая доля аммиака $Z_a = 1 \%$, $Sh = 0.64$, $T_g = 485 \text{ K}$, кривые: 1 – учет реакций (I) – (II), 2 – реакция (I), 3 – реакция (II), 4 – расчет по (5), расчет по параметрической системе уравнений (1) и (4)

Воспользуемся зависимостью температуры газовой смеси от стационарной температуры частицы катализатора, которую определим из уравнения стационарности и формул (1) и (2):

$$T_g = T - \frac{Z_a \rho_{gs} (Q_1 k_1 + Q_2 k_2)}{c_{pg} \rho_g \beta (1 + Se_{1,2})} + \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)}{c_{pg} \rho_g \beta}. \quad (3)$$

На рис. 1а приведено влияние схемы реакции на $q_{ch}(T)$ при $Z_a = 1 \%$ в следующих предположениях: параллельное образование азота и окиси азота (кривая 1 – сплошная кривая), только образование азота по реакции (I) (кривая 2 – верхняя пунктирная кривая) и образование окиси азота по реакции (II) (кривая 3 – нижняя пунктирная кривая). Расположение кривых скорости теплоотвода q_h с увеличением температуры газовой смеси (пунктирные кривые 4–7) иллюстрирует переход от случая низкотемпературного окисления к случаю погасанию (точка е), затем зажигания (точка i^* , образование точки воспламенения при $T_{gi} = 485 \text{ K}$ ($T_i = 505 \text{ K}$)) и, наконец, устойчивого беспламенного горения (точка m).

Кривая теплоотвода (кривая 5 – мелкий пунктир) пересекает нелинейную кривую в трех точках, характеризующие каталитическое воспламенение (точка i), зажигание (точка i^*), погасание (точка е) и горение (точки m) примеси аммиака $Z_a = 1 \%$ на тонкой платиновой нити.

Как это видно из рис. 1а, на зависимости химического тепловыделения от температуры (1) наблюдается слабый максимум. В предположении слабых температурных

функций плотности газа и коэффициента диффузии, несложно определить диаметр частицы (нити) $d_{\max}$ и $q_{ch,\max}$ для максимума на зависимости $q_{ch}(T)$ в виде:

$$d_{\max} = \frac{D_a Sh}{k_1 k_2} \frac{Q_{a1} E_1 k_1 + Q_{a2} E_2 k_2}{(Q_{a1} - Q_{a2})(E_2 - E_1)}, \quad q_{ch,\max} = k_1 k_2 \frac{(Q_{a1} - Q_{a2})(E_2 - E_1)}{E_1 k_1 + E_2 k_2} \rho_{gs} Z_a.$$

Следовательно, максимум должен наблюдаться в случае $E_2 > E_1$ и $Q_{a1} > Q_{a2}$.

Используя систему параметрических уравнений (1) и (3), получаем зависимость химического тепловыделения от температуры аммиачно-воздушной смеси (рис. 1b). Видно, что в режиме каталитического горения малых примесей газа q_{ch} практически не изменяется с увеличением температуры аммиачно-воздушной смеси. В тоже время область изменения температуры газа, в пределах которых возможно каталитическое горение газов расширяется в область комнатных температур при увеличении концентрации горючего смеси. Это означает, что осуществив на платиновой проволоке каталитическое зажигание аммиака с массовой концентрацией в смеси более 2 %, его горение будет самоподдерживаться даже при комнатной температуре.

Расчёты проводились при следующих значениях параметров: $E_1 = 122$ кДж/моль, $k_{01} = 17.3 \cdot 10^{10}$ м/с, $Q_{a1} = 18.6$ МДж/кгNH₃, $E_2 = 159$ кДж/моль, $k_{02} = 11.9 \cdot 10^{13}$ м/с, $Q_{a2} = 13.3$ МДж/кгNH₃, $Sh = 0.64$.

Для анализа устойчивых и критических стационарных состояний температуры катализатора может быть использована зависимость концентрации примеси горючего газа от стационарной температуры частицы (нити) катализатора:

$$Z_a = \frac{c_{pg} \rho_g \beta (T - T_g) + \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)}{(Q_{a1} k_1 + Q_{a2} k_2) \rho_{gs}} (Se_{12} + 1). \quad (4)$$

Рис. 2а иллюстрирует влияние концентрации примеси аммиака на суммарную скорость тепловыделения $q_{ch}(T)$ при параллельном протекании реакций (I) – (II) на платиновой нити. При уменьшении концентрации аммиака происходит переход от случая устойчивого горения (кривая 3) к случаю воспламенения (кривая 2), а далее и к случаю каталитического погасания (кривая 1). Из рис. 2а видно, что уменьшение Z_a приводит к уменьшению температуры каталитического горения и q_{ch} , вдали от критических точек каталитического воспламенения и погасания.

В этом случае, используя систему параметрических уравнений (1) и (4), получаем одну из искомым зависимостей. На рис. 2b представлено влияние схемы реакции на гистерезисные зависимости q_{ch} от температуры аммиачно-воздушной смеси при постоянной концентрации аммиака $Z_a = 1$ %, и диаметре платиновой проволоочки.

Внутри гистерезисных петель $q_{ch}(T_g)$ (рис.1b) и $q_{ch}(Z_a)$ (рис. 2b) и вблизи температуры погасания, химическое тепловыделение определяется полностью экзотермической реакцией (I) с большим тепловым эффектом. При каталитическом горении с ростом температуры катализатора основной реакцией в химическом тепловыделении становится реакция (II). Однако независимость тепловыделения от температуры при каталитическом горении объясняется именно протеканием параллельных реакций окисления аммиака (рис. 1а).

Критические температуры частицы катализатора при каталитическом самовоспламенении (точка i) и погасании (точка e), соответствующие им температуры газовой смеси и концентрации горючего газа находятся из условия касания кривых тепловыделения и теплоотвода. Они определяют края гистерезисной зависимости температуры нити газоанализатора и скорости тепловыделения от температуры газовой смеси и концентрации горючего газа. Внутри гистерезисной петли точка пересечения кривых (точка i) тепловыделения и теплоотвода определяется критическим

значением начальной температуры катализатора (температура зажигания). Температура зажигания, конечно, зависит от температуры газовой смеси и концентрации горючего газа.

Химическое тепловыделение при протекании реакций (I) и (II) в диффузионной области определяется эффективным тепловым эффектом реакций (I) и (II) и коэффициентом массопереноса:

$$q_{ch,d} = \frac{Q_{a1}k_1 + Q_{a2}k_2}{k_1 + k_2} \frac{D_a Sh}{d} \rho_g Z_a, \quad Q_{a,eff} = \frac{Q_{a1}k_1 + Q_{a2}k_2}{k_1 + k_2}. \quad (5)$$

Как и следовало ожидать, зависимость (5) справедлива при высоких температурах вдали от погасания каталитической реакции.

С ростом температуры газовой смеси $q_{ch,d}$ практически не изменяется. Это связано с тем, произведение коэффициента диффузии D_a на плотность газа ρ_g слабо увеличивается, а эффективное значение теплового эффекта медленно убывает с ростом температуры.

Температура каталитического горения газов T_{bur} для тонкой проволоки может быть оценена по формуле:

$$T_{bur} = T_g + \frac{Q_{a,eff} Z_a}{c_{pg}} Le^{1-m}.$$

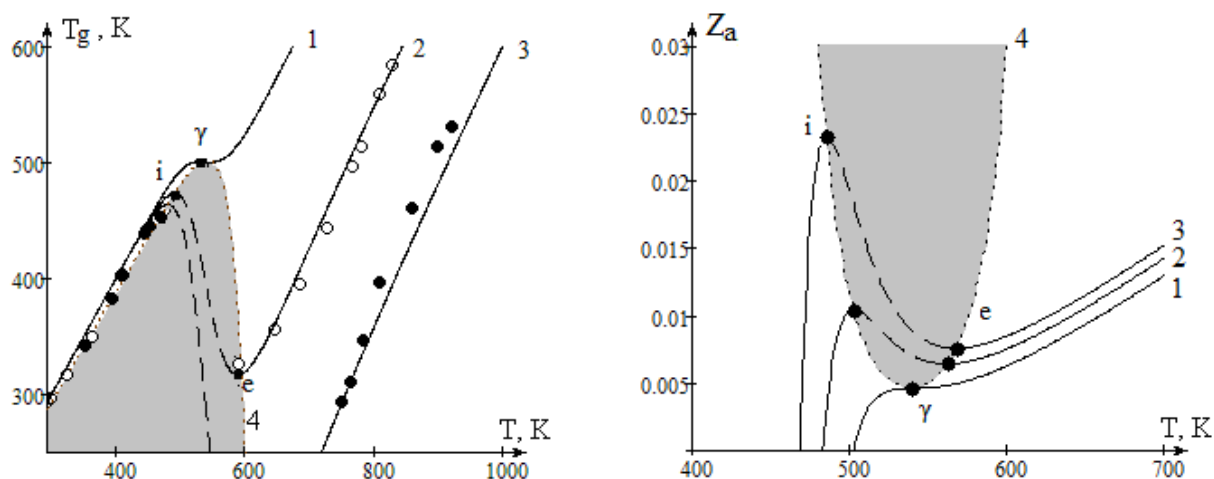


Рисунок 3 – Зависимость температуры:

а) аммиачно-воздушной смеси от стационарной температуры платиновой нити. а) массовая доля аммиака Z_a : 1) 0.5 %, 2) 1.8 %, 3) 3.1 %, эксперимент [1]: $Z_a = 1.8\%$ – ●, 3.1% – ○, кривая 4 – спинодаль (зависимость (6)). $T_{g\gamma} = 505\text{K}$; б) зависимость концентрации примеси аммиака от стационарной температуры платиновой нити при уменьшении температуры аммиачно-воздушной смеси: 1 – T_g : 505 K, 2 – 485 K, 3 – 470 K, кривая 4 – спинодаль (зависимость (7)).

Согласно зависимости (5) скорость тепловыделения прямо пропорционально концентрации примеси горючего газа и практически не зависит от температуры газовой смеси, так как $Q_{a,eff}$ уменьшается а произведение коэффициента концентрационной диффузии на плотность газа слабо возрастает с увеличением температуры газовой смеси.

Определение критических условий. Проведем анализ зависимости температуры аммиачно-воздушной смеси от стационарной температуры платиновой нити $T_g(T)$ по формуле (3). Поиск экстремума (при пренебрежении теплопотерь на излучение) на

зависимости (3) $\partial T_g / \partial T|_{i,e} = 0$ и подстановка обратно в (3) позволяет получить формулу спинодали в аналитическом виде:

$$T_g|_{i,e} = T - d \frac{RT^2}{E_{eff2}(1+B)}(1 + Se_{12}), \quad (6)$$

$$B = \frac{(Q_{a1} - Q_{a2})(E_2 - E_1)}{E_{eff2}Q_{a,eff}} \frac{k_1 k_2}{(k_1 + k_2)^2}, \quad E_{eff2} = \frac{k_1 E_1 + k_2 E_2}{k_1 + k_2}.$$

На рис. 3а. представлены графики зависимости температуры аммиачно-воздушной смеси от стационарной температуры платиновой нити $T_g(T)$, рассчитанные по формуле(3), при уменьшении концентрации аммиака: 3) 3.1 %. 2) 1.8 %, 1) $Z_a = 0.5$ %. Кривая 4 – спинодаль, рассчитанная по зависимости (6). Максимум на кривой $T_g(T)$ (рис.3а) соответствует критическому условию каталитического самовоспламенения примеси горючего газа на частице катализатора, а минимум – каталитическому погасания. С уменьшением концентрации горючего газа происходит вырождение критических условий (точка γ).

Кривая, лежащая между точками i и e , определяет условия зажигания реакции при нагреве катализатора выше температуры зажигания T_{bk} . Область параметров системы, объединяющая условия зажигания (гистерезисная область), ограничивается кривой (спинодаль, кривая 4, рис. 3а).

Слева от гистерезисной области расположены низкотемпературные стационарные состояния, справа – устойчивые высокотемпературные состояния, характеризующие беспламенное горение. Максимум на этой зависимости соответствует вырождению критических условий.

Максимум на кривой $Z_a(T)$ характеризуется концентрацией и температурой самовоспламенения примеси горючего газа на частице катализатора, а минимум – концентрацией и температурой каталитического погасания. Используя условие экстремума на зависимости (4) $\partial Z_a / \partial T|_{i,e} = 0$, определим зависимость (спинодаль), ограничивающая гистерезисную область тепломассообмена катализатора и проходящей через точки максимума и минимума (пренебрежем теплообменом излучением):

$$Z_a|_{i,e} = \frac{c_{pg} \rho_g \beta R T^2}{(Q_{a1} k_1 + Q_{a2} k_2) \rho_{gs} E_{eff1} (1 + Se_{12} - Se_{12} E_{eff2} / E_{eff1})} (1 + Se_{12})^2, \quad (7)$$

$$Se_{12} = \frac{(k_1 + k_2) \rho_{gs}}{\beta \rho_g}, \quad E_{eff1} = \frac{Q_{a1} k_1 E_1 + Q_{a2} k_2 E_2}{Q_{a1} k_1 + Q_{a2} k_2}.$$

Данная спинодаль имеет минимум, который отвечает точке вырождения критических условий (точка γ).

Таким образом, полученные зависимости (6) и (7) позволяют определить все важные области каталитического окисления примесей горючих газов на частицах (нитях) катализатора: низкотемпературное окисление, каталитическое горение и каталитическое зажигание.

Выводы.

1. Доказано, что при температурной зависимости скорости реакционного тепловыделения при параллельном каталитическом горении газозвудушных смесей с примесями аммиака на платиновой нити наблюдается максимум. Это объясняется конкуренцией скорости тепловыделения реакции до N_2 и реакции до NO при учете

массопереноса, что обусловлено различием тепловых эффектов $Q_{a1} > Q_{a2}$ и энергий активации $E_2 > E_1$. Установлено, что реакция окисления аммиака до N_2 определяет критические условия воспламенения и погасания, а реакция до NO – характеристики каталитического горения.

2. Используя параметрическое представление функций, получены и объяснены гистерезисные зависимости химического тепловыделения от температуры газовой смеси и массовой доли аммиака. Доказано, что химическое тепловыделение при каталитическом горении примесей аммиака слабо зависит от температуры аммиачно-воздушной смеси и прямо пропорционально массовой доле аммиака.

3. Предложен метод определения гистерезисных областей тепломассообмена нити (частицы) катализатора, внутри которых наблюдается каталитическое зажигание, а вне – стационарные состояния окисления и каталитического горения малых примесей аммиака.

4. Исследованы зависимости температуры аммиачно-воздушной смеси и концентрации примеси аммиака $T_g(T)$, $Z_a(T)$ от стационарной температуры платиновой нити диаметром 100 мкм. Показано, что при уменьшении концентрации аммиака от 3.1 % до 0.5 % происходит вырождение гистерезисной петли на зависимости $T(T_g)$ и, следовательно, $q_{ch}(T_g)$. При увеличении температуры газовой смеси от 470 К до 505 К происходит вырождение гистерезисной петли на зависимости $T(Z_a)$. Определены температуры и концентрации вырождения гистерезисных петель на зависимостях $T(T_g)$, $T(Z_a)$. Построены кривые спинодали, проходящие через точки воспламенения и погасания.

5. Установлено качественное различие влияния температуры газовой смеси на скорость тепловыделения и концентрации примеси аммиака. Доказано, что в режиме беспламенного горения внутри гистерезисной петли $q_{ch}(T_g)$ и при температурах газовой смеси, выше температуры воспламенения, скорость реакционного тепловыделения практически не зависит от температуры аммиачно-воздушной смеси, что связано со слабой температурной зависимостью произведения коэффициента концентрационной диффузии на плотность газовой смеси. Установлено, что увеличение концентрации примеси аммиака в газовой смеси в режиме беспламенного горения приводит к прямопропорциональному увеличению скорости тепловыделения.

6. Доказано, что для тонких платиновых нитей и частиц малого диаметра увеличение температуры газовой смеси и концентрации примеси аммиака приводит к линейному росту температуры платиновой частицы. Это объясняется, во-первых, переходом беспламенного горения в диффузионную область и, во-вторых, уменьшением эффективного теплового эффекта реакции с ростом температуры частицы. Установленная линейная зависимость между концентрацией примеси аммиака в интервале и температурой платиновой нити (частицы) позволяет прогнозировать в интервале от концентрации вырождения (погасания) до концентрации, при которой температура платины не превышает 1000К.

Применение результатов и предложения для дальнейших исследований. Данные результаты могут быть использованы при построении реакторов с кипящим слоем частиц катализатора для поверхностного дожигания вредных горючих газов, несгоревших углеводородов и угарного газа. Необходимо дальнейшее исследование влияния диаметра частицы (нити) катализатора на максимум скорости реакционного тепловыделения и соответствующие скорости химических реакций образования азота и его окиси. Важен анализ зависимостей критических температур воспламенения и погасания газовой смеси, диффузионно-кинетических отношений, скоростей химических реакций, критических скоростей тепловыделения от доли примеси аммиака. Будет продолжено

детальное изучение условий вырождения и влияния диаметра катализатора, температуры и доли примеси в газовой смеси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д. А. Франк-Каменецкий – М. : Наука, 1987. – 491 с.
2. Барелко В. В. Критические явления нетепловой природы в реакции окисления аммиака на платине / В. В. Барелко, Ю. Е. Володин. – М. : Доклады АН СССР, 1973. – Т. 211, № 6. – С. 1373–1376.
3. Кипнис М. А. Селективное окисление СО на Pt- и Rh-катализаторах в условиях прочной адсорбции СО / М. А. Кипнис, Э. А. Волнина. – М. : Кинетика и катализ. 2010. – Т. 51, № 2. – С. 295–304.
4. Калугин В. В. Высокотемпературное окисление аммиака на платиновом катализаторе при параллельном образовании азотсодержащих продуктов / В. В. Калугин, В. В. Калинин, А. С. Черненко. – М. : Кинетика и катализ. 2015. – Т. 56, № 3. – С. 333–341.
5. Гистерезис тепломассообмена при неизотермическом окислении примесей горючих газов в воздухе на платиновой проволоке / [Калинчук В. В., Черненко А. С., Калугин В. В., Софронков А. Н.] // Физика аэродисперсных систем. – Одесса, 2014. – № 51. – С. 41–52.
6. Ilchenko N. I. Catalytic oxidation of ammonia. I. Reaction kinetics and mechanism. / N. I. Ilchenko, G. J. Golodets. J. Catal. 1975. – V. 39. – №11. – P. 57–72.
7. Калинин В. В. Влияние размера частицы катализатора на критические условия каталитического окисления газов / В. В. Калинин, А. С. Черненко, В. В. Калугин // Инженерно-физический журнал. – Новосибирск, 2014. – Т. 87, № 2. – С. 317–324.
8. Калинин В. В. Каталитическое горение малых содержаний горючих газов на металлических частицах // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції [«Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – Освіта, наука, практика»]. – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 230–232.
9. Томский И. С. Парциальное каталитическое окисление толуола на оксидах ванадия и молибдена / И. С. Томский, М. В. Вишневская, А. И. Кокорин // Химическая физика – М., 2008. – Т. 27, № 7. – С. 66–71.

REFERENCES

1. Frank-Kameneckiy D. A. (1987). *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike*. M. : Nauka.
2. Barelko V. V., Volodin Yu. E. (1973). Kriticheskie yavleniya neteplovoy prirodi v reakcii okisleniya ammiaka na platine. *Dokladih AN SSSR*, T. 211, 6, 1373–1376.
3. Kipnis M. A., Volnina Eh. A. (2010). Selekktivnoe okislenie SO na Pt- i Rh-katalizatorakh v usloviyakh prochnoy adsorbicii SO. *Kinetika i kataliz*, 51, 2, 295–304.
4. Kalugin V. V., Kalinchak V. V., Chernenko A. S. (2015). Vihsokotemperaturnoe okislenie ammiaka na platinovom katalizatore pri paralleljnom obrazovanii azotsoderzhathikh produktov. *Kinetika i kataliz*, T. 56, 3, 333–341.
5. Kalinchak V. V., Chernenko A. S., Kalugin V. V., Sofronkov A. N. (2014). Gisterezis teplomassoobmena pri neizotermicheskom okislenii primeseyj goryuchikh gazov v vozdukhe na platinovoyj provoloke. *Fizika aehrodispersnihkh system*, 51. Odessa, 41–52.
6. Ilchenko N. I., Golodets G. J. (1975). Catalytic oxidation of ammonia. I. Reaction kinetics and mechanism. *J. Catal*, V. 39, 11, 57–72.
7. Kalinchak V. V., Chernenko A. S., Kalugin V. V. (2014). Vliyanie razmera chasticih katalizatora na kriticheskie usloviya kataliticheskogo okisleniya gazov. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*, V. 87, 2. Novosibirsk, 317–324.

8. Kalinchak V. V. (2014). Kataliticheskoe gorenje malihkh sodержaniy goryuchikh gazov na metallicheskih chasticakh. *Materiali mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії «Bezpeka zhittediyalnosti na transporti ta virobnictvi – Osvita, nauka, praktika»*. Kherson : KhDMA, 230–232.

9. Tomskiy I. S., Vishnevskaya M. V., Kokorin A. I. (2008). Parcialnoe kataliticheskoe okislenie toluola na oksidakh vanadiya i molibdena. *Khimicheskaya fizika*, V. 27, 7, 66–71.

Калінчак В. В., Черненко О. С., Софронков О. Н., Селіванов С. Є., Федоренко А. В.
ГІСТЕРЕЗИСНІ РЕЖИМИ БЕЗПОЛУМ'ЯНОГО ГОРІННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ

У роботі представлені результати комплексних досліджень механізмів гістерезису тепломасообміну та стійкого безполум'яного горіння газоповітряних сумішей із домішками горючого газу на металевих частинках і нитках каталізатора, діаметри яких настільки малі, що радіаційними тепловтратами можна знехтувати. В якості об'єкта дослідження розглядається гістерезисні режими тепломасообміну та кінетики безполум'яного горіння газоповітряних сумішей з домішками аміаку з паралельним утворенням азоту й окису азоту по першому порядку по аміаку на платинових частинках і нитках малого діаметра. Вивчено механізми впливу схеми реакції і масопереносу на критичні концентрації домішки аміаку і температури займання, запалювання і погасання, що визначають гістерезисна петлі на залежностях стаціонарної температури платинової частинки (нитки) і швидкості тепловиділення від температури газоповітряної суміші і концентрації аміаку. Показано, що температура безполум'яного горіння в дифузійному режимі і сумарна швидкість тепловиділення при концентрації пального, що більше концентрації погасання, лінійно збільшується з ростом концентрації горючого газу. Установлено, що зі зменшенням концентрації домішки горючого газу відбувається виродження гістерезисної петлі на залежності стаціонарної температури частинки каталізатора від температури газоповітряної суміші. При концентраціях домішки, великих концентрації виродження, займання відбувається в кінетичному режимі, коли дифузійно-кінетичне відношення менше одиниці, а погасання в перехідній області, в якій дифузійно-кінетичне відношення більше одиниці. При зменшенні концентрації горючого газу збільшується дифузійно-кінетичне відношення при самозайманні, при погасанні – зменшується, і прагне до одиниці при наблизенні до концентрації виродження гістерезисної області.

Ключові слова: частинка, металевий каталізатор окислення, аміак, паралельні реакції, гістерезис тепломасообміну, самозаймання, погасання, поверхнєве (безполум'яне) горіння.

Kalinchak V. V., Chernenko A. S., Sofronkov A. N., Selivanov S. E., Fedorenko A. V. HYSTERESIS REGIMES OF FLAMELESS COMBUSTION GAS MIXTURE

Mechanisms of hysteresis heat and mass transfer and flameless combustion gas-air mixtures with combustible gas admixture on metal catalyst particles and wires are studied. It is assumed that ammonia is oxidized on platinum small diameter particles and wires with a parallel formation of nitrogen and nitrous oxide. Dependences stationary platinum particle temperature (wire) and heat release rate of the gas mixture temperature and ammonia concentration were studied. The temperature of the flameless combustion and the total heat release rate increases linearly with increasing concentration of flammable gas, when it is more concentration of extinction. Degeneration of the hysteresis loop at a fixed temperature dependence on the catalyst particle-gas mixture temperature occurs when the concentration admixture of flammable gas reduced. Catalytic ignition occurs in the kinetic mode (diffusion-kinetic ratio of less than one), the extinction in the transition region (diffusion-kinetic ratio greater than one). The admixture concentration must be greater than the concentration of degeneracy. When reducing the concentration of flammable gas diffusion-kinetic ratio increases when ignition, decreases with extinction and approaches unity when there is a degeneration of the hysteresis field.

Keywords: particle, metal oxidation catalyst, ammonia, parallel reactions, hysteresis, heat-mass exchange, self-ignition, extinction, surface (flameless) burning.

© Калінчак В. В., Черненко О. С., Софронков О. Н., Селіванов С. Є., Федоренко А. В.

Статтю прийнято
до редакції 28.05.16

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ СУДОВЫХ АНТЕНН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА

Корзун В. В., аспирант кафедры судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии,
E-mail: selivanstas@mail.ru;

Маменко П. П., ассистент кафедры судовождения и безопасности жизнедеятельности на море Херсонской государственной морской академии,
E-mail: selivanstas@mail.ru

Настоящая работа направлена на обеспечение электромагнитной безопасности на судах. Показано, что электромагнитные излучения являются одним из неблагоприятных физических факторов среды обитания моряков, попадающих в зону их воздействия во всех частотных диапазонах. Многочисленные исследования в области биологического действия электромагнитных полей показали, что к наиболее чувствительным системам организма человека относятся: нервная, иммунная, эндокринная и половая. Нервная система занимает первое место по чувствительности к воздействию электромагнитных полей. При постановке и решении задач обеспечения электромагнитной безопасности на судах во всём спектре неионизирующих излучений необходимо использовать содержание нормативных документов с целью обеспечения защиты жизнедеятельности от воздействия электромагнитных полей. Поскольку главными источниками излучений электромагнитных полей на судне являются антенны создающие направленное излучение, а также вследствие отражения и переизлучения энергии в зависимости от видов и назначения, поэтому в работе проведен анализ различных видов антенн для радиосистем типа длинных волн, коротких волн, ультракоротковолновых радиоустановок, антенн судовых станций спутниковой связи, антенн радиолокационных станций, которые создают в отдельности и вместе мощное электромагнитное поле на верхней палубе судна. Проведенный анализ дает возможность целенаправленно разработать организационные, инженерно-технические мероприятия по защите судовой команды от электромагнитных полей.

Ключевые слова: электромагнитные поля, электромагнитное излучение, электромагнитная безопасность, биологическое действие, судовая команда, нормативные документы, радиосистемы, радиолокационные станции, антенны.

Введение. Современное развитие мореплавания неразрывно связано с решением проблемы сохранения и укрепления здоровья моряков, улучшения условий их труда, быта, отдыха. Важнейшим условием сохранения здоровья моряков является обеспечение оптимальной среды обитания на судне.

Насыщение судов новыми техническими средствами приводит к увеличению количества неблагоприятных факторов и расширению диапазона их повреждающего действия на организм. Комплекс факторов, интегрально воздействующих на экипаж, обширен, к ним относятся неблагоприятные физические факторы, в их числе электромагнитные излучения. Электромагнитные поля являются одним из распространенных вредных факторов судовой среды.

Современный флот для безопасности судовождения оснащается навигационными радиолокационными станциями (РЛС), антенны которых являются мощными источниками электромагнитных излучений (ЭМИ) на открытых палубах и надстройках судов.

Обзор литературных источников показал, что в последнее время возросла гигиеническая значимость ЭМИ с развитием средств радиосвязи и радиолокации, создающих неблагоприятную электромагнитную обстановку на судне [1]. Были получены клинические данные о повреждающем действии ЭМП на организм человека [2]. Появились публикации зарубежных исследователей о возможности ЭМИ индуцировать канцерогенные эффекты у работающих в контакте с фактором [3].

Всё вышеизложенное послужило предпосылкой для **постановки настоящего исследования**, в части исследования электромагнитного поля судовых антенн и его влияние на здоровье членов экипажа

Целью работы является гигиеническая оценка электромагнитных полей от современных антенных средств на судах для разработки предложений по обеспечению электромагнитной безопасности плавсостава.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- изучить биологическую активность ЭМП на организм человека;
- провести анализ действующих отечественных и зарубежных стандартов в области регламентирования ЭМП на судах;
- провести анализ основных имеющихся антенных средств на судне излучающих значительное ЭМП влияющее на здоровье экипажа по данным отечественных и зарубежных источников,
- выявить зависимости распределения величин плотности потока энергии (ППЭ) излучаемой антенными системами различных типов, как на рабочих местах, так и в зонах возможного пребывания плавсостава.

Изложение основного материала.

Биологическая активность электромагнитных полей на организм человека

В судовых условиях воздействию физических полей подвергаются весь плавсостав в силу специфики труда и быта, так как открытые районы судов являются не только рабочими зонами различных морских специалистов, но и используются в качестве зон отдыха моряков..

На высокую биологическую активность техногенного ЭМП ученые обратили внимание еще в 30-е годы XX века. С развитием средств радиосвязи и радиолокации, были получены первые клинические данные о повреждающем действии ЭМП на организм человека.

Биологическое действие ЭМП радиочастот характеризуется тепловым действием и нетепловым эффектом. Под тепловым действием понимается интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении. Нетепловой эффект связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии (молекулярное резонансное истощение, фитохимическая реакция и др.). Многочисленные исследования в области биологического действия ЭМП позволяют определить наиболее чувствительные системы организма человека: нервная, иммунная, эндокринная и половая. Нервная система занимает первое место по чувствительности к воздействию электромагнитных полей. Так, уже на начальной стадии работы в условиях воздействия ЭМП появляются характерные жалобы на быструю утомляемость, снижение работоспособности, раздражительность, головную боль, ослабление памяти и внимания.

Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте).

Нормирование электромагнитных полей

В настоящее время разработаны и действуют многочисленные международные, национальные и ведомственные законы/стандарты и нормативные документы, предназначенные для обеспечения защиты жизнедеятельности от воздействия магнитных полей. Анализ этих документов показывает их подчас существенное различие по составу допустимых условий облучения и по предельным значениям регламентируемых параметров воздействующих полей. Вместе с тем содержание нормативных документов однозначно указывает на необходимость их использования при постановке и решении задач обеспечения электромагнитной безопасности на судах во всём спектре неионизирующих излучений.

Базовыми нормативными документами в области электромагнитной безопасности на судах являются утвержденные в 2003 г. санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.1191-03 [4], СанПиН 2.1.8/2.24.1383-03 [5]. Документы устанавливают предельно-

допустимые уровни электромагнитных полей, требования к проведению контроля уровней ЭМП, методам и средствам защиты. СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает требования к условиям труда персонала, профессионально связанного с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП радиочастот (РЧ).

Имеются два Руководящих документа, которые посвящены защите экипажа от ЭМИ

РЧ. Это РД5. 8713-85. «Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от облучения» [6] и РД5. 8903-96. «Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Порядок выполнения работ по защите личного состава судов от облучения» [7]. Эти документы распространяются на судовую аппаратуру радиосвязи и радиолокации, работающую в диапазоне частот от 300 кГц до 300 ГГц (кроме переносной и аварийной).

ЭМП радиочастот в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц оценивается предельно допустимой напряженностью электрического E единица измерения В/м и магнитного полей H , единица А/м.

Согласно СанПиН 2.5.2/2.2.4-06 [8] нормированные параметры предельно-допустимых уровней (ПДУ) напряженности электрического (E) и магнитного (H) полей в рабочих зонах и на верхних палубах не должны превышать значений, представленных в табл. 1.

Таблица 1 – ПДУ напряженности электрического и магнитного полей

Параметр	Частота, МГц			
	0,03 – 3,0	3,0 – 30,0	30,0 – 50,0	50,0 – 300,0
Е, В/м	42	25	8,5	8,5
Н, А/м	4	–	0,25	–

В диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц ЭМП оценивается плотностью потока энергии (ППЭ). Предельно допустимое значение ППЭ не должно превышать 10 Вт/м² (1000 мкВт/см²). При измерении сверхнизких и крайне низких частот часто также используется понятие магнитная индукция B , единица Тл (Тесла), одна миллионная часть Тл соответствует 1,25 А/м. В настоящее время многие специалисты считают предельно допустимой величину магнитной индукции равной 0,2–0,3 мкТл.

В целях защиты экипажа от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиочастотными средствами связи (диапазон СЧ, ВЧ, УВЧ) и радиолокацией (СВЧ диапазон), должны соблюдаться требования «Санитарных правил для морских судов 21.12. 1982 N 2641-82» [9].

Интенсивность электромагнитного поля (ЭМП) на рабочем месте персонала, обслуживающего установки, генерирующего электромагнитную энергию, не должна превышать предельно допустимых уровней:

по электрической составляющей:

- в диапазоне частот 60 кГц – 3 МГц – 50 В/м;
- >–>– 3 МГц – 30 МГц – 20 В/м;
- >–>– 30 МГц – 50 МГц – 10 В/м;
- >–>– 50 МГц – 300 МГц – 5 В/м;

по магнитной составляющей:

– в диапазоне частот 60 кГц – 1,5 МГц – 5 А/м;

–»– –» 30 МГц – 50 МГц – 0,3 А/м.

Анализ основных имеющихся антенных средств на судне

Главным требованием, предъявляемым к морской радиосвязи, является обеспечение надежной двусторонней связи судов с береговыми радиостанциями и другими судами.

Для связи судов с береговыми радиостанциями или с другими судами выделены следующие частотные диапазоны: СВ – 405...535 кГц; КВ – 1605... 3800 кГц; 4,063...4,438 МГц; 6,2...6,525 МГц; 8,195...8,815 МГц; 12,33...13,2 МГц; 16,4...17,36 МГц; 22...22,72 МГц; 25,01...25,6 МГц; УКВ – 156...162 МГц.

Строительство судов по новым проектам с изменением архитектоники, размещения антенных систем, сказались и на электромагнитной обстановке на открытых районах судов.

На судах различного назначения имеются разнообразные антенны отличающие друг от друга конструктивными особенностями, техническими параметрами, режимами работы РЛС.

Устройство, предназначенное для излучения радиоволн, называется передающей антенной. Устройство, предназначенное для улавливания радиоволн, называется приемной антенной.

Антенна соединяется с передатчиком и с приемником фидерной линией.

Во многих случаях конструкции приемных и передающих антенн различны.

Передающие антенны предназначены для излучения большой мощности.

В приемных антеннах протекают слабые токи, такие антенны имеют более простую конструкцию.

Судовые антенны, как правило, являются ненаправленными антеннами, т.е. излучают и принимают одинаково во всех направлениях.

Рассмотрим и проанализируем на предмет их вредного воздействия на экипаж судна некоторые типы применяемых на судне антенн.

Для радиосвязи в диапазоне средних волн (СВ) применяются несимметричные Г-образные и Т-образные антенны, антенны – мачты.

На рис. 1 приведены типы СВ-антенн, применяемых на судах.

Данные для радиосистемы типа СВ (частоты 300 кГц – 3 МГц) показывают, что напряженность электрического поля на расстоянии 200 м может достигать 10 В/м, на расстоянии 100 м – 25 В/м, на расстоянии 30 м – 275 В/м (приведены данные для передатчика мощностью 50 кВт).

В диапазоне коротких волн (КВ) антенны выполнены в виде наклонных лучей из одного или нескольких проводов, штыревые антенны. Находят применение широкополосные и направленные антенны.

На рис. 2 приведены типы КВ-антенн, применяемых на судах.

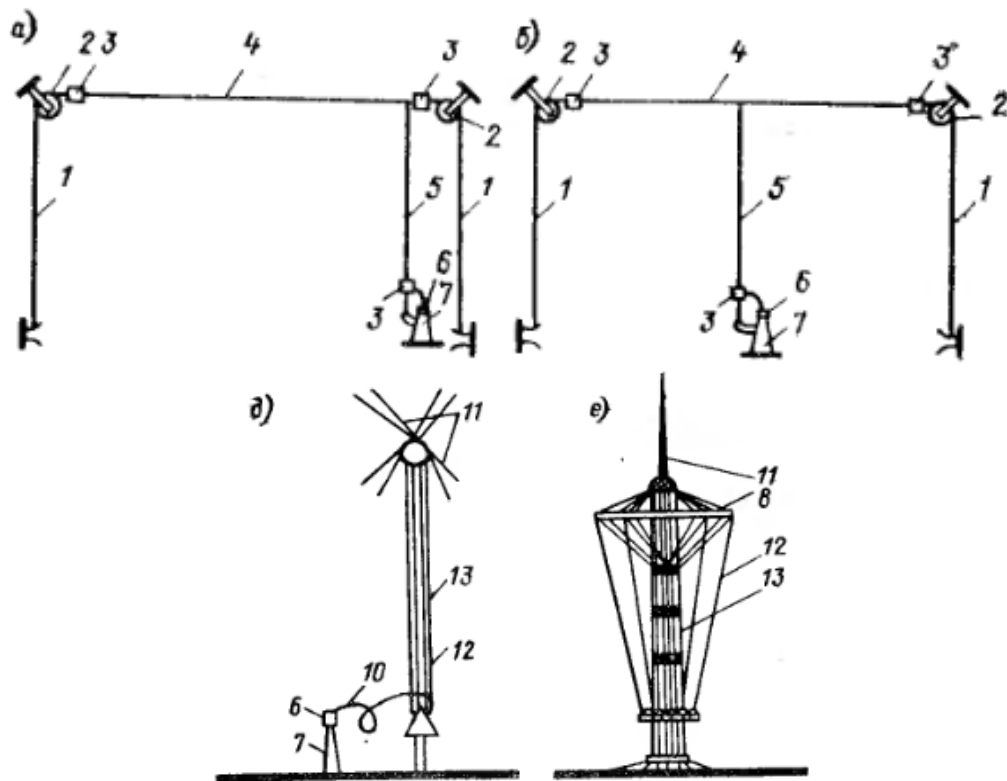


Рисунок 1 – Типы СВ-антенн, применяемых на судах:

a – Г-образная однолучевая; *б* – Т-образная однолучевая; *д*, *е* – антенны-мачты. 1 – фал; 2 – блок; 3 – изоляторная цепочка; 4 – горизонтальная часть; 5 – вертикальная часть (снижение); 6 – изолятор антенного ввода; 7 – антенная колонка; 8 – зонт; 10 – ввод; 11 – штырь; 12 – токоведущая часть антенны; 13 – мачта, ствол из стеклопластика

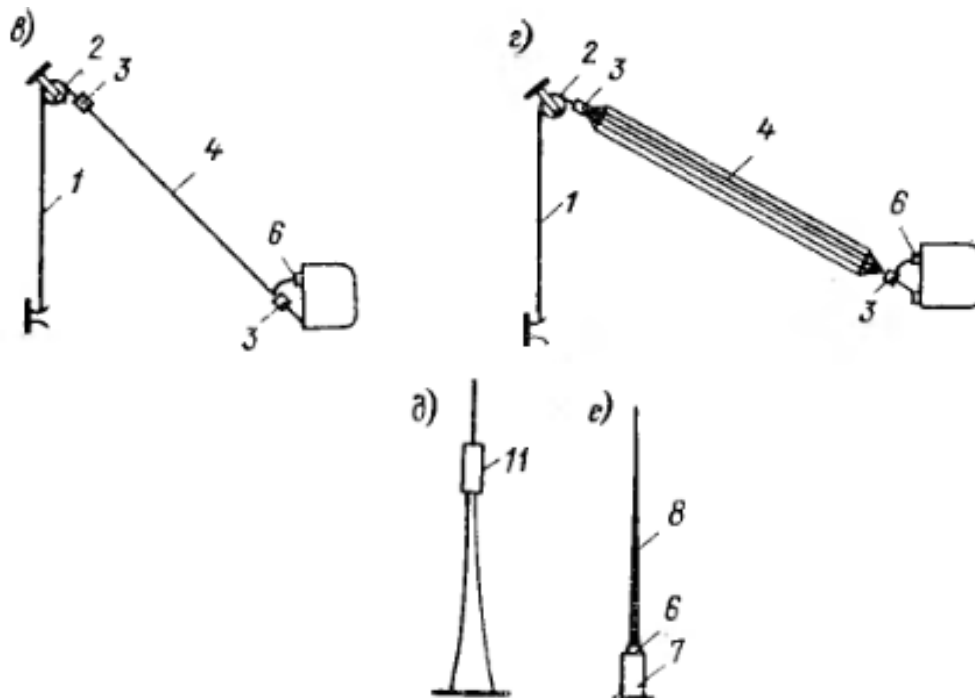


Рисунок 2 – Типы КВ-антенн, применяемых на судах морского флота:

в – типа «наклонный луч»; *з* – наклонная цилиндрическая; *д*, *е* – штыревые; 1 – фал; 2 – блок; 3 – изоляторная цепочка; 4 – «наклонный луч»; 6 – изолятор антенного ввода; 7 – антенная колонка; 8 – штырь; 11 – поглотитель

В диапазоне промежуточных и коротких волн могут использоваться штыревые антенны (высотой 6–10 метров), например KUM850, антенны-мачты и проволочные антенны. ПВ/КВ-радиоустановка консоли Sailor имеет три штыревые антенны: одну приемо-передающую и две приемные антенны.

Данные для радиосистемы типа КВ (частоты 3–30 МГц). Передатчики радиостанций КВ имеют обычно меньшую мощность. Передатчик мощностью 100 кВт на расстоянии 100 м может создавать напряженность электрического поля 44 В/м и магнитного поля 0,12 Ф/м.

Максимальные значения ЭМП в коротковолновом диапазоне составляли 120 В/м, в диапазоне средних волн – 1100 В/м. Максимальные уровни ЭМП при их эксплуатации были зарегистрированы на пеленгаторных палубах и составляли: 17–22 В/м – при работе радиостанций в УКВ диапазона и 32 В/м – в диапазоне коротких волн.

В диапазоне ультракоротких волн (УКВ) применяются направленные и ненаправленные симметричные и несимметричные антенны.

УКВ-радиоустановка имеет антенну, представляющую собой несимметричный вибратор (штырь) высотой до 1,2 метра, устанавливаемый вертикально. Как пример можно привести судовые антенны типа CX4 и GP2M, УКВ-радиоустановка консоли Sailor имеет две антенны.

Системы спутниковой связи состоят из приемопередающей станции на Земле и спутника, находящегося на орбите. Диаграмма направленности антенны станций спутниковой связи имеет ярко выраженный узконаправленный основной луч – главный лепесток. Плотность потока энергии (ППЭ) в главном лепестке диаграммы направленности может достигать нескольких сотен Вт/м² вблизи антенны, создавая также значительные уровни поля на большом удалении. Например, станция мощностью 225 кВт, работающая на частоте 2,38 ГГц, создает на расстоянии 100 км ППЭ равное 2,8 Вт/м². Однако рассеяние энергии от основного луча очень небольшое и происходит больше всего в районе размещения антенны.

Радиолокационные станции оснащены, как правило, антеннами зеркального типа и имеют узконаправленную диаграмму излучения в виде луча, направленного вдоль оптической оси.

В качестве антенн судовых станций спутниковой связи (ССС) принципиально используют различные типы зеркальных антенн, фазированные антенные решетки с отражателями, составленные из вибраторных, спиральных или щелевых излучателей, а также решетки из директорных антенн.

В настоящее время наибольшее распространение в судовых «Стандарт-А» получили антенны с параболическими отражателями благодаря достаточно высоким электрическим характеристикам и относительной простоте конструкции.

На рис. 3 показан общий вид офсетных параболических зеркальных антенн.

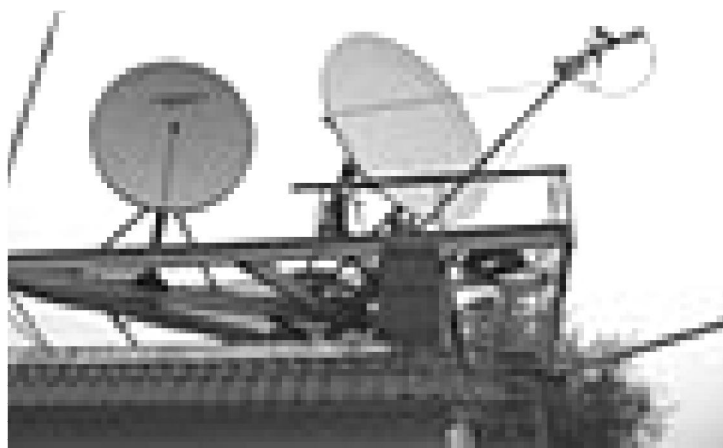


Рисунок 3 – Офсетные параболические зеркальные антенны

Радиолокационные системы работают на частотах от 500 МГц до 15 ГГц, однако отдельные системы могут работать на частотах до 100 ГГц.

Создаваемый ими ЭМ-сигнал принципиально отличается от излучения иных источников. Связано это с тем, что периодическое перемещение антенны в пространстве приводит к пространственной прерывистости облучения.

Радиолокационные станции в большинстве случаев работают круглосуточно. Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора приводит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии. На высоте 1,0 м СВЧ излучение возрастает в несколько раз, вследствие вторичного излучения от металлических палубных покрытий и оборудования.

Радиолокационные станции кругового обзора излучают мощную импульсно-модулированную в энергию в виде луча и воздействие на плавсостав, находящийся на открытых районах судов, носит прерывистый характер, вследствие вращения антенны.

Анализ гигиенических данных показал, что уровни ЭМИ на палубах и надстройках достигают десятков, сотен мкВт/см² и определяются рядом факторов – мощностью РЛС, овалами дальности, высотой подвеса антенны, протяженностью судна % его архитектурой. С увеличением шкалы дальности увеличиваются длительность зондирующего импульса, коэффициент направленного действия антенны и соответственно возрастают уровни плотности потока энергии СВЧ.

Данные измерений показывают, что наиболее высокие уровни – сотни мкВт/см² создают антенны РЛС типов «Дон», «Донец», «Кивач». В зону воздействия попадают палубная и главная палубы, бак, корма.

На рис. 4 представлены антенны РЛС типа «Кивач» с разными излучателями.



Рисунок 4 – Слева – РЛС «Кивач», справа: корпус (механическая часть и датчик угла положения антенны) как у РЛС «Кивач», а излучатель антенны как у РЛС «Печора-1»

На рис. 5 представлен современный радар для SAR, FPD который представляет новую семью жидкокристаллического радара.



Рисунок 5 – Современный радар

Установленные на обследованных судах передатчики радиосвязи зарубежного производства SAILOR RT-2048A, DSC-500 (частота 150 МГц) и SAILOR RM-2100 (частота 1,5-30 МГц) имеют небольшую мощность (10 Вт) и по нашим данным не создают на палубах уровни ЭМП выше предельно допустимого уровня (ПДУ). Однако остаётся проблема защиты экипажа от облучения на открытых палубах и надстройках судов от передатчиков Корвет и Муссон (мощность 200 и 300 Вт) соответственно.

В заключение на рис. 6 представлена мачта, на которой подвешена на мощных изоляторах главная приемно-передающая антенна судна. Она проволочная и идет от верхней реи мачты к изоляторам вниз – тип антенны двойной наклонный луч (обеспечивающий большую рабочую полосу в пределах выбранного диапазона). Кроме этого на мачте можно видеть и антенны УКВ радиостанции типа «Кама-Р (РМ)» (справа) их на судне может быть от 1 до 3-х, а слева на верхней рее антенна от морской УКВ-радиостанции (156 – 162 МГц) «Рейд-1» (штырек с шестью противовесами), сама радиостанция установлена в ходовой рубке.



Рисунок 6 – Мачта с укрепленными на ней разного назначения и вида антеннами

Выводы. Настоящая работа направлена на обеспечение электромагнитной безопасности на судах.

1. Электромагнитные излучения являются одним из неблагоприятных физических факторов среды обитания моряков, попадающих в зону их воздействия во всех частотных диапазонах.

2. В настоящее время разработаны и действуют многочисленные международные, национальные и ведомственные законы/стандарты и нормативные документы, предназначенные для обеспечения защиты жизнедеятельности от воздействия электромагнитных полей. Содержание нормативных документов однозначно указывает на необходимость их использования при постановке и решении задач обеспечения электромагнитной безопасности на судах во всём спектре неионизирующих излучений.

3. Главными источниками излучений ЭМП являются антенны. Сложная электромагнитная обстановка на судне обусловлена направленным излучением антенны, а также вследствие отражения и переизлучения энергии в зависимости от видов и назначения антенн.

4. Главными источниками СВЧ излучений направленного действия являются антенны навигационных РЛС, создающие ЭМИ в диапазоне Л 3,2 и 10 см, интенсивностью от десятков до нескольких сотен мкВт/см². Распределение уровней ППЭ на палубах и надстройках определяется физико-техническими параметрами РЛС – мощностью, структурой импульса, видом модуляции, типом и размещением антенн, а также архитектурой судна.

В дальнейших работах будут приведены данные экспериментальных исследований плотности потока энергии на разных уровнях от поверхности пеленгаторной палубы ЭМИ, создаваемых антеннами РЛС и ПДУ ЭМП от разных антенн на открытых палубах судна. Разработаны организационные, инженерно-технические мероприятия по защите судовой команды от электромагнитных полей. Проведены расчеты основных характеристик антенн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние электромагнитных полей на организм человека. – М. : Фонд «Новое тысячелетие», 1998. – 214 с.
2. Никитина В. Н. Исследование в хроническом эксперименте биоэффектов СВЧ излучений судовых навигационных радиолокаторов / Г. Г. Ляшко, Е. С. Шапошникова, Г. Н. Тимохова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Том 43, № 5. – С. 538–540.
3. Skotte J. H. Exposure to high frequency transient electromagnetic field / J. H. Skotte // Scandinavian journal of Work, Environment & Health, volume 22, number 1, February 1996. – P. 39–44.
4. Электромагнитные поля в производственных условиях : СанПиН 2.2.4. 1191-03. – [Действующий с 01.05.2003]. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федераль. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 4 с.
5. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов : СанПиН 2.1.8/2.24.1383- 03. – [Действующий с 30.06.2003]. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федераль. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 14 с.
6. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от облучения : РД 5. 8713-85. – [Действующий с 01.01.87]. Техника безопасности – Каталог ОСТ (отраслевой), 1987. – 65 с.
7. Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Порядок выполнения работ по защите личного состава судов от облучения : РД 5. 8903-96. – [Действующий с 01.01.97]. Техника безопасности – Каталог ОСТ (отраслевой), 1997. – 60 с.

8. Электромагнитные поля на плавательных средствах и морских сооружениях. Гигиенические требования безопасности : СанПиН 2.5.2/2.2.4-06. [Действующий с 01.05.2006]. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федераль. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 12 с.

9. Санитарные правила для морских судов : СП 2641-82. [Действующий с 21.12.1982]. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : НИИ гигиены водного транспорта Мин. здрав. СССР, 1982. – 114 с.

REFERENCES

1. *Vliyanie ehlektromagnitnykh poley na organizm cheloveka* (1998). М. : Fond «Novoe tihsyacheletie».

2. Nikitina V. N., Lyashko G. G., Shaposhnikova E. S., Timokhova G. N. (2003). Issledovanie v khronicheskom ehksperimente bioeffektov SVCh izlucheniyy sudovyykh navigatsionnykh radiolokatorov. *Radiatsionnaya biologiya. Radioehkologiya. Tom 43, 5*, 538–540.

3. Skotte J. H. (1996). Exposure to high frequency transient electromagnetic field. *Scandinavian journal of Work, Environment & Health, volume 22, number 1*, 39–44.

4. Ehlektromagnitnye polya v proizvodstvennykh usloviyakh : SanPiN 2.2.4. 1191-03. – [Deystvuyushiy s 01.05.2003]. Sanitarно-ehpidemiologicheskie pravila i normativih. – М. : Federalj. centr Gossanehpидnadzora Minzdrava Rossii, 2003. – 4 s.

5. Gигиенические требования к размещению и ehkspluatacii peredayutnykh radiotekhnicheskikh ob'ektov : SanPiN 2.1.8/2.24.1383- 03. – [Deystvuyushiy s 30.06.2003]. Sanitarно-ehpidemiologicheskie pravila i normativih. – М. : Federalj. centr Gossanehpидnadzora Minzdrava Rossii, 2003. – 14 s.

6. Apparatura radiosvyazi i radiolokacii. Metodih ocenki ehlektromagnitnykh poley i sredstva zashchity lichnogo sostava sudov ot oblucheniya : RD 5. 8713-85. – [Deystvuyushiy s 01.01.87]. Tekhnika bezopasnosti – Katalog OST (otraslevoy), 1987. – 65 s.

7. Apparatura radiosvyazi i radiolokacii. Poryadok vhpolneniya rabot po zashchite lichnogo sostava sudov ot oblucheniya : RD 5. 8903-96. – [Deystvuyushiy s 01.01.97]. Tekhnika bezopasnosti – Katalog OST (otraslevoy), 1997. – 60 s.

8. Ehlektromagnitnye polya na plavatelnykh sredstvakh i morskikh sooruzheniyakh. Gигиенические требования безопасности : SanPiN 2.5.2/2.2.4-06. [Deystvuyushiy s 01.05.2006]. Sanitarно-ehpidemiologicheskie pravila i normativih. – М. : Federalj. centr Gossanehpидnadzora Minzdrava Rossii, 2003. – 12 s.

9. Sanitarnyye pravila dlya morskikh sudov : SP 2641-82. [Deystvuyushiy s 21.12.1982]. Sanitarно-ehpidemiologicheskie pravila i normativih. – М. : NII gигиениh vodnogo transporta Min. zdрав. SSSR, 1982. – 114 s.

Корзун В. В., Маменко П. П. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ СУДНОВИХ АНТЕН І ЙОГО ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ЧЛЕНІВ ЕКІПАЖА

Справжня робота спрямована на забезпечення безпеки на судах. Показане, що електромагнітні випромінювання є одним з несприятливих фізичних факторів середовища проживання моряків, які попадають у зону їх впливу у всіх частотних діапазонах. Численні дослідження в області біологічної дії електромагнітних полів показали, що до найбільше чутливим системам організму людини ставляться: нервова, імунна, ендокринна та полова. Нервова система посідає перше місце по чутливості до впливу електромагнітних полів. При постановці і розв'язку завдань забезпечення електромагнітної безпеки на судах у всьм спектрі неіонізуючих випромінювань необхідно використовувати зміст нормативних документів з метою забезпечення захисту життєдіяльності від впливу електромагнітних полів. Оскільки головними джерелами випромінювань електромагнітних полів на судні є антени, що створюють спрямоване випромінювання, а також внаслідок відбиття і перевипромінювання енергії в залежності від видів і призначення, тому в роботі проведений аналіз різних видів антен для радіосистем типу довгих хвиль, коротких хвиль, ультракоткохвильових радіоустановок, антен суднових станцій супутникового зв'язку, антен радіолокаційних станцій, що створюють в окремоті і разом потужне електромагнітне поле на

верхній палубі судна. Проведений аналіз дає можливість цілеспрямовано розробити організаційні, інженерно-технічні заходи щодо захисту суднової команди від електромагнітних полів.

Ключові слова: електромагнітні поля, електромагнітне випромінювання, електромагнітна безпека, біологічна дія, суднова команда, нормативні документи, радіосистеми, радіолокаційні станції, антени

Korzun V. V., Mamenko P. P. The ELECTROMAGNETIC FIELD of SHIP AERIALS and ITS INFLUENCE ON HEALTH of MEMBERS of CREW

The present work is directed on maintenance of electromagnetic safety on courts. It is shown, what is the radiations are one of adverse physical factors of environment dwellings of the seamen getting to a zone of their influence in all frequency ranges. Numerous researches in the field of biological action of electromagnetic fields have shown, that to most to sensitive systems of a human body concern: nervous, immune and sexual. The nervous system wins first place on sensitivity to influence of the electromagnetic fields. At statement and the decision of problems of maintenance of electromagnetic safety on courts in all spectrum неионизирующих it is necessary to use the maintenance of standard documents for the purpose of maintenance of protection of ability to live from influence of electromagnetic fields. As the main sources of radiations of electromagnetic fields on a vessel are aerials creating the directed radiation, and also owing to reflexion and energy reradiation in dependences on kinds and appointment, therefore in work the analysis of various kinds of aerials is carried out for radio systems of type of long waves, short waves, ultrashort-wave radio sets, aerials ship stations of a satellite communication, aerials of radar stations which create in separateness and together a powerful electromagnetic field on a vessel main deck. The carried out analysis gives the chance to develop purposefully organizational, technical actions for protection of a ship command from electromagnetic fields.

Keywords: electromagnetic fields, electromagnetic radiation, electromagnetic safety, biological action, ship command, standard documents, radio systems, radar stations, aerials.

© Корзун В. В., Маменко П. П., Селіванов С. Є.

Статтю прийнято
до редакції 26.05.16

АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СУДОВЫХ ПЕРЕРЫВИСТЫХ СВЯЗЯХ

Коробанов Ю. Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструкции корпуса корабля Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (г. Николаев), E-mail: yuriy.korobanov@nuos.edu.ua;

Коршиков Р. Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедры судостроения Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (Херсонский филиал), E-mail: rk_hfnuk@mail.ru;

Коршиков Ю. С., ст. преподаватель кафедры физико-математических дисциплин Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (Херсонский филиал), E-mail: rk_hfnuk@mail.ru

В современных судовых конструкциях достаточно часто приходится применять прерывистые связи. Жизнеспособность таких судовых конструкций с прерывистыми связями оценивается значением коэффициента концентрации напряжений. В настоящее время из-за многообразия форм сопряжения прерывистой и непрерывной частей судовой конструкции различен и подход многих авторов к методу определения коэффициента концентрации напряжений.

В настоящей работе проведен анализ степени участия прерываемой связи в составе всей судовой конструкции с позиций уровня повышения напряжений. Выполнено исследование напряженного состояния прерывистых связей с сопряжением по радиусу дуги окружности между прерывной и непрерывной частями пластины при простом растяжении.

За основу анализа приняты результаты расчетных процедур методом граничных элементов (МГЭ) в сравнении с работами других авторов.

Проведенный в работе сравнительный анализ показал, что использование такого понятия как коэффициент концентрации напряжений следует учитывать в зависимости от того, к чему отнесены максимальные напряжения. В работе отмечено, что наибольшие напряжения могут быть отнесены или к средним напряжениям непрерывной части конструкции, или к средним напряжениям, возникающим в области сопряжения того сечения, которое испытывает эти максимальные напряжения.

Ключевые слова: Прерывистые связи, растяжение, коэффициент концентрации напряжений.

Постановка проблемы. Прерывистые связи в корпусных конструкциях давно интересуют кораблестроителей, так как являются концентраторами напряжений конструкций. Одной из характеристик влияния прерывистой связи на работу всей конструкции является коэффициент концентрации напряжений, позволяющий установить жизнеспособность судовой конструкции.

Анализ последних исследований. Множество работ посвящено конструированию прерывистых связей судового корпуса в частности применительно к расчету судовых надстроек [1, 2, 3]. Информация в них разноречива и разобцена по большому количеству источников в силу многообразия форм сопряжения прерывистой и непрерывной частей конструкции. Значения коэффициентов концентрации напряжений для подобных форм сопряжения прерывистых связей отличаются друг от друга, поскольку используются различные подходы в их определении.

Автор [4] утверждает, что коэффициенты концентрации напряжений следует фиксировать во многих точках проектируемой конструкции. Большинство работ посвящено анализу концентрации напряжений на примере пластин [5, 6], изредка на оболочках [7]. Только несколько работ посвящено концентрации не только в пластинах, но и в палубных перекрытиях [2] и судовых надстроек [3].

При использовании численных методов оценки напряженно – деформативного состояния прерывистой конструкции точность определения коеффициента концентрации напряжений зависит от величины граничного элемента или конечной ячейки в методе конечных элементов. Применительно к методу граничных элементов такой анализ был проведен в [8]. Влияние длины прерывной части на концентрацию напряжений

в прерывистых связях проанализировано в [9]. В работе [10] предложено не ограничиваться определением только коэффициентов концентрации напряжений прерывистых связей, но и определять коэффициенты жесткости и эффективности.

Цель статьи и формулировка задач исследования состоит в определении коэффициентов концентрации напряжений в местах сопряжения прерывистых связей, а также в оценке напряженно-деформационного состояния прерывистой конструкции при простом растяжении. Анализ степени участия прерываемой связи в составе всей конструкции с позиций уровня повышения напряжений выполнен с использованием программ расчёта основанных на методе граничных элементов (МГЭ).

Изложение основного материала. Среди достаточно простых инженерных задач интерес вызывает прерывистые связи, имеющие вид пластины, ширина которых изменяется по форме дуги окружности. Интерес к прерывным связям объясняется возможностью отождествлять пластину, подвергнутую растяжению с надстройкой судна за счет выступающих листов бортовой обшивки. Такое предложение сформулировано в [2]. Пластина постоянной толщины t подвергнута продольному растяжению, рис. 1а.

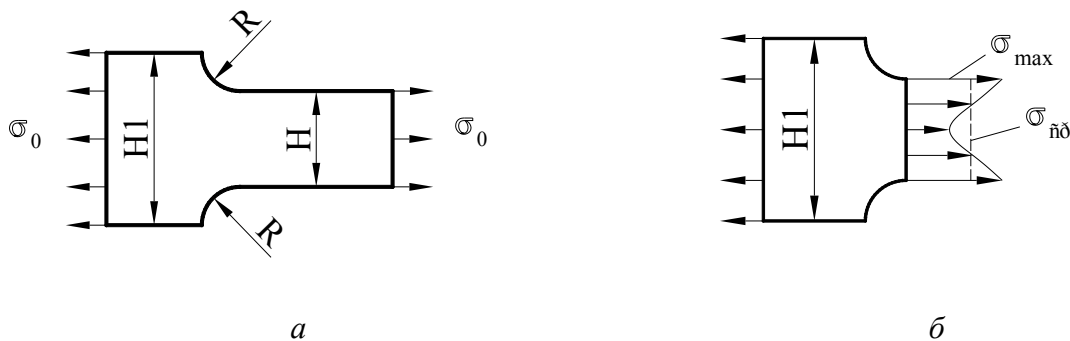


Рисунок 1 – Схема растяжения прерывистой связи: **а** – отождествление с σ_0 ; **б** – отождествление с σ_{cp}

Результаты напряженно – деформативного состояния получены методом граничных элементов (МГЭ). Авторский вариант программ построен на методе фиктивных нагрузок [1]. Прерывистые связи подвергались продольному растяжению σ_0 для отношений $H1/H=1,1$ и $H1/H=1,5$.

Согласно [2], коэффициент концентрации напряжений α определяет отношение наибольшего напряжения σ_{max} в зоне повышенных напряжений в конструкции, вызванных влиянием прерывистой связи, к среднему напряжению в конструкции вне пределов прерывистой связи σ_0 . Величину принято выражать формулой:

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}. \quad (1)$$

В некоторых других источниках [7], коэффициент концентрации напряжений K определяют как отношение наибольшего напряжения σ_{max} к среднему напряжению σ_{cp} в этом сечении, рис. 1б. Величина коэффициента K выражается отношением:

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cp}}. \quad (2)$$

Разница в коэффициентах концентрации напряжений, представленных выражениями (1) и (2) состоит в определении напряжений, к которым относятся максимальные. Напряжения σ_0 определяются выражением

$$\sigma_0 = \frac{P}{H \cdot t}; \quad (3)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{H_i \cdot t}, \quad (4)$$

где H и H_i – высота непрерывной части пластины, и высота пластины в районе сопряжения. Подставив выражения (3) и (4) в (1) и (2) получим отношение коэффициентов концентрации напряжений α / K выражаются через соотношения H к H_i в виде.

$$\alpha / K = H / H_i. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены значения этих коэффициентов α и K , в зависимости от относительного радиуса сопряжения R/H . Здесь же представлены результаты расчета коэффициентов α и K , полученные методом граничных элементов (МГЭ).

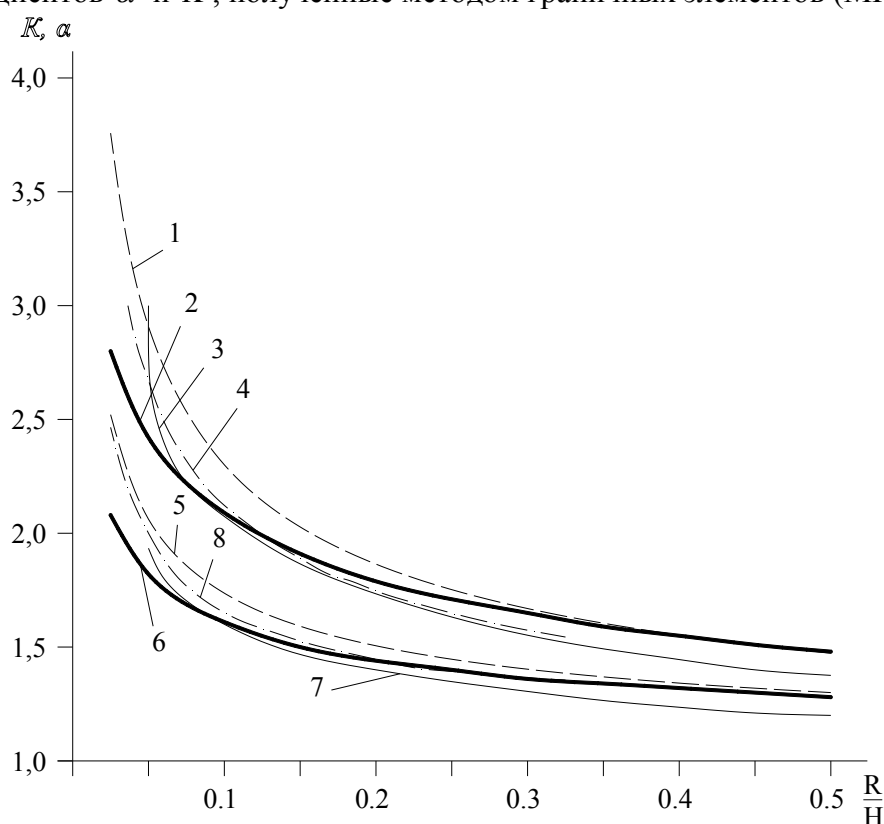


Рисунок 2 – Кривые изменения коэффициентов концентрации напряжения (K и α) при разных отношениях H_1/H :

1 – α при $H_1/H=1,5$ по МГЭ; 2 – K при $H_1/H=1,5$ по МГЭ; 3 – K при $H_1/H=1,5$ по [5]; 4 – K при $H_1/H=1,5$ по [7]; 5 – α при $H_1/H=1,1$ по МГЭ; 6 – K при $H_1/H=1,1$ по МГЭ; 7 – K при $H_1/H=1,1$ по [5]; 8 – K при $H_1/H=1,1$ по [7]

Из рис. 2 видно что значения α (1, 5) больше чем значения K , пропорционально отношению H/H_i и отвечают условию (5). Значения коэффициентов K в [5] и [7] немного разнятся между собой (3 и 4, 7 и 8). Полученные кривые расчета МГЭ для K похожи по своему характеру и повторяют форму кривых из [5] и [7].

Выводы. Проведенный сравнительный анализ показал, что использование таких понятий, как коэффициент концентрации напряжений следует учитывать в зависимости от того, к чему отнесены максимальные напряжения. Как отмечено, здесь наибольшие напряжения могут быть отнесены или к средним напряжениям непрерывной части конструкции, или к средним напряжениям, возникающим в области сопряжения того

сечения, которое испытывает эти максимальные напряжения. Использованный метод граничных элементов приемлем для решения инженерных задач других конструкций содержащих изменяющиеся сечения и концентрацию напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробанов Ю. Н. Анализ предпосылок использования методов граничных элементов в судостроительных системах автоматизированного проектирования / Коробанов Ю. Н., Лищук О. М., Лищук И. М. // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2006. – № 2 (407). – С. 31–38.
2. Сиверс Н. Л. Расчет и конструирование судовых надстроек / Н. Л. Сиверс. – Л. : Судостроение, 1966. – 299 с.
3. Короткин Я. И. Прочность корабля / Я. И. Короткин, Д. М. Ростовцев, Н. Л. Сиверс. – Л. : Судостроение, 1974. – 432 с.
4. Шиманский Ю. А. Проектирование прерывистых связей судового корпуса / Ю. А. Шиманский. – Л. : Судпромгиз, 1949. – 160 с.
5. Joseph E Shigley. Mechanical Engineering Design / Joseph E. Shigley, Charls R. Miske, Richard G. Budynas – Seven Edition, 2003 Mc Graw – Hill. Internation Edition. – 1030 p.
6. Ferdinand P. Mechanics of Materials. SI Metric Edition. / P. Ferdinand, E. Bear, Russell Johnston, JR. McGraw – Hill Ryerson Limited. 2nd Printing, 1987. – 610p.
7. Peterson R. E. «Design Factors for Stress Concentration», Machine Design. / R. E. Peterson, vol. 23, no.2, February 1951, p. 169.
8. Коробанов Ю. Н. Анализ коэффициентов концентрации напряжений прерывистых связей при изменении длины граничного элемента / Коробанов Ю. Н., Кузнецов А. И., Коробанова А. А. // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2014. – № 5. – С. 22–26.
9. Сегаль В. Е. Влияние длины прерывной части на концентрацию напряжений в прерывистых связях / В. Е. Сегаль // Судостроение. – 1967. – № 10. – С. 11–14.
10. Справочник по строительной механике корабля / Под общ. ред. академика Ю.А. Шиманского. – Л. : Государственное союзное издательство судостроительной промышленности, 1960. – 799 с.

REFERENS

1. Korobanov Yu. (2006). *Analiz predposylok ispolzovania metodov granichnykh elementov v sudostroitelnykh sistemakh avtomatiziro-vannogo proektirovaniia* [Tekst] / Yu. Korobanov, O. Lishchuk - // Zb. Nauk. Pr. NUK. – Mykolaev: NUK, 2006. – №2 (407). – S. 31–38.
2. Sivers N. (1966). *Raschet I konstruirovaniye sudovykh nadstroek*. [Tekst] / N. Sivers, «Sudostroenie», - 299 s.
3. Korotkin Ya. (1974). *Prochnost korablia*. [Tekst] / Ya. Korotkin, D. Rostovtsev, N. Sivers. – L., «Sudostroenie», 432 s.
4. Shimanskii Yu. (1949). *Proektirovaniye preryvistikh svyazei suovogo korpusa*. [Tekst] / Yu. Shimanskii. L., Sudpromgiz, 160 s.
5. Joseph E Shigley. *Mechanical Engineering Design*. [Tekst] / Joseph E. Shigley, Charls R. Miske, Richard G. Budynas - Seven Edition, 2003 Mc Graw – Hill. Internation Edition. 1030 p.
6. Ferdinand P. *Mechanics of Materials. SI Metric Edition*. [Tekst] / P. Ferdinand, E. Bear, Russell Johnston, JR. McGraw – Hill Ryerson Limited. 2nd Printing 1987. 610p.
7. Korobanov Yu. (2014). *Analiz koeffitsientov rjytsentratsii napriazhenii prerivistikh svyazei priuzmenenii dlini granichnogo elementa*. [Tekst] / Yu. Korobanov, A.I. Kuznetsov, A.A. Korobanova. // Zb. Nauk. Pr. NUK. – Mykolaev: NUK, 2014. – № 5. – S. 22 – 26.

8. Peterson R. E., «Design Factors for Stress Concentration», Machine Design. [Tekst] / R. E. Peterson, vol. 23, no.2, February 1951, p. 169.
9. Segal V.E. *Vliianie dlini prerivnoi chasti na kontsentrachiiu napriuzhenii v prerivistikh sviuziukh.* [Tekst] / V.E. Segal «Sudostroenie» №10, 1967g. S. 11 – 14.
10. *Spravochnik po stroitelnoi mekhanike korablia, tom 3.* (1960) / [Tekst] Pod obshei redakciei akademika Yu.A. Shimanskogo. Gosudarstvennoe soyuznoe izdatelstvo sudostroitelnoi promyshlennosti. – L., 1960 g. 799 s.

Коробанов Ю. М., Коршиков Р. Ю., Коршиков Ю. С. АСПЕКТЫ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУГ У СУДНОВИХ ПЕРЕРИВЧАСТИХ ЗВ'ЯЗКАХ

У сучасних суднових конструкціях досить часто доводиться використовувати переривчасті зв'язи. Життєздатність таких суднових конструкцій з переривчастими зв'язами оцінюється значенням коефіцієнта концентрації напружень. На даний час через різноманіття форм сполучення переривчастої і безперервної частин суднової конструкції існує різний і підхід багатьох авторів до методу визначення коефіцієнта концентрації напружень. У даній роботі проведено аналіз ступеня участі переривчастого зв'язку в складі всієї суднової конструкції з позицій рівня підвищення напружень, виконано дослідження напруженого стану переривчастих зв'язів із сполученням по радіусу дуги окружності між переривчастій та безперервній частинами пластини при простому розтягненню. За основу аналізу прийняті результати розрахункових процедур методом граничних елементів (МГЕ) в порівнянні з роботами інших авторів. Використання методу граничних елементів прийнятний для вирішення інженерних задач для інших суднових конструкцій, що містять перетини, що змінюються, і концентрацію напружень. Проведений у роботі порівняльний аналіз показав, що використання такого поняття, як коефіцієнт концентрації напружень слід враховувати в залежності від того, до чого віднесені максимальні напруження. У роботі відзначено, що найбільші напруження можуть бути віднесені або до середніх напружень безперервної частини конструкції, або до середніх напружень, що виникають в області сполучення того перетину, яке відчуває ці максимальні напруження.

Ключові слова: переривчастий зв'язок, розтягнення, коефіцієнт концентрації напружень.

Korobanov Yu. M., Korshikov R. Yu., Korshikov Yu. S. ASPECTS OF DIMENTION CONCENTRATION FACTORS OF SHIPS INTERMITTENT CONNECTION

In modern ships construction use interrupted bracings sufficiently often. Ability to life such construction with interrupted bracings appreciate by value stress concentration factor. On account of multiformity junction of interrupted and continuous parts ships construction in modern time consider different methods of dimention value stress concentration factor by variety authors.

Analyses about parts of participation of interrupted bracing in all ships construction frome position increase stress are accepted in this work. The investigation of stress state of interrupted bracing with transition by radius of interrupted and continuous parts of plate for stretching is carried are accepted in this work.

For basis of analysis the results of calculation procedures by methods of boundary elements in comparison with studies of other authors are accepted.

The investigation of stress state of interrupted bracing with transition by radius of interrupted and continuous parts of plate for stretching is carried. Comparison of analysis demonstrated that usage conception value stress concentration factor, are necessary consideration to what value relate maximum stresses. There are note, that maximum stresses can be relate to mean stresses of continuous parts ships construction ore to mean stresses that cross section with maximum stress.

Keywords: Interrupted bracing, extension, stress concentration factor.

© Коробанов Ю. М., Коршиков Р. Ю., Коршиков Ю. С.

Статтю прийнято
до редакції 22.05.16

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ТУРБІН В ТЕРМОАКУСТИЧНИХ ТЕПЛОВИХ МАШИНАХ

Коробко В. В., к.т.н., доцент, доцент кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок Національного університету кораблебудування імені адмірала С. О. Макарова (м. Миколаїв), E-mail: volodymyr.korobko@nuos.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5761-6824;

Московко О. О., асистент кафедри суднових та стаціонарних енергетичних установок Національного університету кораблебудування імені адмірала С. О. Макарова (м. Миколаїв), E-mail: oleksiy.moskovko@nuos.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3848-5651;

Воронов І. В., магістр Національного університету кораблебудування імені адмірала С. О. Макарова (м. Миколаїв), E-mail: volodymyr.korobko@nuos.edu.ua

Створення ефективних систем використання низькотемпературних джерел теплової енергії є важливою задачею для енергетики, промисловості, транспорту, флоту. Вдосконалення теплових двигунів зумовлює постійне зниження температурного рівню скидної теплоти. Впровадження LNG палив додає так звані «кріогенні» теплові ресурси систем регазифікації скрапеного газу. Термоакустичні технології потенційно здатні забезпечити можливості утилізації низькотемпературних скидних теплових ресурсів. Упровадженню цих технологій заважає складність безпосереднього отримання електричної енергії від термоакустичних двигунів. Використання п'єзоперетворювачів і лінійних електричних генераторів призводить до зростання вартості таких систем, обмежує їх потужність і погіршує надійність. Впровадження імпульсних двонаправлених турбін (ІДТ) має сприяти вирішенню проблеми. За допомогою програми DELTA ЕС проведені варіантні розрахунки термоакустичного двигуна (ТАД) з циклом Брайтона. У результаті конструкція ТАД була оптимізована для використання ІДТ. У роботі досліджені характеристики опитного зразку ІДТ, надано опис експериментального стенду, приведені результати експериментальних досліджень, визначені напрямки подальшої діяльності.

Ключові слова: імпульсна двонаправлена турбіна, скидні енергетичні ресурси, термоакустика, теплові машини.

Постановка проблеми. Термоакустичні теплові двигуни (ТАД) призначені для перетворення теплової енергії від різних зовнішніх джерел в механічну у вигляді потужних акустичних хвиль. У подальшому, цю механічну енергію коливного руху треба трансформувати в потрібну для споживача форму. Для цього використовують різні типи корисного навантаження, це або термоакустичні апарати, або електромеханічні системи.

Найбільш простим шляхом є застосування зворотної ТАТМ – термоакустичного теплового насоса (ТАТН) або рефрижератора (ТАР), які здатні забезпечити або отримання холоду, або підвищити наявний потенціал скидних теплових ресурсів [1,2]. Зрозуміло, що такий варіант можливий тільки за наявністю потреби в таких ресурсах.

Найбільш універсальним рішенням є продукування електричної енергії, але з цим виникають проблеми, пов'язані з властивостями цих перетворювачів. Отже, створення нових та ефективних типів корисного навантаження є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У перших зразках ТАТМ були використані електрогенератори на базі п'єзоперетворювачів і лінійних генераторів [3], які в своєму складі мали частини, що підтверджені механічній деформації. На практиці такі конструкції показали ряд суттєвих недоліків – низьку надійність та високу вартість.

Так, за даними Де Блока вартість лінійного генератора становить 3000 євро за 1 кВт електричної потужності [4]. П'єзоперетворювачі характеризуються низькою механічною міцністю, малою питомою потужністю й іншими недоліками.

Ці обставини вимагають розробки нових більш надійних видів корисного навантаження. Можливим варіантом може стати використання ротативних перетворювачів, які трансформують коливальний рух робочого середовища в обертальний.

У відновлювальній енергетиці є приклади створення хвильових електростанцій з осцилюючими повітряними колонами – OWC рис. 1. У цих конструкціях колильний рух повітряного стовпа забезпечує обертання двонаправлених турбін – це турбіни Уеллса (Wells turbine) й імпульсні двонаправлені турбіни. Відомі роботи, в яких розглянуті різні аспекти проектування та використання двонаправлених турбін в хвильових електростанціях [5, 6].

Оскільки в ТАТМ має місце коливальний рух робочого середовища, цілком логічною є ідея застосувати подібні механізми в ТАТМ. В останній час з'явилися роботи, в яких розглядається це питання [7, 8].

Вважаючи на перспективність використання ІДТ в ТАТМ та брак досвіду відносно роботи таких пристроїв, як вузла ТАД, було вирішено започаткувати власні дослідження.

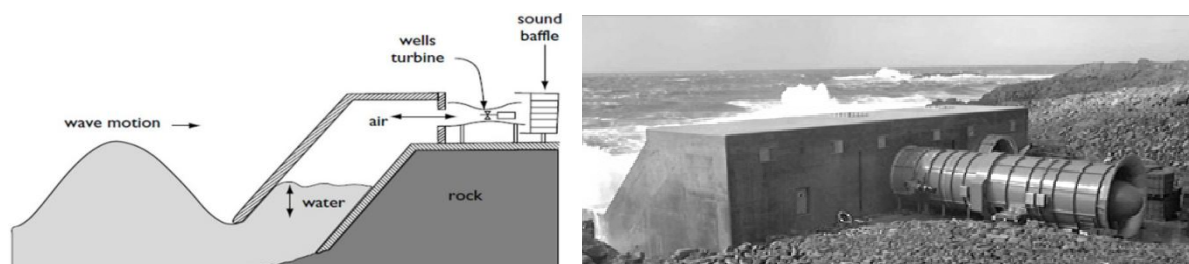


Рисунок 1 – Хвильова електростанція з OWC та двонаправленими турбінами

Ціль роботи – за допомогою чисельного моделювання та фізичного експерименту дослідити особливості ТАТМ з імпульсними двонаправленими турбінами, а також характеристики таких турбін.

Викладення основного матеріалу. У попередній роботі було розглянуто можливість створення суднової енергогенеруючої системи регазифікації LNG палива на основі ТАТМ [9]. Тоді в якості корисного навантаження «кріогенного» ТАД (рис. 2) було передбачено застосування лінійного генератору електричного струму.

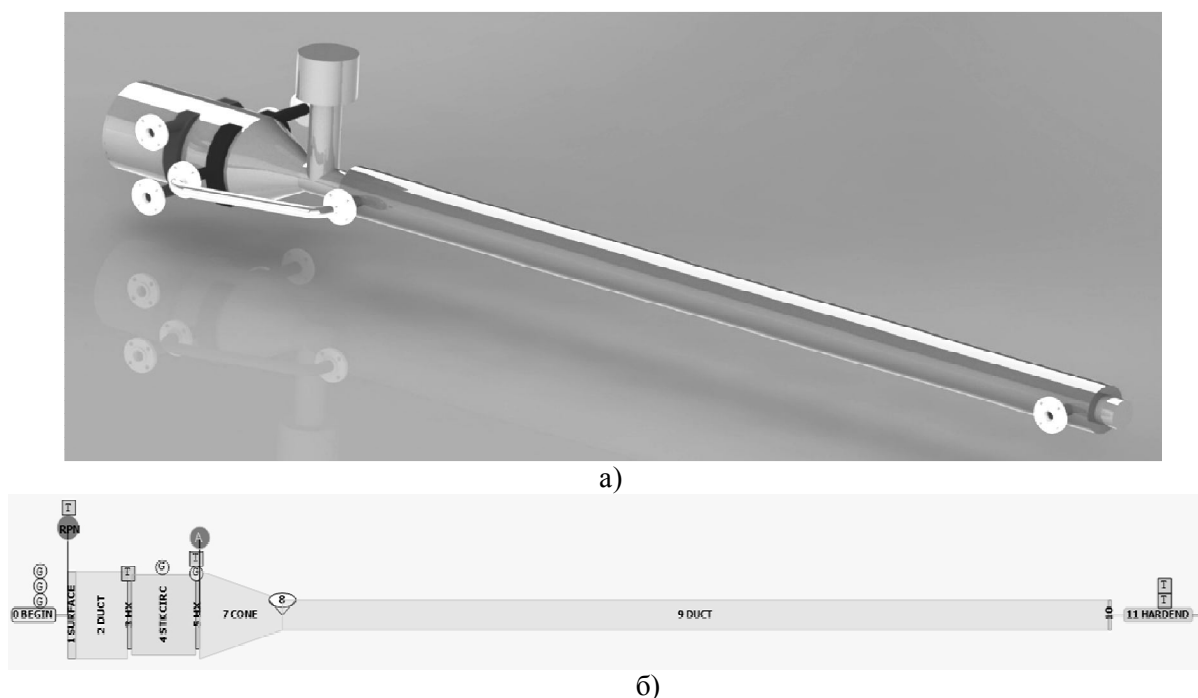


Рисунок 2 – «Кріогенний» ТАД: а) ескіз; б) розрахункова схема в програмі Delta EC

У даному випадку вивчається можливість застосування у складі ТАТМ ІДТ з електричним генератором. Важливим моментом є визначення оптимальної міста розташування ІДТ в резонаторі ТАД.

Дослідження були поділені на дві частини:

- перша була спрямована на числове моделювання акустичних процесів в резонаторі ТАД. Мета цих розрахунків – оптимізація конструкції резонатору ТАД для установки ІДТ, як корисного навантаження;
- друга частина роботи присвячена виготовленню опитного зразку ІДТ та експериментальному дослідженню його характеристик.

Числове моделювання. Для розрахункових досліджень було вирішено використати енергогенеруючу систему регазифікації [9]. Необхідні зміни були внесені лише в конструкцію ТАД з метою забезпечення оптимальних умов для ефективної роботи ІДТ в пульсуючому середовищі. Конструкція такого оновленого ТАД з ІДТ показана на рис. 3.

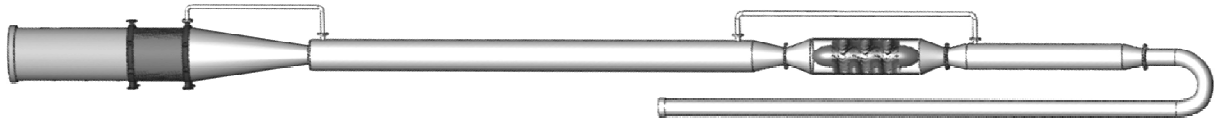


Рисунок 3 – ТАД з імпульсною двонаправленою турбіною

Відомо, що ІДТ в ОВС працюють на низьких частотах порядку 5–15 Гц, при відносно великих значеннях амплітуди коливного руху. Враховуючи ці обставини, було прийнято рішення зменшити робочу частоту ТАД. За для цього, довжина резонатору була збільшена від 4.9 м до 16 м.

Розрахунки виконувались з допомогою програмного пакету Delta EC [10], який призначений для моделювання термоакустичних систем та досліджень комплексу теплофізичних параметрів, пов'язаних з цим. Програма DELTA EC дозволяє розрахувати потужності ТАД та характеристики акустичної хвилі безпосередньо в резонаторі ТАД.

Оскільки в обраному ТАД маємо термодинамічний цикл Брайтону зі стоячою хвилею, зрозуміло, що ІДТ, як чисто активну турбіну, слід розташувати в зоні вузла акустичного тиску P_1 , де коливальна швидкість U_1 та коливальні зміщення робочого середовища – ζ максимальні:

$$U_1 = \frac{P_{1\max}}{\rho C} \quad (1)$$

$$\zeta = U_1 / 2\pi f \quad (2)$$

де $P_{1\max}$ – амплітуда акустичного тиску, ρ – щільність робочого середовища, C – швидкість звуку в робочому середовищі, f – частота акустичних коливань.

У результаті варіантних розрахунків було визначено геометричні параметри резонатору ТАД, які забезпечили максимум коливальної швидкості максимально поблизу до модулю термоакустичних перетворень рис. 4.

Зрозуміло, що такі розрахунки дають більш якісну картину відносно конструкції ТАД та теплофізичних процесів в ньому. Для отримання кількісних результатів бракує інформації про сумісну роботу ТАД та ІДТ в потужних акустичних полях, коли умови суттєво відрізняються від тих, що мають місце в ОВС.

Отримані результати дають змогу зробити висновок про доцільність використання в ТАД блоку послідовно розташованих ІДТ, що дає потенційну можливість для створення потужних агрегатів ТАД – ІДТ.

Експериментальні дослідження. Виходячи з параметрів наявних зразків ТАД і можливостей дослідного обладнання, були спроектовані та виготовлені модель осьової ІДТ та спеціальний стенд для проведення експериментів.

Дослідний стенд та обладнання. Принципова схема стенду для дослідження ІДТ показана на рис. 5. Основний елемент стенду – це імпедансна труба відкритого типу, яка оснащена чотирма датчиками тиску, термоанемометром, низькочастотним гучномовцем, еталонним підсилювачем, мікропроцесорною контрольно – вимірювальною системою.

Керуючий сигнал від програмованого генератора подавався на підсилювач з комп'ютеру. Це давало змогу змінювати частоту сигналу, контролювати акустичну потужність, що подавалась на турбіну.

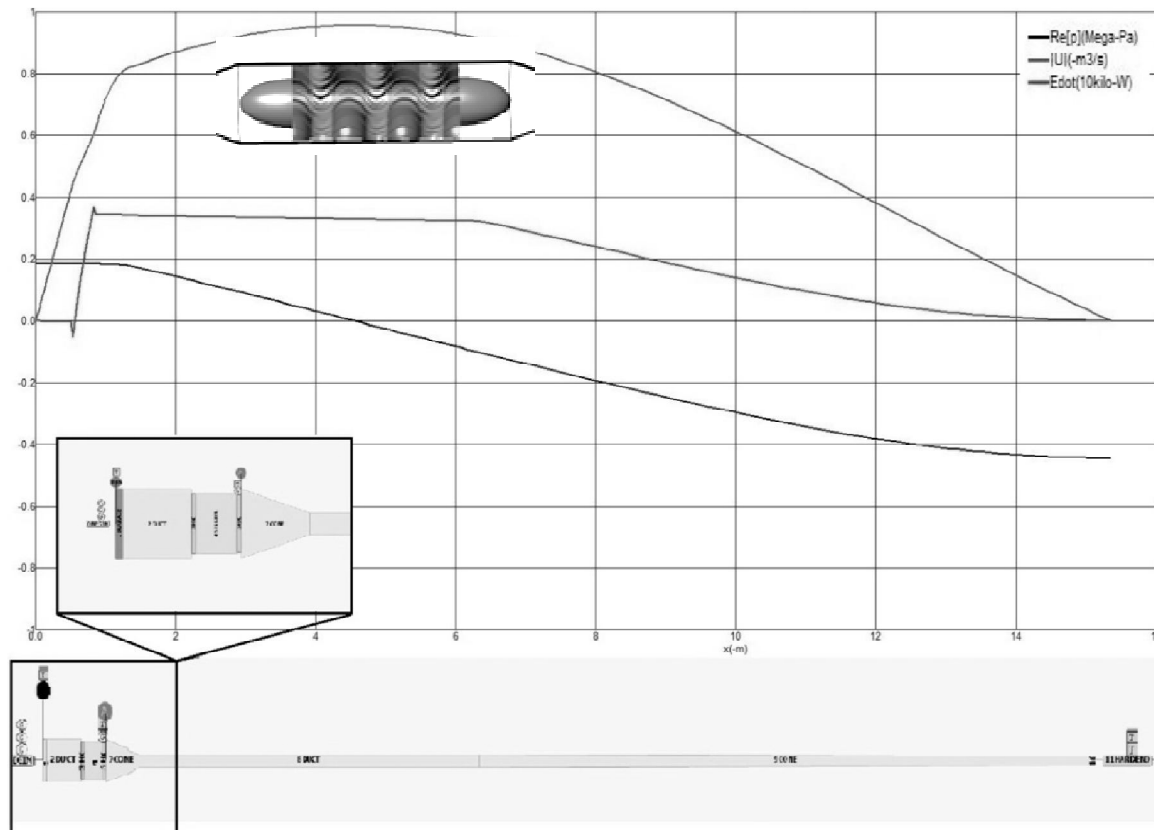


Рисунок 4 – Розподіл акустичної потужності, тиску, об'ємної швидкості в резонаторі ТАД

Імпульсна турбіна є складним навантаженням для акустичної системи, оскільки її імпеданс залежить від обертів та інших факторів. У зв'язку з цим, зворотній зв'язок між акустичною системою та гучномовцем може привести к спотворенню форми фронту акустичної хвилі, що буде впливати на роботоспроможність ІДТ.

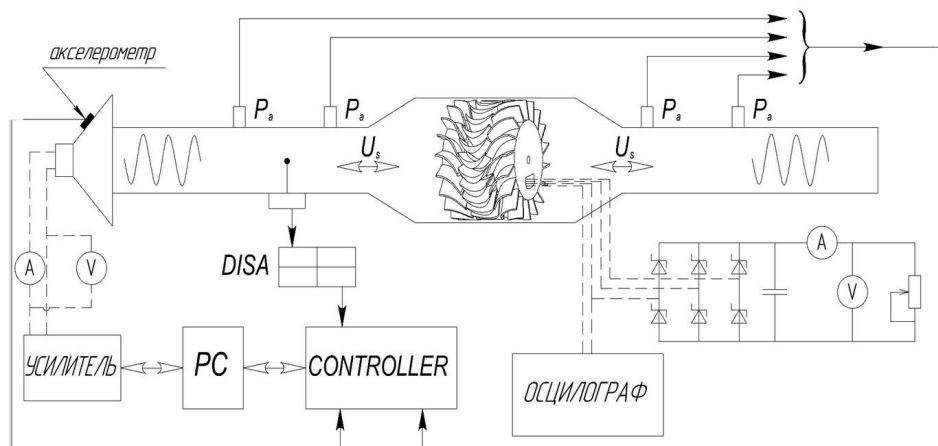


Рисунок 5 – Схема експериментального стенду для дослідження ІДТ

Для визначення цього можливого впливу в системі був передбачений контроль за рухом діафрагми гучномовця, що забезпечував датчик акселерометру типу ADXL 321. Акустична потужність, яка надходила до ІДТ, визначалась модифікованим методом двох датчиків та шляхом прямих вимірювань коливної швидкості та акустичного тиску.

Навантаженням для ІДТ був трьохфазний безколекторний електричний генератор типу Sankyo F2JGL, жорстко з'єднаний з ротором турбіни. Напруга з генератора подавалась на випрямляч, якій був зроблений на діодах Шотки, а після цього – на навантаження лабораторний реостат.

Оберти турбіни визначались допомогою цифрового осцилографу, який був був підключений до одної з обмоток генератору. Таке підключення дозволяло одночасно контролювати частоту обертання, напругу та форму пульсацій струму. Потужність генератору визначалась шляхом вимірювання напруги та струму в вимірювальній сеті.

Отже, спроектований стенд і його обладнання надало змогу провести комплексі випробування імпульсної турбіни й отримати її зовнішні характеристики в залежності від різних факторів. Перелік контрольованих параметрів наданий в табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік контрольованих параметрів на стенді з ІТ

Параметр	Датчик	Інтервал	Прим.
Частота обертання	Обмотка генератору	0-10000	Осцилограф SDS 1074 CFL
Частота звуку	MPXV7007 DP	-7...7 кПа	МКС
Коливна швидкість	DISA зонд	3–20 м/с	термоанемометр
Частота, напруга, струм, фаза	Цифровий мультиметр		Осцилограф SDS 1074 CFL

Дослідна ІДТ. Всі елементи ІДТ – ротор турбіни, два направляючих апарати та обтікачі (рис. 6.) були виготовлені методом 3D друку. Попередні розрахунки геометрії елементів ІДТ виконувались згідно з рекомендаціями, що наведені в роботах [7, 8].

Обидва статори ІДТ (направляючі апарати) мають 18 лопатей, ротор має 24 лопаті. Зовнішній діаметр ІДТ становив 70 мм, діаметр ротору – 50 мм.

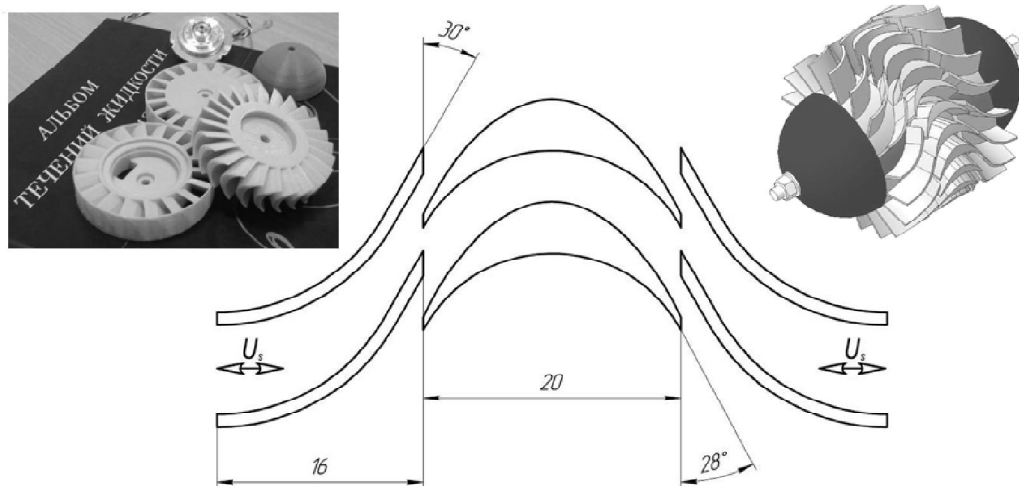


Рисунок 6 – Схема проточної частини ІДТ

Результати експериментальних досліджень. У ході досліджень були отримані данні відносно залежності характеристик ІДТ від частоти акустичної хвилі й акустичної потужності. (рис. 7).

На рис. 6а показані результати визначення робочої частоти ІДТ. У ході дослідів на гучномовець, за умов підтримки його постійної акустичної потужності, подавався сигнал з різною частотою. На графіку можна бачити, що частота акустичної хвилі суттєво впливає на оберти ІДТ і для даного зразка ІДТ оптимальною частотою є 20 Гц. Досліджувана турбіна проектувалась на роботу з низькими частотами, отже, ці експериментальні данні очікувані та добре корелюються з розрахунками.

Зрозуміло, що важливим чинником є акустична потужність, яка підводиться до турбіни. На рис. 7 б наведені данні, що показують залежність частоти обертання ІДТ від акустичної потужності в резонаторі при різних значеннях навантаження.

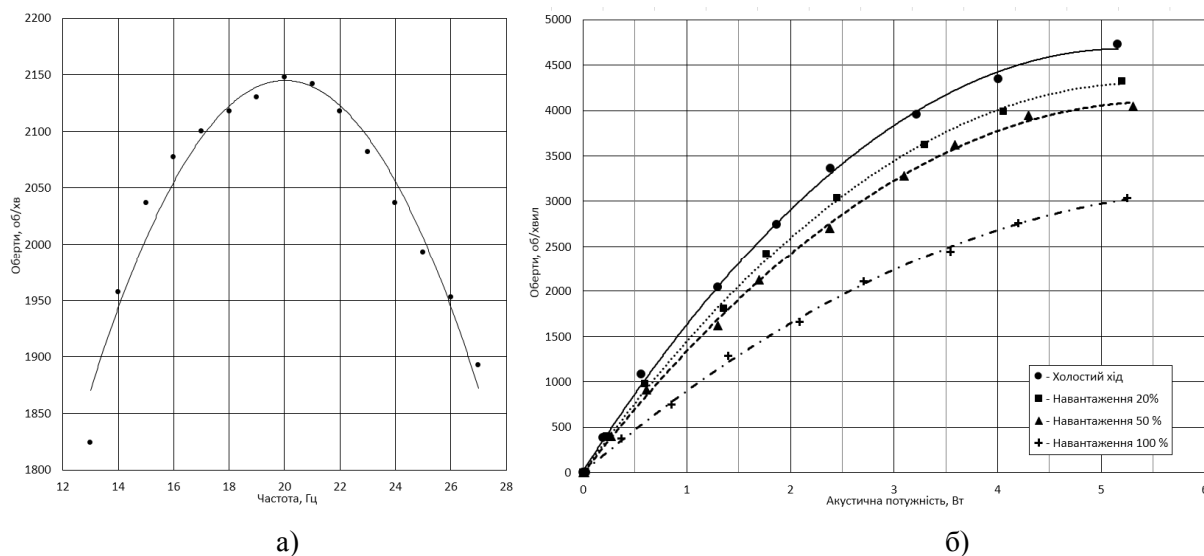


Рисунок 7 – Характеристики ІДТ, (навантаження генератору 100 Ом: а) – визначення оптимальної частоти ІДТ, б) – залежність обертів турбіни від акустичної потужності в резонаторі

Нажаль в якості генератору, що був вмонтований в ІДТ, був використаний безколекторний електричний двигун. Цей двигун незадовільно працював в якості генератора, тому провести дослідження при більшій акустичній потужності не вдалося.

Цікаві результати, показані на рис. 8. У ході дослідів було встановлено, що залежність обертів ІДТ від частоти акустичної хвилі має декілька максимумів, на частотах, кратних основній розрахунковій.

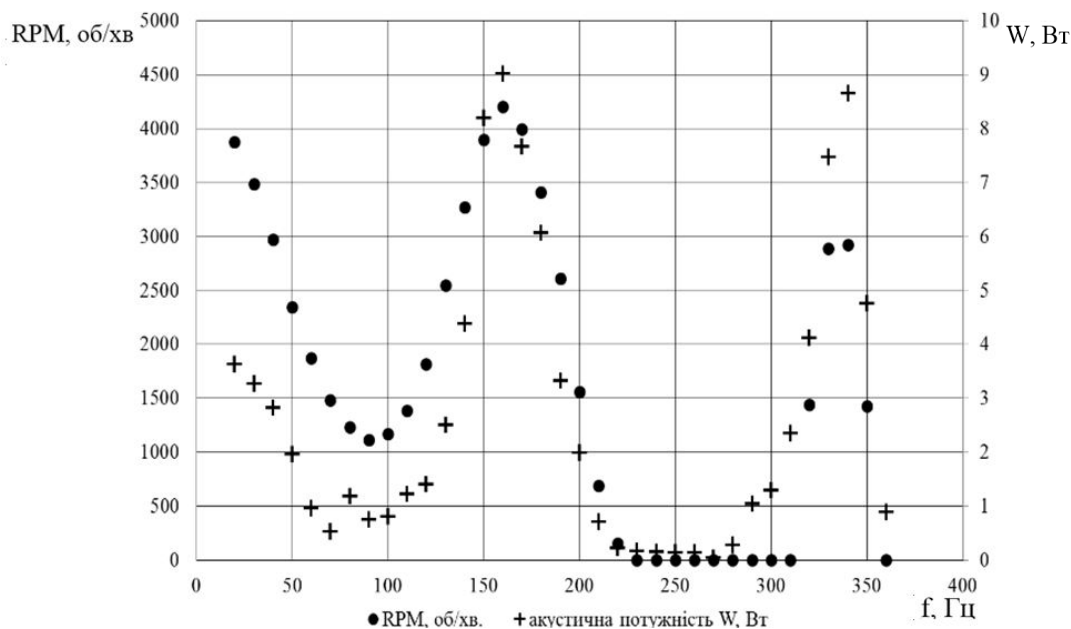


Рисунок 8 – Залежність частоти обертання ІДТ від частоти акустичної хвилі

Так, на частотах 160–170 Гц та 320–340 Гц ІДТ починає набирати оберти, що є неочікуваним результатом, оскільки на цих частотах амплітуда коливного руху ζ середовища суттєво менша, ніж на частоті 20 Гц – формула (2). Одночасно маємо також зростання акустичної потужності, що свідчить про наявність резонансних ефектів. Таким чином можна зробити висновок, що для ІДТ амплітуда коливного руху – ζ не

є вирішальним параметром, найбільш важливі параметри – це акустичний тиск і коливальна швидкість. А це, в свою чергу, дає можливість проектувати ІДТ і ТАД для більших частот, що суттєво зменшить їх габарити.

Зрозуміло, що за своїми акустичними властивостями дослідний стенд відрізняється від діючого ТАД і в реальних умовах має місце ефект сумування різних чинників. Тому, в подальшому, треба чітко розділити фактори, які пов'язані з конструкцією ІДТ-точність виготовлення, якість поверхней лопатей турбіни та спрямляючого апарату, характеристики електричного генератору та іншими чинниками.

Висновки.

1. У результаті проведених досліджень підтверджена роботоспроможність запропонованої та виготовленої ІДТ у складі термоакустичної системи.

2. Конструктивні заходи, що до геометричних параметрів резонатору ТАД, дають змогу створити умови для ефективної роботи осьових імпульсних двонаправлених турбін.

3. Показано, що ІДТ може ефективно працювати в широкому діапазоні частот, що дозволяє створювати компактні та потужні системи.

4. Комплекс ТАТМ і генератор з приводом від ІДТ є перспективним технічним рішенням для систем використання скидних і відновлювальних енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. G. W. Swift Thermoacoustics for liquefaction of natural gas / G. W. Swift and J. J. Wollan // *GasTIPS*, Volume 8, Number 4, pp. 21-26
2. De Blok, K. Low operating temperature integral thermo acoustic devices for solar cooling and waste heat recovery / K. De Blok // *Acoustic-2008*, International conference. – Paris, 2008. – P. 18–24.
3. Robert M. Keolian Truck Thermoacoustic Generator and Chiller. Final Report. DOE Project DE-FC26-04NT42113 CPR/IW Project 17057 // Applied Research Laboratory. The Pennsylvania State University. – 2011. – 190 p.
4. Kees de Blok, Acoustic to electric power conversion / Kees de Blok, Pawel Owczarek, Maurice Francois // *Aster Thermoacoustics-2014*. <http://www.aster-thermoacoustics.com/>
5. Thakker A., Hourigan F. Modeling and scaling of the impulse turbine for wave power applications // *Renewable Energy*. 2004. V. 29, no. 3. P. 305–317
6. Bruno Pereias at all. «An improved radial impulse turbine for OWC» // *Renewable Energy* 36 (2011) 1477-1484.
7. De Blok, K. Bi-directional turbines for converting acoustic wave power into electricity / Kees de BLOK/ <http://www.aster-thermoacoustics.com/>
8. Klopogge T. Turbine design for thermo-acoustic generator: Masters thesis. Aeronautical Engineering, Hogeschool. Holland Delft, 2012. 72 p.
9. Коробко В. В. Числове моделювання суднової термоакустичної системи регазифікації LNG палив / В. В. Коробко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2015. – № 2 (13). – С. 36–42.
10. Ward B. Design Environment for Low-amplitude Thermoacoustic Energy Conversion / B. Ward, J. Clark, G. Swift // Los Alamos National Laboratory. – 2008. – 282 p.

REFERENCES

1. Swift G. W. & Wollan J. J. Thermoacoustics for liquefaction of natural gas / // *GasTIPS*, Volume 8, Number 4, 21-26
2. De Blok, K. (2008). Low operating temperature integral thermo acoustic devices for solar cooling and waste heat recovery. *Acoustic-2008, International conference*. Paris, 18–24.
3. Robert M. (2011). Keolian Truck Thermoacoustic Generator and Chiller. Final Report. DOE Project DE-FC26-04NT42113 CPR/IW Project 17057. *Applied Research Laboratory. The Pennsylvania State University*.

4. Kees de Blok, Acoustic to electric power conversion/ Kees de Blok, Pawel Owczarek, Maurice Francois, // Aster Thermoacoustics-2014. <http://www.aster-thermoacoustics.com/>
5. Thakker A., Hourigan F. Modeling and scaling of the impulse turbine for wave power applications // Renewable Energy. 2004. V. 29, no. 3. P. 305–317
6. Bruno Pereias et al. «An improved radial impulse turbine for OWC». // Renewable Energy 36 (2011) 1477-1484.
7. De Blok, K. Bi-directional turbines for converting acoustic wave power into electricity // [Text] / Kees de BLOK/ <http://www.aster-thermoacoustics.com/>
8. Klopogge T. Turbine design for thermo-acoustic generator: Masters thesis. Aeronautical Engineering, Hogeschool. Holland Delft, 2012. 72 p.
9. Korobko V.V. Chyslove modelyuvannya sudnovoyi termoakustychnoyi systemy rehazyfikatsiyi LNG palyv // Naukovyy visnyk Khersons'koyi derzhavnoyi mors'koyi akademiyi. – Kherson : Vydavnytstvo KhDMA, 2015. – # 2 (12). – S. 36-42
10. Ward B. Design Environment for Low-amplitude Thermoacoustic Energy Conversion / B. Ward, J. Clark, G. Swift // Los Alamos National Laboratory. – 2008. – 282 p.

Коробко В. В., Московко А. А., Воронов И. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ДВУНАПРАВЛЕННЫХ ТУРБИН В ТЕРМО-АКУСТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ МАШИНАХ

Создание эффективных систем использования низкотемпературных источников тепловой энергии является важной задачей для энергетики, промышленности, транспорта, флота. Совершенствования тепловых двигателей усложняет тенденцию снижения температурного уровня сбросной теплоты. Внедрение LNG топлив добавляет так называемые «криогенные» тепловые ресурсы систем регазификации сжиженного газа. Термоакустической технологии потенциально способны обеспечить возможности утилизации таких низкотемпературных тепловых ресурсов. Внедрению этих технологий мешает сложность непосредственного получения электрической энергии от термоакустических двигателей. Использование пьезопреобразователей и линейных электрических генераторов приводит к росту стоимости таких систем, ограничивает их мощность и ухудшает надежность. Использование импульсных двунаправленных турбин (ИДТ) должно способствовать решению этой проблемы. С помощью программы DELTA EC проведены варианты расчеты термоакустического двигателя (ТАД) с циклом Брайтона. В результате конструкция ТАД была оптимизирована для использования ИДТ. В работе исследованы характеристики опытного образца ИДТ, предоставлено описание экспериментального стенда, приведены результаты экспериментальных исследований, определены направления дальнейшей работы.

Ключевые слова: импульсная двунаправленная турбина, вторичные энергетические ресурсы, термоакустика, тепловые машины

Korobko V. V., Moskovko O. O., Voronov I. V. INVESTIGATION USE OF FEATURES OF PULSE BIDIRECTIONAL TURBINE IN THERMOACOUSTIC HEAT MACHINES

Annotation. Creating effective use of low temperature heat sources is an important task for the energy, industry, transport. Improving the thermal engine causes permanent reduction of the temperature level of waste heat. The introduction of LNG fuels adds so-called «cryogenic» thermal resources, system of regasification of LNG. Thermoacoustic technology is potentially able to provide the possibility of use of low temperature waste heat resources. Implementation of these technologies prevents the serious problem of direct production of electric energy from the thermoacoustic engine. Using piezoelectric transducer and linear electric generators increases the cost of such systems, create limits of their capacity, and degrades reliability. The introduction of bidirectional impulse turbines should help solve the problem. With program DELTA EC conducted variant calculations thermoacoustic engine (TAD) with the cycle of Brighton. As a result TAD design has been optimized for use bidirectional impulse turbines. In this work the parameters of BIT sample questionnaire, provided a description of the experimental stand, given the results of experimental studies of mental-identified areas for further work.

Keywords: bidirectional impulse turbine, waste energy, thermoacoustic, thermal machines.

ЩОДО ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПОСТІЙНУ СКЛАДОВУ ЗАГАЛЬНИХ ВИТРАТ

Куш Є. І., к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортні системи і логістика» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: kush_bush@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9439-7357;

Скрипін В. С., аспірант кафедри «Транспортні системи і логістика» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: skrypinvs@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2233-7985

У статті проведено аналіз діяльності автотранспортних підприємств м. Харкова. Визначено статті постійних витрат для підприємств з різними парками автомобілів. Математично формалізовано залежності постійних витрат від вантажопідйомності та кількості транспортних засобів. У результаті проведених досліджень було отримано двофакторну регресійну модель визначення постійних витрат. У модель в якості змінних увійшли вантажопідйомність транспортних засобів і їх кількість у парку автотранспортного підприємства. Проведена статистична оцінка розробленої моделі. Побудовано характеристичний графік постійних витрат на автомобільному вантажному транспорті.

Ключові слова: автомобільний транспорт, загальні витрати, постійні витрати, вантажопідйомність, модель, адекватність.

Вступ. Автомобільний транспорт займає важливе місце в загальній транспортній системі країни. Основною задачею його є своєчасне та якісне задоволення потреб як підприємств так і населення. На даний момент у період загальної глобалізації подальший розвиток економіки неможливий без добре налагодженого транспортного обслуговування. Чітка і надійна робота транспорту визначає трудовий ритм підприємств промисловості, будівництва та сільського господарства, а також сфери просування готової продукції [1]. Існуючі умови на ринку транспортних послуг вимагають від автотранспортних підприємств конкурувати між собою. Конкурентоспроможність кожного з них залежить від можливості надавати якісні транспортні послуги з найменшими витратами. Їх визначення проводиться з урахуванням економічного стану та реакції ринку транспортних послуг. Тому актуальним є визначення впливу параметрів транспортних технологій на витрати і розробку підходу до їх визначення.

Постановка проблеми. Забезпечення економічного та соціального росту країни досягається за рахунок розвитку її галузей виробництва. Транспортна галузь – є однією з найбільших з них. Автомобільний транспорт для більшості розвинених країн є основним видом внутрішнього транспорту. Масове використання автотранспортних засобів призвело до змін в усіх секторах економіки: в соціальній сфері, на ринку праці, в містобудівній політиці, в організації роздрібної торгівлі, у сфері відпочинку та в інших аспектах життя суспільства. На даний момент в найбільш розвинених країнах 75–80 % всього обсягу пасажирських і вантажних перевезень виконується автомобільним транспортом [2]. Транспорт забезпечує переміщення вантажів, поєднуючи процес виробництва та сферу споживання в систему товарооберту. Дослідники відмічають, що завдяки транспорту утворюється система «гроші – товар – гроші», на котрій будується будь-яка економіка. Через це особливе значення в розвитку країни має рівень розвитку транспортного комплексу і фінансовий стан автотранспортних організацій [3].

Технологія роботи транспорту визначає його ефективність, яка може характеризуватися як доходними так і витратними показниками. Через уповільнення економічного розвитку і зростання конкурентної боротьби на ринку транспортних послуг автотранспортні підприємства змушені враховувати сучасні умови, що склалися. Зміни в соціально-економічних процесах і коливання попиту на транспортну продукцію потребують нових підходів до процесу управління автотранспортним підприємством [3].

Перевізники намагаються знизити витрати на транспортування за рахунок застосування сучасних технологій, використання економічних і надійних транспортних засобів, зменшення постійних складових загальних витрат. При цьому обрана технологія перевезення має найбільший вплив на загальні витрати транспортного процесу. Особливості технології транспортного обслуговування визначають витрати, що буде нести автотранспортне підприємство під час виконання свого основного виду діяльності. Тому, формування підходу до визначення витрат на перевезення вантажів автомобільним транспортом залежно від параметрів транспортних технологій є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фінансовий стан автотранспортного підприємства залежить не тільки від його прибутку, а і від витрат, які воно несе під час виконання свого основного виду діяльності. Однією з основних умов для проведення аналізу діяльності підприємства за економічними показниками є розділення загальних витрат на змінні, постійні і непрямі [4–7]. Мета поділу витрат полягає в різному реагуванні їх на обсяги виробництва. Змінні витрати залежать від обсягу виробництва. Постійні не залежать і не можуть бути змінені швидко або в короткотерміновій перспективі [7]. Постійні витрати пов'язані з фіксованими факторами, ніколи не дорівнюють нулю, залишаються такими ж, навіть якщо виробничий процес призупинено [7].

За результатами дослідження науковців до постійних витрат відносять [7–11]: амортизацію засобів виробництва; страхові платежі; реєстрацію транспортних засобів; комунальні платежі; витрати на планування та організацію роботи; заробітню плату працівників (якщо вона не залежить від обсягів виробництва); оренду; загальногосподарські витрати; накладні витрати (ремонт будівель, обладнання, витрати на рекламу, консультаційні послуги та ін.) та інші.

Загальні витрати на перевезення вантажів визначаються за наступною залежністю [5]:

$$C_z = C_{zM}L + C_{ПT}, \quad (1)$$

де C_{zM} – змінні витрати, євро/км; $C_{П}$ – постійні витрати, євро/год.; L – довжина маршруту, км; T – час роботи на маршруті, год.

Витрати на транспортування залежать від параметрів технологічного процесу перевезення. Визначення постійних витрат в структурі загальних витрат є невід'ємним елементом процесу управління автотранспортним підприємством і доцільним в сучасних ринкових умовах.

Мета дослідження. Проведені дослідження ставили за мету визначення впливу параметрів транспортних технологій на постійні складові загальних витрат.

Виклад основного матеріалу. Виходячи зі структури постійних витрат, можна зробити висновок, що на їх величину впливають інфраструктура автотранспортного підприємства, площа і місцезнаходження підприємства та інші.

Масштаб інфраструктури підприємства визначається підрозділами з обслуговування основного виробництва, а також соціального обслуговування колективу [12]. Інфраструктура автотранспортного підприємства залежить, насамперед, від засобів виробництва, а саме: від кількості транспортних засобів, їх типу і вантажопідйомності. Внаслідок цього можна зробити висновок, що на постійні витрати автотранспортного підприємства поміж інших факторів найбільший вплив має склад автомобільного парку.

Для оцінки впливу параметрів транспортних технологій на постійну складову загальних витрат на першому етапі дослідження було проведено аналіз діяльності автотранспортних підприємств м. Харкова. При цьому були обрані такі підприємства, які мають на балансі однотипні транспортні засоби, або які мають бригади однотипних автомобілів. Вибірка проводилася таким чином, щоб максимально охопити автомобільний ряд за вантажопідйомністю від 1 до 20 т.

На основі звітів про фінансово-економічну діяльність підприємств було зібрано інформацію про статті витрат, що відносяться до постійних (табл. 1–3).

Таблиця 1 – Показники статей постійних витрати для підприємства з автопарком 16 автомобілів вантажопідйомністю 1,5 т

Період	Статті витрат					
	На заробітню плату, євро	Накладні, євро	Амортизаційні відрахування, євро	Страховання, євро	Комунальні платежі, євро	Інші, євро
1 квартал	9067,5	99,33	303,48	240	1178,775	971,03
2 квартал	8580	123,57	284,51	240	1287	921,31
3 квартал	8092,5	87,68	265,54	240	971,1	865,57
4 квартал	9555	98,75	322,44	240	1337,7	1023,12
За рік	35295	409,33	1175,97	960	4774,575	3781,03

Таблиця 2 – Показники статей постійних витрати для підприємства з автопарком 7 автомобілів вантажопідйомністю 17 т

Період	Статті витрат					
	На заробітню плату, євро	Накладні, євро	Амортизаційні відрахування, євро	Страховання, євро	Комунальні платежі, євро	Інші, євро
1 квартал	12610	140,15	424,87	420	1639,3	1359,50
2 квартал	12220	131,63	409,69	420	1833	1316,63
3 квартал	11440	119,98	379,35	420	1372,8	1231,43
4 квартал	13000	98,47	440,04	420	1820	1397,35
За рік	49270	490,22	1653,95	1680	6665,1	5304,92

Таблиця 3 – Показники статей постійних витрати для підприємства з автопарком 25 автомобілів вантажопідйомністю 3 т

Період	Статті витрат					
	На заробітню плату, євро	Накладні, євро	Амортизаційні відрахування, євро	Страховання, євро	Комунальні платежі, євро	Інші, євро
1 квартал	11440	168,85	379,35	375	1487,2	1236,32
2 квартал	10322	144,68	349,00	375	1548,3	1116,07
3 квартал	10712	154,19	364,17	375	1285,44	1159,04
4 квартал	12220	145,45	409,69	375	1710,8	1318,01
За рік	44694	613,17	1502,21	1500	6031,74	4829,44

Аналогічно були проаналізовані постійні витрати на здійснення перевізного процесу іншими підприємствами з різною структурою автопарків.

Постійні витрати визначалися за наступною залежністю:

$$C_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\Pi i}}{T}, \quad (2)$$

де $C_{\Pi i}$ – i -та стаття постійних витрат, євро, (наприклад $C_{3\Pi}$ – витрати на заробітню плату, євро; C_n – накладні витрати, євро та інші), T – час роботи транспортного засобу, год., n – кількість статей змінних витрат.

Постійні витрати на здійснення процесу перевезення вантажів залежать від інфраструктури автотранспортного підприємства – кількості підрозділів, персоналу, параметрів засобів виробництва, площі та ін. До параметрів транспортних засобів, що впливають на величину постійних складових загальних витрат можна віднести їх вантажопідйомність і кількість в автомобільному парку підприємства, що можна формалізувати наступною математичною залежністю:

$$C_{\Pi} = f(A, q_n), \quad (3)$$

де A – кількість транспортних засобів в автопарку підприємства, од., q_n – вантажопідйомність транспортного засобу, т.

В результаті проведених розрахунків було отримано значення постійних витрат на виконання процесу перевезення вантажів залежно від вантажопідйомності транспортних засобів і їх кількості в парку автотранспортного підприємства.

На наступному етапі дослідження було проведено дослідження залежності постійних витрат від вантажопідйомності транспортних засобів. Графічне представлення цієї залежності наведено на рис. 1.

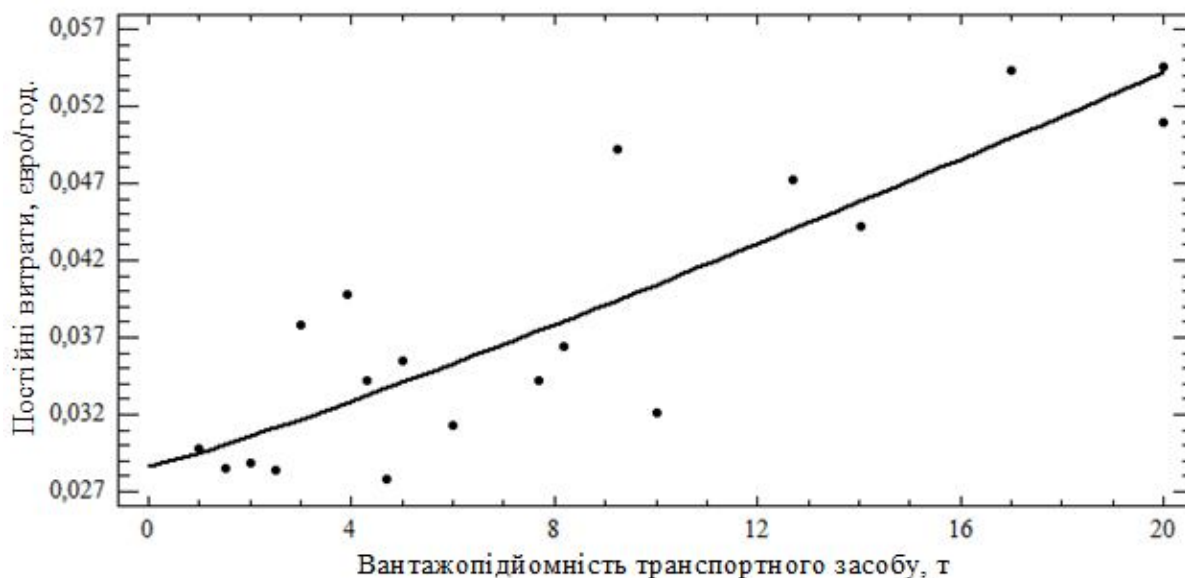


Рисунок 1 – Залежність постійних витрат від вантажопідйомності транспортних засобів

Залежність постійних витрат від вантажопідйомності транспортних засобів автопарку підприємства було математично описано такою регресійною нелінійною моделлю:

$$C_{\Pi} = 0,0286 + 9,12 \cdot 10^{-4} q_n^{1,113}. \quad (4)$$

Отримана модель має достатньо високу інформаційну спроможність, про що свідчить перевищення розрахункового показника Фішера – 51,98 над табличним – 4,45. Ступінь кореляції, що дорівнює 0,754, свідчить про достатньо високий ступінь взаємозв'язку між параметрами що досліджуються [13]. Середня помилка апроксимації складає 9,55 %.

Статистичні показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана в практичних розрахунках, але вона вірно показує, що зі збільшенням вантажопідйомності транспортних засобів у парку автотранспортного підприємства постійні витрати збільшуються. Це відбувається через збільшення кількості обслуговуючого персоналу, збільшення витрат на збереження запасних частин, шин, мастильних матеріалів та інші.

На наступному етапі було проведено дослідження залежності постійних витрат від кількості автомобілів у парку автотранспортного підприємства. Графічне представлення цієї залежності наведено на рис. 2.

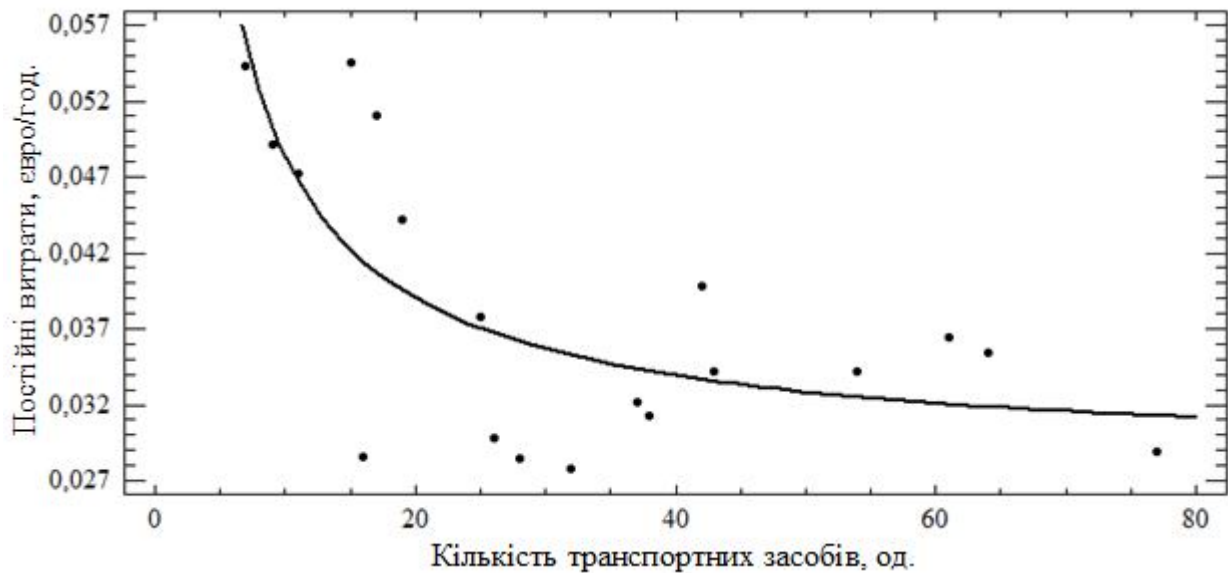


Рисунок 2 – Залежність постійних витрат від кількості транспортних засобів

Залежність постійних витрат від кількості транспортних засобів в парку автомобільного підприємства було математично описано такою нелінійною регресійною моделлю:

$$C_{\Pi} = 0,0278 + 0,152A^{-0,87}. \quad (5)$$

Отримана модель має достатньо високу інформаційну спроможність, про що свідчить перевищення розрахункового показника Фішера – 19,43 над табличним – 4,45. Ступінь кореляції, що дорівнює 0,533, свідчить про середній ступінь взаємозв'язку між параметрами що досліджуються. Середня помилка апроксимації складає 13,3 %.

Статистичні показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана в практичних розрахунках, але вона вірно показує, що зі збільшенням кількості транспортних засобів в парку автотранспортного підприємства постійні витрати зменшуються, при чому з графіку видно, що при 40 і більше автомобілів це зниження становиться незначним. Це пояснюється зменшенням питомих витрат на забезпечення процесу виробництва транспортної продукції.

На основі отриманих результатів, можливо зробити висновок, що формалізацію залежності постійних витрат від параметрів транспортних технологій доцільно провести з використанням багатофакторного нелінійного математичного моделювання. У результаті була отримана така залежність:

$$C_{\Pi} = 0,0015q_n^{0,92} + 0,0389A^{-0,095}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції отриманої моделі дорівнює 0,987, що свідчить про достатньо високий ступінь взаємозв'язку між параметрами, що досліджуються. Статистичні показники факторів моделі наведені в табл. 4. Оцінка адекватності проводилася за показником середньої похибки апроксимації. Її значення дорівнює 8,7 % і відповідає допустимим межах.

Таким чином, отримані результати показали, що використання багатофакторного регресійного аналізу дозволило отримати модель визначення постійних витрат із кращим ступенем адекватності на відміну від однофакторного моделювання, про що свідчать статистичні показники. Це дає дозволяє зробити висновок про можливість її застосування на практиці.

Таблиця 4 – Характеристика моделі визначення змінних витрат

Фактори	Границі вимірювань	Стандартна похибка	Довірчі інтервали	Критерій Стьюдента	
				Розрахунковий	Табличний
Вантажо-підйомність транспортного засобу, т	1-20	0,000215323	0,000996869–0,00190546	6,73946	2,11
Кількість транспортних засобів, од.	7-77	0,0023726	0,0339207–0,0439322	16,4067	

Вантажопідйомність транспортних засобів і їх кількість визначають параметри транспортних технологій. Дослідження їх впливу на постійну складову загальних витрат проводилося на підставі характеристичного графіка (рис. 3).

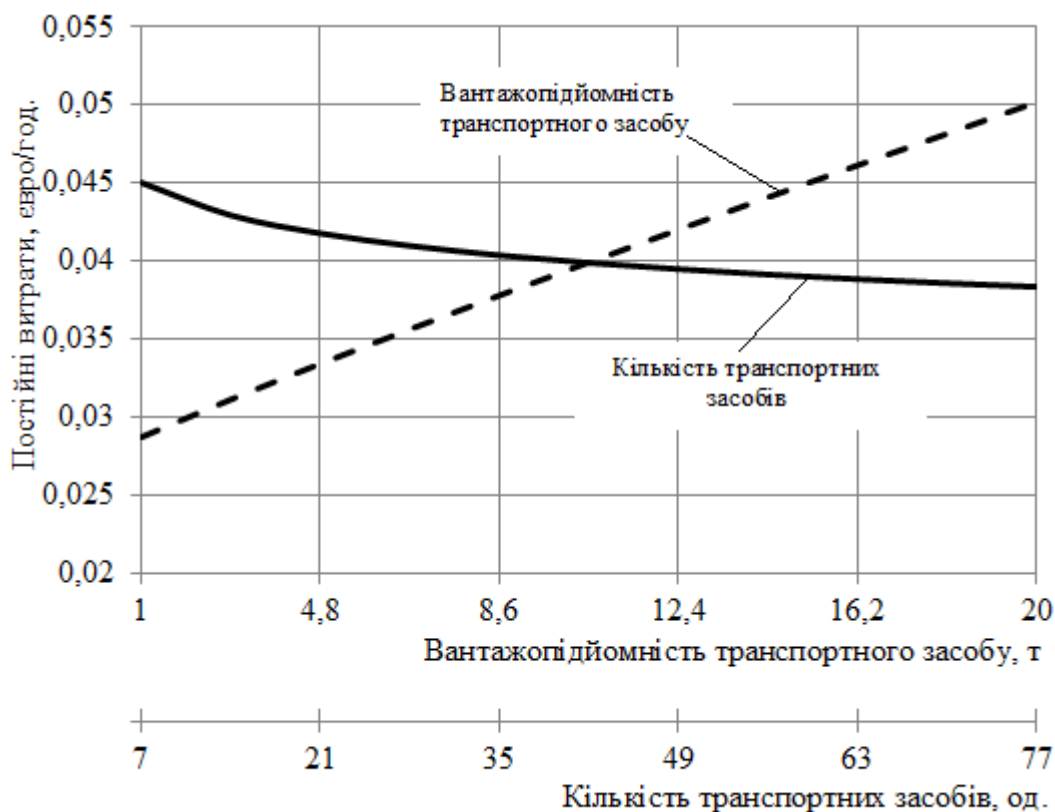


Рисунок 3 – Характеристичний графік постійних витрат на автомобільному вантажному транспорті

Висновки. У результаті проведених досліджень було отримано двофакторну регресійну модель визначення постійних витрат, в яку в якості змінних увійшли вантажопідйомність транспортних засобів і їх кількість у парку автотранспортного підприємства. Результати аналізу статистичних показників свідчать про її адекватність і можливість застосування на практиці. У подальших дослідженнях планується визначення закономірностей зміни загальних витрат на перевезення вантажів залежно від параметрів технологічного процесу перевезення тарно-штучних вантажів у містах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вельможин А. В. Грузовые автомобильные перевозки : учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2006 – 560 с.
2. Майборода М. Е. Грузовые автомобильные перевозки : учебное пособие / М. Е. Майборода, В. В. Бернадский. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 442 с.
3. Эйхлер Л. В. Разработка модели управления постоянными затратами грузового автотранспортного предприятия : монография. / Л. В. Эйхлер, О. В. Фалалеева. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2007. – 167 с.
4. Vermeulen, J. P. L. The price of transport – Overview of the social costs of transport / P.L. (Joost) Vermeulen, B.H. (Bart) Boon, H.P. (Huib) van Essen, and others. – Delft, CE, 2004. – 187 p.
5. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. – К. : Вища школа, 1986. – 447 с.
6. Калинина Т. Б. Учет затрат и калькулирование себестоимости на автотранспортных предприятиях / Т. Б. Калинина // Бухгалтерский учет, статистика. Экономические науки. – 2013. – № 4. – С.141–144.
7. Berwick M. Truck costing model for transportation managers / M. Berwick, M. Farooq. – Mountain-Plains Consortium, 2003. – 61 p.
8. Zegras C. An analysis of the full costs and impacts of transportation in Santiago de Chile / C. Zegras, T. Litman. – International Institute for Energy Conservation, 1997. – 173 p.
9. Chen T. D. The economics of transportation system: a reference for practitioners / T. D. Chen, K. Larsen, B. Nichols K. Kockelman. – University of Texas at Austin, 2013. – 310 p.
10. Лавриков И. Н. Экономика автомобильного транспорта : учебное пособие / И. Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин ; под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. И. А. Минакова. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ. – 2011. – 116 с.
11. Железняк О. О. Визначення собівартості пасажирсько-транспортного процесу / О. О. Железняк, Л. М. Олещенко // Актуальні проблеми економіки. – 2012. – №11. – С. 218-226.
12. Грузинов В. П. Экономика предприятия : учебное пособие. / В. П. Грузинов, В. Д. Грибов – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 336 с.
13. Френкель А. А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда / А. А. Френкель. – М. : Экономика, 1966. – 96 с.

REFERENCES

1. Veljmozhin A. V., Gudkov V. A., Mirodin L. B., Kulikov A. V. (2006). *Gruzovihe avtomobiljnihe perezovzki : uchebnik dlya vuzov*. Moskva : Goryachaya liniya – Telekom.
2. Mayjboroda M. E., Bernadskiy V. V. (2008). *Gruzovihe avtomobiljnihe perezovzki : uchebnoe posobie*. Rostov n/D : Feniks.
3. Ehykhler L. V., Falaleeva O. V. (2007). *Razrabotka modeli upravleniya postoyannihmi zatratami gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya : monografiya*. Omsk : Izd-vo SibADI.
4. Vermeulen, J. P. (2004) L. *The price of transport – Overview of the social costs of transport* / P.L. (Joost) Vermeulen, B.H. (Bart) Boon, H.P. (Huib) van Essen, and others. Delft, CE, 187 p.
5. Vorkut A. I. (1986). *Gruzovihe avtomobiljnihe perezovzk*. K. : Vitha shkola.
6. Kalinina T. B. (2013). *Uchet zatrat i kaljkulirovanie sebestoimosti na avtotransportnihkh predpriyatiyakh. Bukhgalterskiy uchets, statistika. Ehkonomicheskie nauki*, 4. 141–144.
7. Berwick M., Farooq M. (2003). *Truck costing model for transportation managers*. Mountain-Plains Consortium.

8. Zegras C., Litman T. (1997). *An analysis of the full costs and impacts of transportation in Santiago de Chile*. International Institute for Energy Conservation.
9. Chen T. D., Larsen K., Nichols B., Kockelman K. (2013). *The economics of transportation system: a reference for practitioners*. University of Texas at Austin.
10. Lavrikov I. N. (2011). *Ehkonomika avtomobiljnogo transporta : uchebnoe posobie* / N. Lavrikov, N. V. Penjshin ; pod nauch. red. d-ra ehkon. nauk, prof. I. A. Minakova. – Tambov : Izd-vo GOU VPO TGTU.
11. Zheleznyak O. O., Olethenko L. M. (2012). Vznachennya sobivartosti pasazhirsjko-transportnogo procesu. *Aktualjni problemi ekonomiki*, 11, 218-226.
12. Gruzinov V. P. (2003). *Ehkonomika predpriyatiya : uchebnoe posobie*. Moskva : Finansih i statistika.
13. Frenkelj A. A. (1966). *Mnogofaktornihe korrelyacionnihe modeli proizvoditeljnosti truda*. M. : Ehkonomika.

Куш И. Е., Скрипин В. С. О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОСТОЯННУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ОБЩИХ ЗАТРАТ

В статье проведен анализ деятельности автотранспортных предприятий г. Харькове. Определены статьи постоянных расходов для предприятий с различными парками автомобилей. Математически формализованы зависимости постоянных расходов от грузоподъемности и количества транспортных средств. В результате проведенных исследований было получено двухфакторную регрессионную модель определения постоянных затрат. В модель в качестве переменных вошли грузоподъемность транспортных средств и их количество в парке автотранспортного предприятия. Проведена статистическая оценка разработанной модели. Построено характеристический график постоянных затрат на автомобильном грузовом транспорте.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, общие расходы, постоянные расходы, грузоподъемность, модель, адекватность.

Kush I. E., Skripin V. S. INFLUENCE OF TRANSPORT TECHNOLOGIES PARAMETERS ON THE CONSTANT COMPONENT OF THE TOTAL COST

The article presents the analysis conducted on the operation of public transport enterprises of Kharkiv. Articles of fixed costs for enterprises with various automobile parks have been determined. Dependence of fixed costs on the elevating capacity and number of vehicles has been mathematically formalized. As a result of the research, two-factor regression model for determining fixed costs has been created. The model includes variables such as vehicles elevating capacity and the number of vehicles in a public transport enterprise. The statistical evaluation of the developed model has been done. The characteristic graph of fixed costs in road freight transport has been built.

Keywords: automobile transport, total costs, fixed costs, elevating capacity, model, adequateness.

© Куш І. Е., Скрипін В. С.

Статтю прийнято
до редакції 28.04.16

СТРОГОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАЛИЧИЯ МАССЫ У ФОТОНА

Настасенко В. А., к.т.н., доцент, профессор кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, E-mail: Nastasenko2004@front.ru

Впервые найдены строгие физические закономерности, доказывающие связь между отклонением луча света при прохождении у массивных тел, с силой тяготения, вытекающей из закона Всемирного тяготения, что является строгим подтверждением наличия массы у лучей света и составляющих их фотонов. Полученные на базе найденных закономерностей расчетные данные совпадают с результатами экспериментальных исследований, проведенных ранее другими учеными, что подтверждает их достоверность. Новые расчетные зависимости и полученные по ним результаты значительно уточняют использованные ранее методики и полученные по ним результаты, что существенно расширяет представления о строении лучей света и материального мира в целом.

Ключевые слова: закон Всемирного тяготения, движение луча света и его масса.

Введение. Связь проблемы с основными научными направлениями Работа относится к области квантовой физики, физики света и гравитационного взаимодействия, в частности – к условиям прохождения лучей света и составляющих их фотонов вблизи Солнца и других массивных объектов, а также к основам мироздания и Вселенной в целом.

Исследование физических основ строения и формирования лучей света, связанных с корпускулярными (вещественными) свойствами фотона и его волновой структурой, является важной и актуальной задачей, поскольку относится к глобальным проблемами естествознания, решение которых имеет большой теоретический и практический интерес для познания основ материального мира. Они способствуют развитию физики и других естественных наук, в условиях постоянной потребности расширения знаний о материальном мире, о Вселенной в целом и о составляющих их вещественных и волновых структур.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи. Из школьного курса физики известно, что свет создан фотонами, которые одновременно являются волнами и частицами, (корпускулами) имеющими нулевую массу. Корпускулярные свойства фотонов, как частиц, были строго доказаны в экспериментах профессора Лебедева по определению давления света и объяснены Эйнштейном в работах по изучению фотоэффекта [1].

Кроме этого, изменение направления хода луча света при гравитационном воздействии на него массивного объекта было обосновано Эйнштейном в 1917 году и экспериментально подтверждено в 1919 году при полном затмении Солнца, скрывшем его корону [2], что сделало видимым яркие звезды. Было рассчитано время закрытия звезды диском Солнца, однако визуально оно произошло несколько позже. По известным положениям звезды 3α , Земли 3_0 и скорости движения ее по солнечной орбите, был определен реальный угол поворота луча света в $1,64''$ (рис. 1), который по расчетам Эйнштейна должен составлять величину $1,7''$, что показало его высокую точность совпадения, поскольку ошибка не превышала $+3,7\%$.

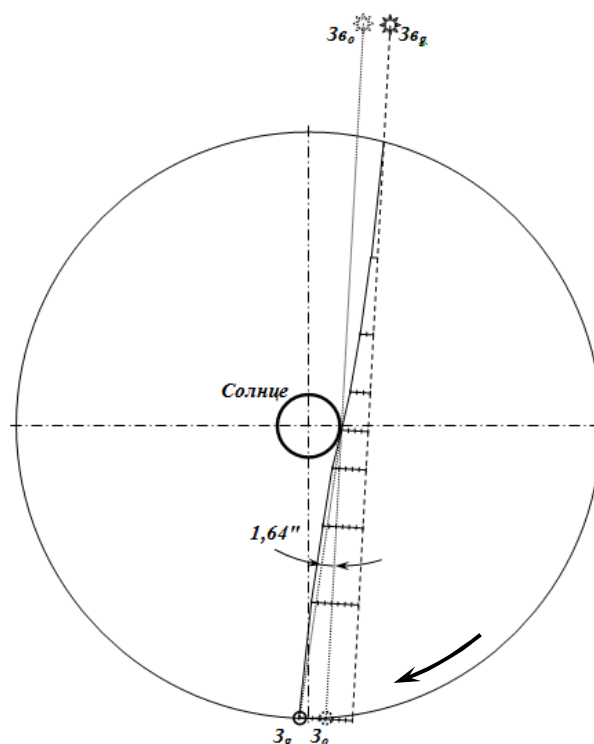


Рисунок 1 – Схема отклонения луча света при движении его к Земле мимо диска Солнца в рамках исходных расчетных положений звезды $Зв_0$ и Земли $З_0$ и реальных $Зв_g$ и $З_g$.

Эйнштейн объяснил данное явление искривлением пространства вблизи массивных объектов, что было необходимо ему для доказательства создаваемой им общей теории относительности.

Однако возможность такого искривления позволяет предположить наличие массы у лучей света и составляющих его фотонов. Решение данной задачи является *главной целью* выполняемой **работы**. Ее научную новизну составляет обоснование возможной массы фотона на базе строгих физических законов, в частности – Всемирного тяготения (1) [1]:

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2} (H), \quad (1)$$

где m_1, m_2 – массы двух точечных объектов, (кг), размещенных на расстоянии r (м) между собой; G – гравитационная постоянная [3], периодичность (||) значения которой обоснована в работе [4]:

$$G = 6, |6739| \cdot 10^{-11} \left(\frac{M^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right). \quad (2)$$

Достоверность данного закона подтверждена многочисленными исследованиями, что позволяет использовать его для строгого обоснования возможной массы фотона.

Исходные положения для достижения поставленной цели. Основой 1-го исходного положения принята физическая модель, в которой лучи света рождаются из шестигранной квантовой точки, [5], плотность энергии которой сводит ее к частице (корпускуле), а затем на пути в $\frac{1}{2}$ длины волны она развивается плоскими шестигранными дисками с менее плотными сгустками энергии в конус, до амплитуды волн, после чего на $\frac{1}{2}$ длины волны – коллапсирует в начальный сгусток (рис. 2). Так, поочередно свет проявляется как частица и как волна.

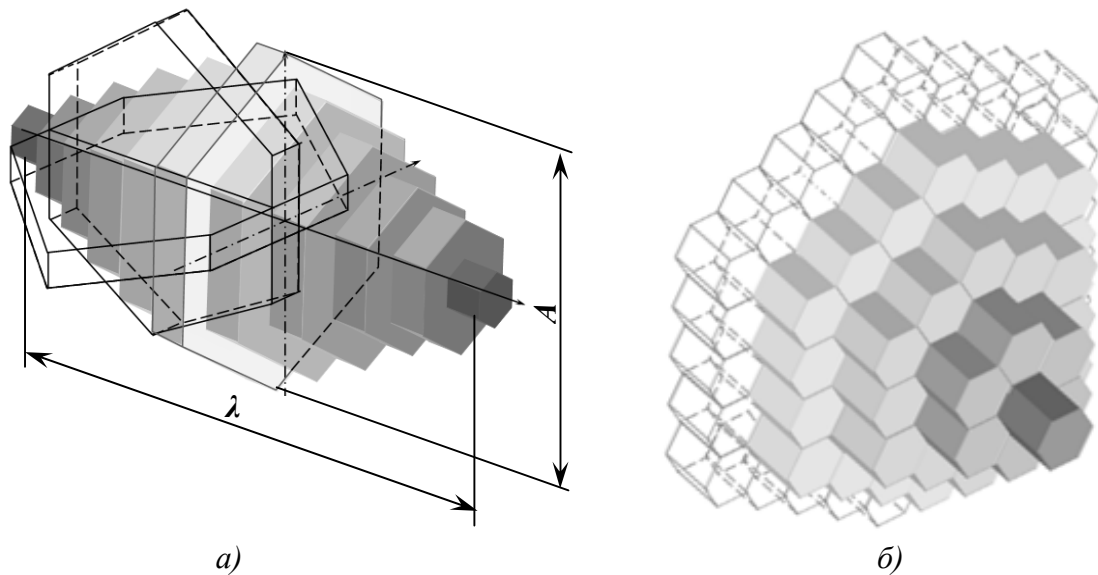


Рисунок 2 – Упрощенная схема формирования луча света как частицы и волны длиной λ и амплитудой A энергетическими дисками шестигранной формы (а), созданных квантовыми точками (б) и возможности разворота среднего шестигранного энергетического диска в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях

Предлагаемые схемы – упрощенные, возможно, что движение дисков вперед – винтовое. Использование шестигранной формы у квантовых точек обусловлено тем, что в отличие от круглой формы, они обеспечивают плотную упаковку системы. [5]. Плоские шестигранные энергетические диски в поперечном направлении к ходу луча света и перпендикулярная ориентация к ним дисков магнитного поля со сдвигом на $\frac{1}{2}$ длины волны (поскольку это поле не может опередить скорость света), а также возможность поляризации энергетических дисков с разворотом их в продольном направлении, могут служить косвенным подтверждением достоверности предлагаемой модели формирования луча света.

В рамках разности длин волн видимого света от красного (780 нм) до фиолетового (380 нм) диапазона, квантовые точки-корпускулы из сгустков энергии разной плотности **1** будут располагаться с относительным сдвигом шага на оси хода луча и составят непрерывную цепочку, а конусы сольются во внутреннюю **2** и внешнюю **3** трубки с толщиной стенок в виде разности амплитуд (рис. 3), что обеспечивает вещественно-волновой дуализм свойств света.

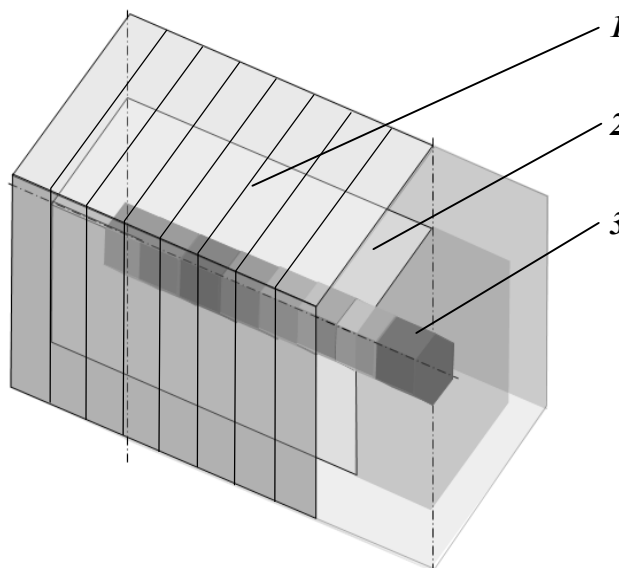


Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема расположения вещественных и волновых оболочек лучей света с разной длиной и амплитудой волн цветового спектра

Гравитационное взаимодействие луча света, в условиях действия закона Всемирного тяготения (1), проявляется, как для цепочки энергетических сгустков квантовых точек, так и для самих дисков, поскольку величина их массы сохраняется постоянной и распределяется по всему диску с уменьшением плотности.

2-м исходным положением было принято квантовое строение материального мира в линейных Планковских величинах длины l_p (3) и времени t_p (4), как минимально возможных внешних параметров объектов Вселенной [5], а также величина Планковской массы m_p (5):

$$l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = \sqrt{\frac{6,626069 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,6739 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left(0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^3}} = 4,051249432 \cdot 10^{-35} (\text{м}), \quad (3)$$

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = \sqrt{\frac{6,626069 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,6739 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left(0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^5}} = 13,5135 \cdot 10^{-44} (\text{с}), \quad (4)$$

$$m_p = \sqrt{\frac{hc}{G}} = \sqrt{\frac{6,626069 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)}{6,6739 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}} = 5,45564754 \cdot 10^{-8} (\text{кг}), \quad (5)$$

где h – постоянная Планка [4, 6]:

$$h = 6,626069 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}), \quad (6)$$

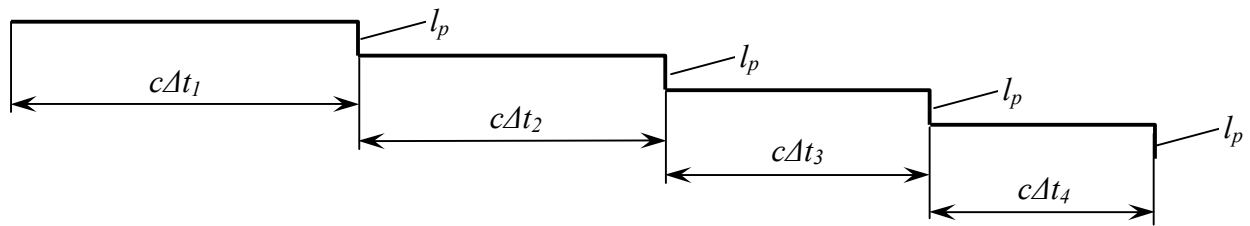
c – скорость света в вакууме [4, 6]:

$$c = 0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right). \quad (7)$$

Поскольку реальность Планковских величин (3) – (5) обоснована в работах [7, 8] их связью с Планковскими слоями, составляющими все пространство Вселенной, поэтому их применение корректно в научных исследованиях. Таким образом, квантовая точка исходного энергетического сгустка имеет размеры l_p (3), а время прохождения ею такого же расстояния со скоростью c света в вакууме – составляет величину t_p (4).

Разработка физико-математической модели процесса прохождения луча света у лиска Солнца. В рамках разрабатываемой модели движения луча света, для доказательства ее достоверности необходимо получить конечный поворот луча света на угол $1,64^\circ$, который был измерен экспериментально в 1919 году при затмении Солнца.

Изменение прямолинейного направления движения луча света со скоростью c от гравитационного воздействия на луч массивного объекта (Солнца) происходит по нормали к исходному направлению движения луча скачками на квантовую величину l_p , (рис. 4) после нарастания гравитационного воздействия с величиной ускорения свободного падения на Солнце до критической величины g_{Ci} в течение времени Δt_i .


 Рисунок 4 – Схема отклонения луча света квантовыми скачками в интервале $i = 1 \dots 4$

По упрощенной схеме движение корпускулы света рассматривалось, как движение точечного объекта, пущенного со скоростью света c по касательной к диску Солнца, имеющего среднюю массу $m_C = 1,989 \cdot 10^{30}$ кг и средний радиус $r_C = 0,6955 \cdot 10^9$ м [9]. Поскольку данное изменение движения связано с гравитационной массой луча света, как частицы-корпускулы, тогда можно считать, что со стороны Солнца на каждую из этих частиц будет действовать ускорение свободного падения g_{Ci} , величина которого определяется из закона всемирного тяготения (1) [1] по уравнению (8):

$$g_{Ci} = \frac{Gm_C}{r_i^2} \left(\frac{m}{c^2} \right). \quad (8)$$

где r_i – текущий радиус от центра Солнца к точке мгновенного положения пролетающей мимо частицы (корпускулы) света.

Величина текущего радиуса r_i выбрана из условий реального изменения положения корпускулы света при подлете к Солнцу и отлете от него со скоростью света c под действием силы его тяготения в пределах интервала времени $T = \pm 499$ с, за которое свет проходит диаметр средней круговой орбиты вращения Земли вокруг Солнца:

$$r_i = \sqrt{r_C^2 + [(T + \Delta T_i)c]^2} \text{ (м)}, \quad (9)$$

где ΔT_i – величина дискретного изменения времени подлета корпускулы к Солнцу и отлета от него в интервале i от 0 до ± 499 секунд.

Подставив значения (9) в уравнение (8), окончательно получим уравнение (10) для расчета текущих значений величин ускорения свободного падения g_{Ci} корпускул на Солнце:

$$g_{Ci} = \frac{Gm_C}{r_C^2 + [(T_{-499} + \Delta T_i)c]^2} \left(\frac{m}{c^2} \right). \quad (10)$$

Для исходного положения корпускулы света (за время $T_{-499} = -499$ секунд до ее подлета к Солнцу), ускорение ее свободного падения на Солнце составит величину g_{C-499} (11), которая вытекает из уравнения (10):

$$g_{C-499} = \frac{Gm_C}{r_C^2 + (T_{-499} \cdot c)^2} = \frac{6,6739 \cdot 10^{-11} \left(\frac{m^3}{kg \cdot c^2} \right) \cdot 1,989 \cdot 10^{30} (kg)}{[0,6955 \cdot 10^9 (m)]^2 + [-499(c) \cdot 0,2998 \cdot 10^9 \left(\frac{m}{c} \right)]^2} = 0,5931 \cdot 10^{-2} \left(\frac{m}{c^2} \right). \quad (11)$$

Численная величина дискретного изменения времени Δt_i определяется из условия перпендикулярного сдвига корпускулы света к исходному направлению ее полета на квант длины l_p , составляющий Планковскую величину (3). Для расчета дискретного времени Δt_{-499} , за которое корпускула пройдет путь l_p (3) при ускорении g_{C-499} (11), используем общую зависимость:

$$l_p = v_0 \Delta t_{-499} + g_{C-499} (\Delta t_{-499})^2 \text{ (м)},$$

где v_0 – начальная скорость движения корпускулы в направлении по нормали к вектору исходной скорости движения луча света.

Поскольку рассмотренный выше квантовый характер поперечного сдвига корпускулы света позволяет принять $v_0 = 0$ м/с, тогда получим начальное время Δt_{-499} (12):

$$\Delta t_{-499} = \sqrt{\frac{l_p}{g_{C-499}}} = \sqrt{\frac{4,051 \cdot 10^{-35} (м)}{0,5931 \cdot 10^{-2} \left(\frac{м}{с^2}\right)}} = 0,8265 \cdot 10^{-16} (с), \quad (12)$$

Зная это время (12) и скорость света c (7), можно определить дискретную величину продольного пролета ΔL_{-499} корпускулы до ее сдвига на квант l_p :

$$\Delta L_{-499} = c \Delta t_{-499} = 0,2998 \cdot 10^9 \left(\frac{м}{с}\right) \times 0,8265 \cdot 10^{-16} (с) = 2,478 \cdot 10^{-8} (м). \quad (13)$$

Тогда отношение поперечного сдвига на квант l_p к дискретной величине продольного пролета ΔL_{-499} , даст дискретный единичный угол разворота $\Delta \varphi_{-499}$:

$$\Delta \varphi_{-499} = \frac{l_p}{\Delta L_{-499}} = \frac{4,051 \cdot 10^{-35}}{2,478 \cdot 10^{-8}} = 0,1635 \cdot 10^{-26} (рад). \quad (14)$$

Следует учесть, что пролет корпускулы света на такое малое расстояние (13) за время Δt_{-499} (12) в интервале времени i от 0 до ± 499 с, ведет к потребности очень большого количества вычислений, оцениваемого величиной N (15), что нецелесообразно:

$$N_i = \frac{2 \times 499}{\Delta t_{-499}} = \frac{2 \times 499 (с)}{0,8265 \cdot 10^{-16} (с)} = 1,208 \cdot 10^{19}. \quad (15)$$

Поэтому в дальнейших расчетах учитывали, что точность конечного результата угла $\sum \Delta \varphi_i = 1,64 \pm 2\%$ является высокой для подтверждения достоверности основных положений модели в выполняемой работе, что позволяет сократить количество расчетов.

С этой целью окончательные значения расчетных величин (11)...(14) при дискретном поперечном смещении луча на квант длины $l_p = 4,051 \cdot 10^{-35}$ м на общем интервале времени T подлета луча к Солнцу от -499 с до 0 с и отлета до 499 с были выполнены:

- 1) с шагом $\Delta T = 100$ с в интервале T от -499 с до -100 с подлета луча,
- 2) с шагом $\Delta T = 10$ с в интервале T от -100 с до -10 с подлета луча,
- 3) с шагом $\Delta T = 1$ с в интервале T от -10 с до -1 с подлета луча,
- 4) с шагом $\Delta T = 0,1$ с в интервале T от -1 с до 0 с подлета луча.

В рамках квадратичности зависимости (10) текущее изменение ускорения свободного падения на солнце при подлете и отлете луча света будет зеркально симметричным, поэтому достаточно ограничиться расчетами в интервале T от -499 с до 0 с и удвоить результат.

Количество ΔN_i углов поворота луча света в каждом из выбранных интервалов получали делением времени ΔT_i интервала на время Δt_i сдвига луча света в этом интервале:

$$\Delta N_i = \frac{\Delta T}{\Delta t_{icp}} \quad (16)$$

Общий угол разворота луча света на интервале составляет величину (17):

$$\sum \Delta \varphi_i = \Delta \varphi_i \Delta N_i (рад). \quad (17)$$

Например, для конечного времени интервала $T = -400$ с ускорение свободного падения на Солнце g_{C-400} увеличилось до величины (18), а время поперечного сдвига уменьшилось до величины (19):

$$g_{C-400} = \frac{Gm_c}{r_c^2 + (T_{-400} \cdot c)^2} = \frac{6,6739 \left(\frac{M^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right) \cdot 1,989 \cdot 10^{30} (\kappa^2)}{\left[0,6955 \cdot 10^9 (M) \right]^2 + \left[-400(c) \cdot 0,2998 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \right]^2} = 0,9230 \cdot 10^{-2} \left(\frac{M}{c^2} \right). \quad (18)$$

$$\Delta t_{-400} = \sqrt{\frac{l_p}{g_{C-400}}} = \sqrt{\frac{4,051 \cdot 10^{-35} (M)}{0,9230 \cdot 10^{-2} \left(\frac{M}{c^2} \right)}} = 0,6625 \cdot 10^{-16} (c), \quad (19)$$

Дискретная величина продольного пролета Δl_{-400} луча света до его сдвига на квант l_p составило величину (20), а единичный угол разворота $\Delta \varphi_{-400}$ – составил величину (21):

$$\Delta l_{-400} = c \Delta t_{-400} = 0,2998 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \times 0,6625 \cdot 10^{-16} (c) = 198,6 \cdot 10^{-10} (M). \quad (20)$$

$$\Delta \varphi_{-400} = \frac{l_p}{\Delta l_{-400}} = \frac{4,051 \cdot 10^{-35}}{1,986 \cdot 10^{-8}} = 0,2040 \cdot 10^{-26} (rad). \quad (21)$$

Количество углов поворота луча света на интервале $-499 \dots -400$ с составило величину (22), а общий угол разворота луча света – составил величину (23):

$$\Delta N_{-499-400} = \frac{\Delta T}{\Delta t_{icp}} = \frac{99}{0,6625 \cdot 10^{-16}} = 149,4 \cdot 10^{16}. \quad (22)$$

$$\Sigma \Delta \varphi_i = \Delta \varphi_i \Delta N_i = 0,2040 \cdot 10^{-26} \times 149,4 \cdot 10^{16} = 0,3048 \cdot 10^{-8} (rad). \quad (23)$$

Конечной величиной расчетных значений ускорения свободного падения на Солнце была взята максимальная величина g_{C0} , полученная на грани касания летящей корпскулы с солнечным диском, когда время ее подлета T_0 достигнет 0 секунд, а численная величина ускорения составит значение, вытекающее из уравнения (24):

$$g_{iC0} = \frac{Gm_c}{r_c^2 + (T_0 \cdot c)^2} = \frac{6,6739 \cdot 10^{-11} \left(\frac{M^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right) \cdot 1,989 \cdot 10^{30} (\kappa^2)}{\left[0,6955 \cdot 10^9 (M) \right]^2 + \left[0(c) \cdot 0,29979 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \right]^2} = 0,2744 \cdot 10^3 \left(\frac{M}{c^2} \right). \quad (24)$$

При этом конечное время поперечного сдвига луча уменьшилось до величины Δt_0 (25):

$$\Delta t_0 = \sqrt{\frac{l_p}{g_{C0}}} = \sqrt{\frac{4,051 \cdot 10^{-35} (M)}{0,2744 \cdot 10^3 \left(\frac{M}{c^2} \right)}} = 0,3842 \cdot 10^{-18} (c), \quad (25)$$

Продольный пролет луча составил величину Δl_0 (26), а единичный угол разворота величину $\Delta \varphi_0$ (27):

$$\Delta l_0 = c \Delta t_0 = 0,2998 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \times 0,3842 \cdot 10^{-18} (c) = 1,152 \cdot 10^{-10} (M). \quad (26)$$

$$\Delta\varphi_0 = \frac{l_p}{\Delta l_0} = \frac{4,051 \cdot 10^{-35}}{1,152 \cdot 10^{-10}} = 35,17 \cdot 10^{-26} (рад). \quad (27)$$

Количество N_i углов поворота луча света в этом интервале составило величину (28) а общий угол поворота $\Delta\varphi_i$ луча света в этом интервале составил величину (29):

$$N_{0,1-0} = \frac{\Delta T}{\Delta t_i} = \frac{0,1}{0,3842 \cdot 10^{-18}} = 26,03 \cdot 10^{16}. \quad (28)$$

$$\Sigma\Delta\varphi_0 = \Delta\varphi_0 \Delta N_{0,1-0} = 35,17 \cdot 10^{-26} \times 26,03 \cdot 10^{16} = 9,154 \cdot 10^{-8} (рад). \quad (29)$$

Сумма углов поворота луча света на всех интервалах получена при их общем сложении:

$$\Sigma\Delta\varphi = \Sigma\Delta\varphi_i + \dots + \Sigma\Delta\varphi_0 = 0,3048 \cdot 10^{-8} + 9,154 \cdot 10^{-8} = 404,22 \cdot 10^{-8} (рад). \quad (30)$$

Результаты расчетов всех показателей сведены в табл. 1.

Углы поворота луча света на участках подлета и удаления от Солнца равны между собой, поэтому значение (30) необходимо удвоить. Таким образом, общий угол поворота в угловых секундах составит величину:

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \Sigma\Delta\varphi \cdot 60 \cdot 60 \cdot 180}{\pi} = \frac{2 \cdot 404,23 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 180}{3,1416} = 1,668". \quad (31)$$

Проведенные расчеты показали, что общий угол поворота луча света $\Delta\varphi = 1,668''$ отличается от экспериментального значения $\Delta\varphi_s = 1,64''$ на +1,71% (32), что подтверждает достоверность разработанной модели.

Графическое представление движения луча света у диска Солнца показано на рис. 5, в рамках принятого масштаба координатных осей Солнечный диск сводится к эллипсу.

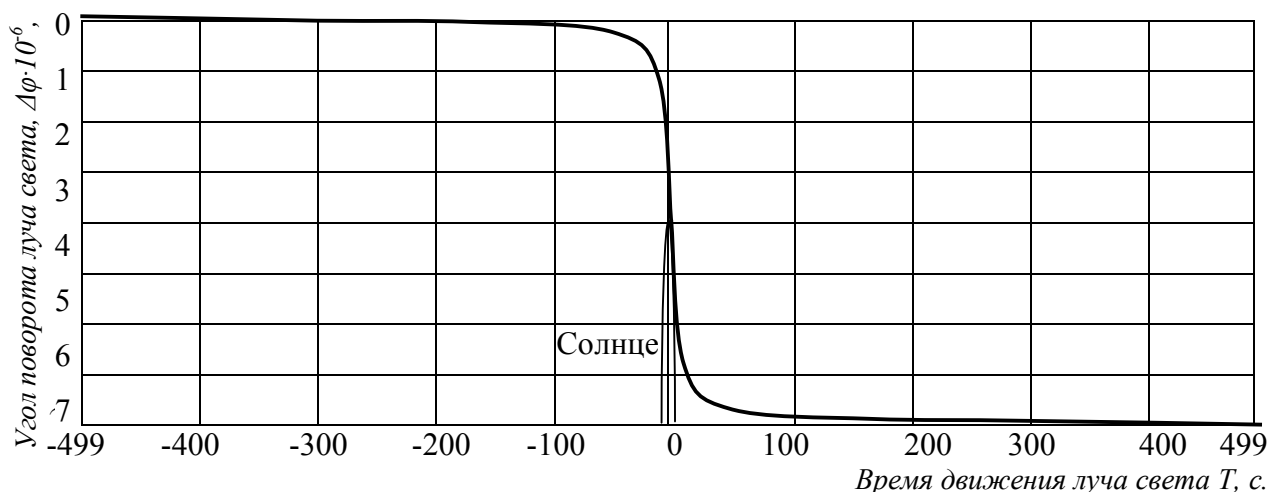


Рисунок 5 – Изменение угла поворота луча света при движении его мимо диска Солнца

Таблица 1 – Результаты расчета угла поворота луча света при движении его у Солнца

№	T	g_{ci}	$\Delta t_i \cdot 10^{-18}$	$\Delta l_i \cdot 10^{-10}$	$\Delta \varphi_i \cdot 10^{-26}$	$N_i \cdot 10^{16}$	$\Delta \varphi_i N_i \cdot 10^{-8}$	$\Sigma \Delta \varphi_i N_i \cdot 10^{-8}$
1	499	0,005931	82,65	—	—	—	—	—
2	400	0,009230	66,25	198,62	0,2040	149,4	0,3048	0,3048
3	300	0,01641	49,69	148,96	0,2720	201,26	0,5473	0,8522
4	200	0,03692	33,13	99,31	0,4079	301,87	1,2314	2,0836
5	100	0,1476	16,57	49,67	0,8157	603,62	4,9236	7,0072
6	90	0,1822	14,91	44,70	0,9062	67,08	0,6078	7,6150
7	80	0,2306	13,26	39,74	1,0194	75,44	0,7651	8,3841
8	70	0,3011	11,60	34,78	1,1649	86,21	1,0042	9,3883
9	60	0,4096	9,945	29,81	1,3588	100,56	1,3664	10,7548
10	50	0,5895	8,290	24,85	1,6300	120,63	1,9662	12,7210
11	40	0,9200	6,636	19,89	2,0363	150,69	3,0686	15,7896
12	30	1,631	4,983	14,94	2,7116	200,66	5,4411	21,2307
13	20	3,643	3,335	9,997	4,0523	299,88	12,1522	33,3829
14	10	14,01	1,700	5,097	7,9479	588,17	46,7470	80,1299
15	9	17,10	1,539	4,615	8,7786	64,96	5,7029	85,8328
16	8	21,29	1,380	4,136	9,7952	72,49	7,1002	92,9331
17	7	27,16	1,221	3,661	11,0639	81,88	9,0587	101,9918
18	6	35,69	1,065	3,194	12,6833	93,86	11,9045	113,8963
19	5	48,61	0,9129	2,737	14,8023	109,54	16,2146	130,1108
20	4	69,07	0,7658	2,296	17,6447	103,06	23,0396	153,1504
21	3	102,69	0,6281	1,883	21,5144	159,21	34,2535	187,4039
22	2	157,42	0,5073	1,521	26,6374	197,12	52,5086	239,9126
23	1	231,42	0,4184	1,254	32,2970	239,01	77,1922	317,1048
24	0,9	238,52	0,4121	1,236	32,7888	24,265	7,9561	325,0609
25	0,8	245,26	0,4064	1,218	33,2484	24,605	8,1807	333,2416
26	0,7	251,52	0,4013	1,203	33,6704	24,917	8,3897	341,6313
27	0,6	257,22	0,3969	1,190	34,0494	25,198	8,4796	350,1109
28	0,5	262,24	0,3930	1,178	34,3804	25,442	8,7472	358,9581
29	0,4	266,50	0,3899	1,169	34,6584	25,648	8,8892	367,8474
30	0,3	269,91	0,3874	1,161	34,8794	25,812	9,0030	376,8504
31	0,2	272,40	0,3857	1,156	35,0399	25,930	9,0860	385,9364
32	0,1	273,91	0,3846	1,153	35,1372	26,003	9,1366	395,0729
33	0	274,42	0,3842	1,152	35,1698	26,027	9,1535	404,2264

$$\delta \Delta \varphi = \frac{\Sigma \Delta \varphi - \Delta \varphi_0}{\Delta \varphi_0} 100\% = \frac{1,668'' - 1,64''}{1,64''} 100\% = 1,71\% \quad (32)$$

Полученные результаты расчетов уточняют результаты поворота луча света на угол 1,7'', полученный Эйнштейном.

Таким образом, получение реального поворота луча света на базе закона Всемирного тяготения (1), в основу которого положено взаимодействие масс, и его поперечных сдвигов, по мере развития силы тяготения Солнца на величину линейной Планковской длины (3), которые совпадают с экспериментальными измерениями, что позволяет строго утверждать о наличии массы у луча света и составляющих его фотонов. Также можно строго утверждать об изменении сил гравитационного взаимодействия и кривизны гравитационного поля, волновые параметры которого найдены в работе [10], а не об изменении кривизны пространства, поскольку лишь с гравитационным полем могут взаимодействовать объекты, имеющие массу.

По аналогии с опытами Галилея, доказавшего одинаковые условия свободного падения деревянного и чугунного шаров с Пизанской башни [1], падение на Солнце частиц-корпускул разной энергии и массы, в рамках длин их волн, также будет одинаковым, поэтому расслоения лучей света при полете вблизи массивных объектов не происходит.

Выводы.

1. Найденные физические зависимости, законы и закономерности движения луча света у Солнца и других массивных тел – строго вытекают из известных достоверных физических законов и закономерностей и не противоречат другим законам природы.

2. Совпадение экспериментальных данных угла отклонения луча света, проходящего у Солнца, с найденным расчетным путем на базе закона Всемирного тяготения, связанного с массой взаимодействующих объектов, строго доказывает наличие массы, содержащейся в вещественной части (корпускулах) лучей света и составляющих их фотонов.

3. Строгая связь между углом отклонения луча света при его прохождении у массивных тел и его массой в рамках закона Всемирного тяготения и Планковских величин длины и времени найдена впервые, что вносит коренные изменения в представления не только о наличии массы фотонов, но и строения мироздания, а в конечном итоге – в общий уровень познания материального мира и Вселенной, поэтому отвечает всем признакам научного открытия [11].

4. В рамках закона Всемирного тяготения строго подтверждено лишь изменение силы гравитационного взаимодействия, или кривизны гравитационного поля, что не дает строгих оснований для утверждения об изменении кривизны пространства.

5. Найденные расчетные зависимости и полученные по ним результаты поворота луча света уточняют использованные ранее методики и найденные по ним численные величины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Гернек Ф. Альберт Эйнштейн / Ф. Гернек. – М. : Мир, 1984. – 128 с.

3. Phys.Web.Ru >> Постоянные : Беспрецедентное измерение гравитационной постоянной (по материалам бюллетеня The American Institute of Physics. Bulletin of Physics News. Number 482. May 3, 2000).

4. Настасенко В. А. О возможной периодичности числовых значений фундаментальных физических констант и их уточнении / В. А. Настасенко // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2014. – № 2 (11). – С.166–139.

5. Настасенко В. О. Обґрунтування параметрів мінімального кванта простору Всесвіту / В. О. Настасенко // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 285–297.

6. CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants

7. Настасенко В. А. Эталон массы в элементах квантовой физики / В. А. Настасенко // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века : сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк : ДонГТУ, 2000. – Т. 1. – С. 95–100.

8. Настасенко В. О. Аналіз гранично можливих шаруватих структур / В. О. Настасенко // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т, 2006. – Т. 7, № 4. – С. 793–797.

9. Силк Дж. Семья Солнца / Под ред. И. Д. Новикова ; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 391 с.

10. Настасенко В. А. Новые основы для строгого определения волновых параметров гравитационного поля и объединение гравитационного и электромагнитного полей / В. А. Настасенко // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2014. – № 1 (10). – С.213–222

11. Україна. Закони. Цивільний кодекс України. – К. : Школа, 2003. – С. 142.

REFERENCES

1. Alekseev D. M., Bonch-Bruevich A. M., Voronov-Romanov A. S. et al. (1983). *Fizicheskijj ehnciklopedicheskijj slovarj* M. : Sov. Ehnciklopediya.
2. Gernek F. (1984). *Aljbert Ehyjnshteyjn*. M. : Mir, 1984.
3. Phys.Web.Ru >> Postoyannihe : Besprecedentnoe izmerenie gravitacionnoy postoyannoyj (po materialam byulletenya The American Institute of Physics. Bulletin of Physic News. Number 482. May 3, 2000).
4. Nastasenکو V. A. (2014). O vozmozhnoyj periodichnosti chislovihkh znachenijj fundamentalnijhkh fizicheskikh konstant i ikh utochnenii. *Naukovijj visnik KhDMA : naukovijj zhurnal*, 2 (11), Kherson : KhDMA, 166–139.
5. Nastasenکو V. O. (2012). Obruntuvannya parametriv minimaljnogo kvanta prostoru Vsesvitu. *Naukovijj visnik KhDMA : naukovijj zhurnal*, 1(6). Kherson : KhDMA, 285–297.
6. CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants
7. Nastasenکو V. A. (2000). Ehtalon massih v ehlementakh kvantovoyj fiziki. *Mashinostroenie i tekhnosfera na rubezhe XXI veka : sb. trudov VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. v g. Sevastopole.Doneck : DonGTU*, 2000. T. 1. 95–100.
8. Nastasenکو V. O. (2006). Analiz granichno mozhlivikh sharuvatikh struktur. *Fizika i khimiya tverdogo tila*, T. 7, 4. Ivano-Frankivsk : Priкарп. nac. un-t, 793–797.
9. Novikov I. D. (Ed.) (1982). *Silk Dzh. Semjya Solnca*. M. : Mir.
10. Nastasenکو V. A. (2014). Novihe osnovih dlya strogogo opredeleniya volnovihkh parametrov gravitacionnogo polya i objhedinenie gravitacionnogo i ehlektromagnitnogo poleyя *Naukovijj visnik KhDMA : naukovijj zhurnal*, 1 (10). Kherson : KhDMA, 213–222
11. Ukraїna. Zakoni (2003). Civiljnijj kodeks Ukraini. K. : Shkola.

Настасенко В. О. СТРОГЕ ОБґРУНТУВАННЯ НАЯВНОСТІ МАСИ У ФОТОНА

Уперше знайдені строгі фізичні закономірності, що доводять зв'язок між відхиленням променя світла при проходженні у масивних тіл, з силою тяжіння, яка витікає із закону Всесвітнього тяжіння, що є строгим підтвердженням наявності маси у променів світла та фотонів, що його складають. Отримані на базі знайдених закономірностей розрахункові дані співпадають із результатами експериментальних досліджень, проведених раніше іншими ученими, що підтверджує їх достовірність. Нові розрахункові залежності й отримані по ним результати значно уточнюють використані раніше методики і отримані по ним результати, що істотно розширює уявлення про будову променів світла і матеріального світу в цілому.

Ключові слова: закон Всесвітнього тяжіння, рух променя світла і його маса.

Nastasenکو V. A. STRICT GROUND OF PRESENCE OF MASS AT PHOTON

Strict physical conformities to the law, proving connection between the rejection of ray of light at passing at massive bodies, are first found, with force a gravitation, effluent from the law of the World gravitation, that is strict confirmation of presence of mass at the rays of light and constituents of their photons. The on the base of the found conformities to the law calculation findings coincide with the results of experimental researches, conducted before other scientists, that confirms their authenticity. New calculation dependences and got to on by him results considerably specify the methods utilized before and got to on by him results, that substantially extends picture of structure of rays of light and financial world on the whole.

Keywords: law of the World gravitation, motion of ray of light and his mass.

© Настасенко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 10.05.16

СТРУКТУРНІ ТА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ І ГАЛЬМ ІЗ КОНІЧНИМИ ФРИКЦІЙНИМИ ПОВЕРХНЯМИ ТА КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Проценко В. О., к.т.н., доцент, доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: eseu@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3468-4952

Стаття відноситься до галузі машинознавства, а саме до теорії механізмів і деталей машин. У ній, за рахунок виконання теоретичних досліджень, показана недосконалість структури відомих конструкцій фрикційних відцентрових гальм та муфт із конічними поверхнями тертя. Встановлено, що основні недоліки цих пристроїв мають своєю причиною структурну недосконалість їх механізмів. Так, наявність у механізмах цих пристроїв надлишкових зв'язків є причиною відсутності можливості самоустановки їх деталей. Це спричиняє нерівномірне навантаження фрикційних колодок та нерівномірний знос поверхонь тертя. У роботі запропоновано удосконалити структурні параметри згаданих механізмів за рахунок оснащення їх канатними елементами, що сполучають фрикційні колодки з ведучими напівмуфтами. Встановлено, що таке удосконалення повністю ліквідує надлишкові зв'язки, а відтак дозволяє забезпечити самоустановку деталей муфт і гальм. Це може стати причиною забезпечення рівномірності розподілу навантаження та зносу фрикційних поверхонь. Виведено вирази для визначення основного параметру згаданих пристроїв – моменту тертя, який вони здатні розвинути.

Ключові слова: фрикційна муфта, гальмо, канатний елемент, структура, синтез.

Вступ. Сучасні тенденції до збільшення швидкохідності та навантаженості машин спричиняє підвищення навантаженості їх деталей, а відтак потребує збільшення їх навантажувальної здатності [1]. Пристрої, елементи яких містять клинові чи конічні поверхні мають підвищену навантажувальну здатність. Цей факт, наприклад визначає поширення трикутної нарізи в якості кріпильної через її самогальмування завдяки клиновому ефекту. Цей же ефект визначає більшу несівну спроможність конічних фрикційних муфт. Проте деякі конструкції деталей машин із конічними поверхнями вийшли зараз із широкого використання через властиві їм недоліки. Тому удосконалення існуючих конструкцій елементів машин із конічними поверхнями силопередавальних елементів, створення нових таких пристроїв та обґрунтування їх параметрів становить важливу задачу, розв'язання якої дозволить підвищити компактність проєктованих машин.

Постановка задачі. Одними з характерними представників елементів машин, що містять конічні поверхні є відцентрові фрикційні муфти [2], а також фрикційні гальма відцентрового типу [3]. Зараз такі конструкції витіснені з приводів машин пристроями із циліндричними поверхнями колодок й гальмівних барабанів. Це пояснюється недоліками пристроїв із конічними поверхнями. До них зокрема належить низька довговічність, що обумовлена нерівномірним зносом фрикційних поверхонь через відсутність можливості самоустановки. Цьому причиною є наявність у їх конструкції надлишкових зв'язків, які заважають самоустановці. Тому, удосконалення конструкції згаданих механізмів за рахунок виключення чи навіть зменшення у їх конструкції надлишкових зв'язків є важливим завданням і становить мету даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Згадане відцентрове гальмо (рис. 1) складається з гальмівного барабану 3, колодок 2, хрестовини 1, пружин та осей (на схемі не показані). Гальмівний барабан 3 не пов'язаний з ведучим валом. Хрестовина 1, що закріплена на ведучому валу, при підніманні вантажу обертається разом з колодками 2. Колодки 2 своєю конічною поверхнею ковзають в конічному ручаї барабану 3, викликаючи невелику силу тертя під дією пружин. При опусканні вантажу колодки 2 притискаються під дією відцентрової сили до гальмівного барабану 3 та загальмовують хрестовину 1.

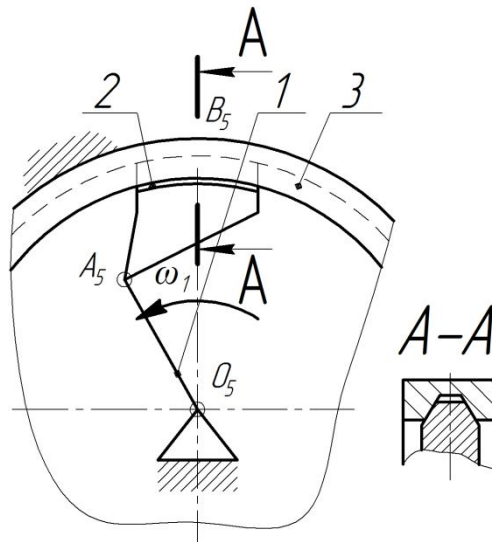


Рисунок 1 – Структурна схема базового механізму відцентрового гальма

Кількість надлишкових зв'язків у кожному елементарному (хрестовина + колодка) механізмі гальма за формулою Сомова-Малишева [4] дорівнює:

$$q_{\phi 3} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = 1 + 5 \times 3 + 4 \times 0 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 0 - 6 \times 2 = 4 \quad (1)$$

де $W = 1$ – кількість ступенів вільності механізму; $n = 2$ – кількість рухомих ланок (ланки 1 та 2); $P_5 = 3$ – число кінематичних пар п'ятого класу (O_5 , B_5); $P_4 = 0$ – число кінематичних пар четвертого класу; $P_3 = 0$ – число кінематичних пар третього класу; $P_2 = 0$ – число кінематичних пар другого класу; $P_1 = 0$ – число кінематичних пар першого класу.

Фрикційна муфта з клиновими колодками (рис. 2) містить внутрішню напівмуфту-маточину 1, на якій закріплені радіально розташовані циліндричні пальці, на які з можливістю переміщення, встановлені своїми циліндричними отворами колодки 2 з конічною зовнішньою поверхнею. Колодки 2 під дією відцентрової сили мають можливість взаємодії своїми конічними поверхнями з конічною внутрішньою поверхнею зовнішньої чашоподібної напівмуфти 3.

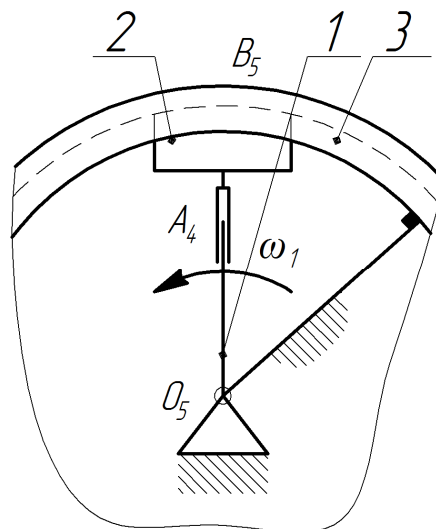


Рисунок 2 – Структурна схема базового механізму муфти в період пуску

Кількість надлишкових зв'язків у кожному елементарному (маточина + колодка) механізмі муфти під час її пуску (рухомими є тільки ведуча напівмуфта 1 та колодка 2) дорівнює:

$$q_{\text{ФМП}} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = \\ = 1 + 5 \times 2 + 4 \times 1 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 0 - 6 \times 2 = 3$$

де $W = 1$ – кількість ступенів вільності (обертання маточини 1); $n = 2$ – кількість рухомих ланок; $P_5 = 2$ – число кінематичних пар п'ятого класу (O_5 , B_5); $P_4 = 1$ – число кінематичних пар четвертого класу (A_4).

Під час усталеної роботи муфти (рис. 3) за рахунок обертання чашоподібної напівмуфти кількість надлишкових зв'язків становить:

$$q_{\text{ФМР}} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = \\ = 2 + 5 \times 3 + 4 \times 1 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 0 - 6 \times 3 = 3$$

де $W = 2$ – кількість ступенів вільності (одна загальна рухомість механізму і одна місцева рухомість чашоподібної напівмуфти 3); $n = 3$ – кількість рухомих ланок; $P_5 = 3$ – число кінематичних пар п'ятого класу (O_5 , B_5 , C_5); $P_4 = 1$ – число кінематичних пар четвертого класу (A_4).

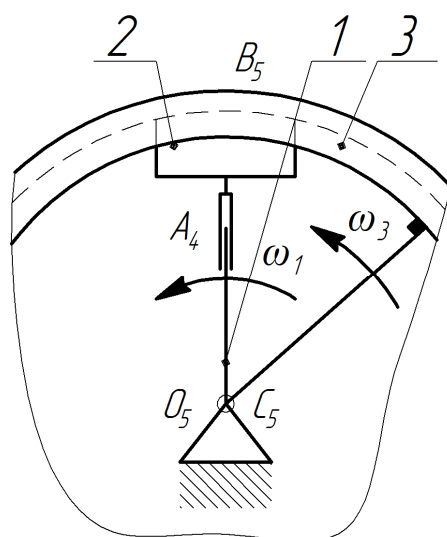


Рисунок 3 – Структурна схема базового механізму муфти в період усталеної роботи

У випадку оснащення гальма (рис. 4) та муфти (рис. 5) канатами, що сполучатимуть ведучу напівмуфту (хрестовину) з колодкою та, вважаючи канати за пропозицією проф. Л. М. Решетова [5] парою першого класу $P_I = 1$ (A_I), отримаємо кількість надлишкових зв'язків для гальма та муфти в період пуску:

$$q_{\text{КФЗ}} = q_{\text{КФМП}} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = \\ = 1 + 5 \times 2 + 4 \times 0 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 1 - 6 \times 2 = 0$$

де $W = 1$ – кількість ступенів вільності; $n = 2$ – кількість рухомих ланок; $P_5 = 2$ – число кінематичних пар п'ятого класу; $P_I = 1$ – число кінематичних пар першого класу.

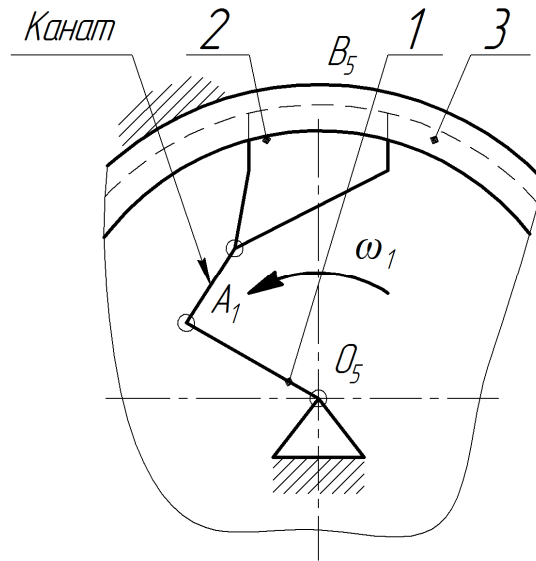


Рисунок 4 – Структурна схема удосконаленого механізму гальма

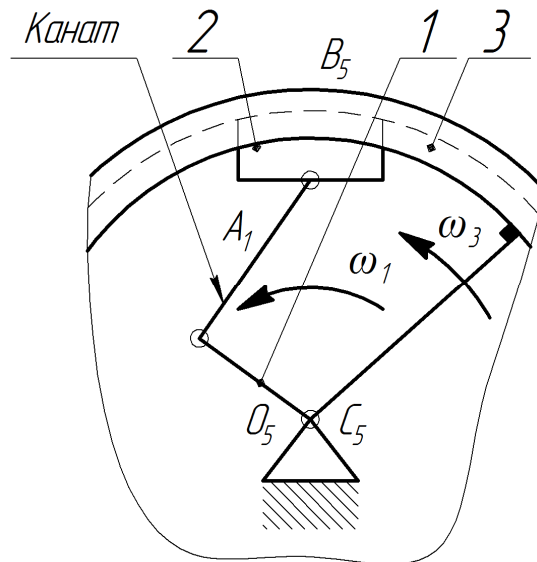


Рисунок 5 – Структурна схема удосконаленого механізму муфти в період усталеної роботи

Під час усталеної роботи муфти за рахунок обертання чашоподібної напівмуфти кількість надлишкових зв'язків становить:

$$q_{\text{КФМР}} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = \\ = 2 + 5 \times 3 + 4 \times 0 + 3 \times 0 + 2 \times 0 + 1 - 6 \times 3 = 0$$

де $W = 2$ – кількість ступенів вільності; $n = 3$ – кількість рухомих ланок; $P_5 = 3$ – число кінематичних пар п'ятого класу; $P_1 = 1$ – число кінематичних пар першого класу.

У ході подальших теоретичних досліджень отримаємо формулу для обчислення основної характеристики фрикційної муфти чи гальма, моменту тертя який вона здатна розвинути. Для отримання подальших викладок запишемо спершу деякі відомі рівності [6]:

$$T_{mp} = 2zfN \frac{D_{mp}}{2}, \quad (2)$$

де D_{mp} – середній діаметр поверхні тертя веденої напівмуфти (рис. 6); f – коефіцієнт тертя матеріалу колодок по матеріалу напівмуфти 3.

$$N = \frac{N'}{2 \sin \theta}, \quad (3)$$

де θ – половина кута профіля колодки.

Тоді:

$$T_{mp} = \frac{zfN'D_{mp}}{2 \sin \theta}. \quad (4)$$

$$F_6 = m_k \omega^2 \frac{D_{36}}{2}, \quad (5)$$

де m_k – маса колодки; D_{36} – діаметр розташування центрів тяжіння колодок.

Для визначення зусилля N' тиску колодок на поверхню напівмуфти розглянемо рівновагу колодки (рис. 7) та складемо рівняння рівноваги в проекціях на вісь Y:

$$N' = F_6 - G - F_{np} - F_n \cos \alpha_2, \quad (6)$$

де $G = m_k g$ – вага колодки; F_{np} – зусилля пружини.

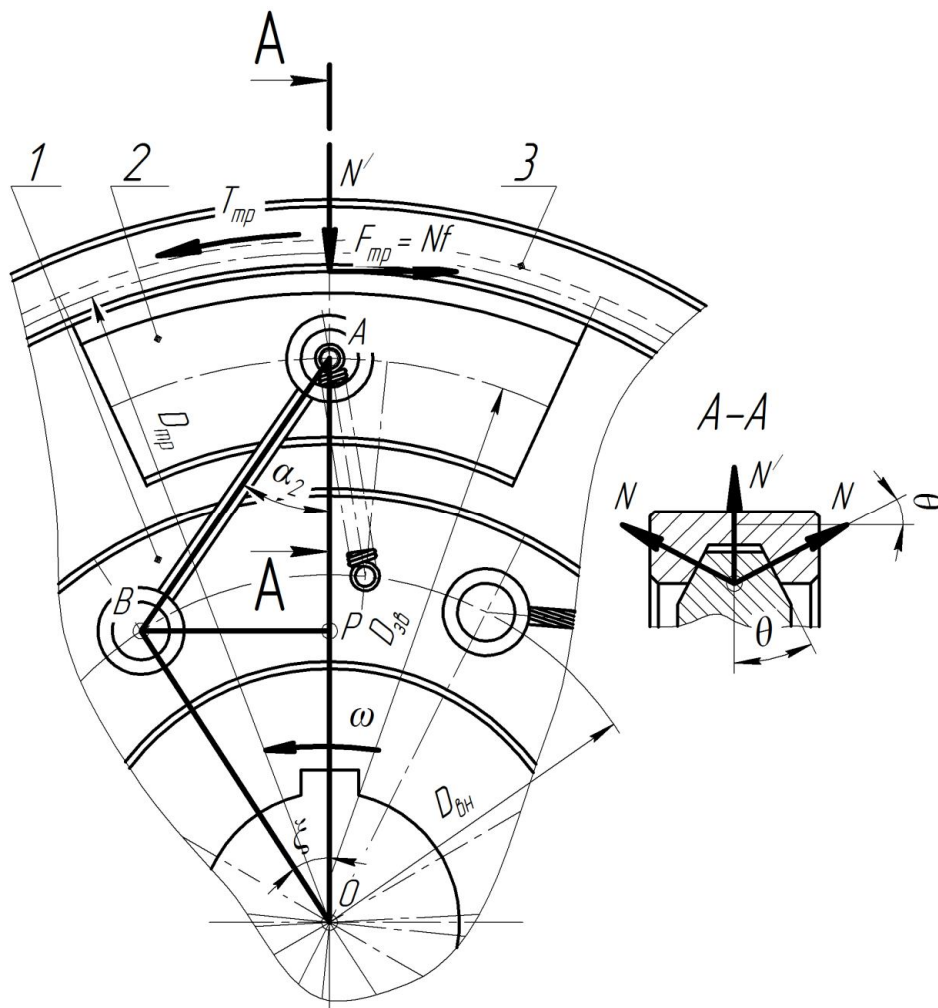


Рисунок 6 – Розрахункова схема муфти

Тоді момент тертя муфти чи гальма:

$$T_{mp} = zf \frac{D_{mp}}{2 \sin \theta} (F_{\theta} - G - F_{np} - F_H \cos \alpha_2) . \quad (7)$$

де α_2 – кут між віссю каната та радіусом муфти.

Сила натягу каната (по аналогії з постійними муфтами оснащеними торцевими канатами тангенціального розташування) [7]:

$$F_H = \frac{4TL_k}{zD_{36}D_{6H} \sin \xi} = \frac{4T_{mp} \sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H} \cos \xi}}{zD_{36}D_{6H} \sin \xi} =$$

$$= \frac{4T_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{zD_{6H}\psi_D \sin \xi} , \quad (8)$$

де L_k – теоретична довжина каната (відстань AB на рис. 4); D_{36} – діаметр закріплення канатів на внутрішній напівмуфті; ξ – кут монтажного зміщення колодок;

$\psi_D = \frac{D_{36}}{D_{6H}}$ – коефіцієнт діаметрів.

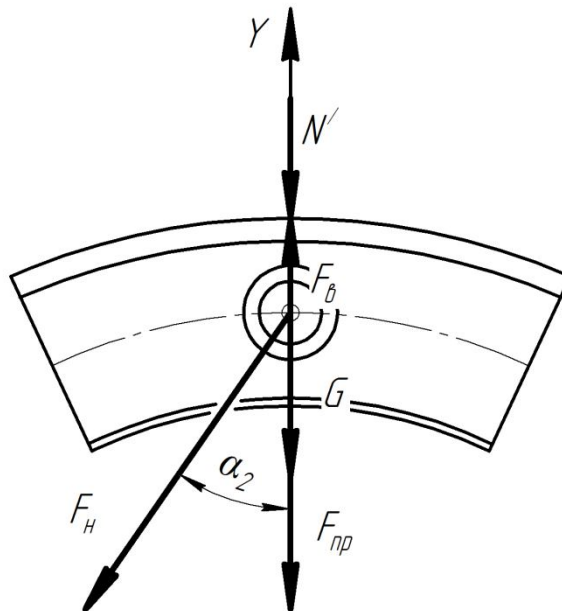


Рисунок 7 – Схема сил, що діють на колодку

Для визначення кута α_2 розглянемо трикутники OPB та BPA для яких можна записати:

$$OP = OB \times \cos \xi = \frac{D_{6H}}{2} \cos \xi . \quad (9)$$

$$PB = OB \times \sin \xi = \frac{D_{6H}}{2} \sin \xi . \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{PB}{AP} = \frac{PB}{OA - OP} = \frac{0,5D_{6H} \sin \xi}{0,5D_{36} - 0,5D_{6H} \cos \xi} = \frac{D_{6H} \sin \xi}{D_{36} - D_{6H} \cos \xi} = \frac{\psi_D \sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} . \quad (11)$$

Вводимо заміну:

$$\cos \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \alpha_2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зв}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}. \quad (12)$$

Після підстановки (8) та (12) у (7) отримаємо новий вираз (13) для моменту тертя:

$$T_{mp} = z f \frac{D_{mp}}{2 \sin \theta} \left[F_{\text{е}} - G - F_{np} - \frac{4 T_{mp} \sqrt{0,25(D_{\text{зв}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5 D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \cos \xi}}{z D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зв}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]. \quad (13)$$

Після нескладних перетворень виразу (13) отримаємо формулу (14):

$$T_{mp} = \frac{0,5 z f D_{mp} (F_{\text{е}} - G - F_{np})}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2 f D_{mp} \sqrt{0,25(D_{\text{зв}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5 D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зв}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]}, \quad (14)$$

або:

$$T_{mp} = \frac{0,5 z f D_{mp} (F_{\text{е}} - G - F_{np})}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2 f D_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5 \psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}} \psi_D \sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}. \quad (15)$$

У випадку нехтування силою ваги колодки та силою пружини, з урахуванням (5) для визначення моменту тертя можна записати спрощені формули (16) та (17):

$$T_{mp} = \frac{0,25 z f m_{\kappa} \omega^2 D_{mp} D_{\text{зв}}}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2 f D_{mp} \sqrt{0,25(D_{\text{зв}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5 D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зв}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]}. \quad (16)$$

$$T_{mp} = \frac{0,25 z f m_{\kappa} \omega^2 D_{mp} D_{\text{вн}} \psi_D}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2 f D_{mp} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5 \psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}} \psi_D \sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}. \quad (17)$$

Проаналізуємо вплив конструктивних параметрів муфти, зокрема кута ξ монтажного зміщення колодок на навантажувальну здатність муфти на прикладі муфти з наступними параметрами $m_k = 0,1$ кг, $D_{mp} = 150$ мм, $\omega = 157,08$ рад/с (1500 об/хв), $f = 0,2$ (сталеві колодки по текстолітовій обоймі зовнішньої напівмуфти) [7]. У канатної муфти передбачаємо конструктивно $D_{зв} = 135$ мм, $D_{вн} = 100$ мм. Зміну кута ξ передбачаємо в інтервалі $5 \dots 80^\circ$. Зміну кута профілю $2\theta = 25^\circ, 40^\circ, 55^\circ$. Обчислення виконані за формулами (8) та (16) проілюстровані графіками на рис. 8. Для кута $2\theta = 25^\circ$ графіки зміни силових параметрів показані суцільними лініями, для кута $2\theta = 40^\circ$ – штриховою лінією, для кута $2\theta = 55^\circ$ – осявою лінією.

Виходячи з графіків можна зробити висновок, що при даних конструктивних параметрах та коефіцієнті діаметрів $\psi_D = 0,135$ найбільший момент муфти та найменший натяг канатів забезпечується при значенні кута ξ біля 40° . Очевидно, для запропонованої фрикційної муфти також справедлива залежність (18), знайдена раніше для пружних муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування [8]:

$$\xi_F = \arccos \frac{1}{\psi_D} = \arccos \frac{1}{1,35} = 42,205^\circ = 42^\circ 12' 20'' . \quad (18)$$

Відтак при відомих конструктивно діаметрах $D_{зв}$ та $D_{вн} = 100$ мм, а відтак і ψ_D , можна обчислювати кут ξ_F , який забезпечить максимальний момент муфти та мінімальне навантаження канатів.

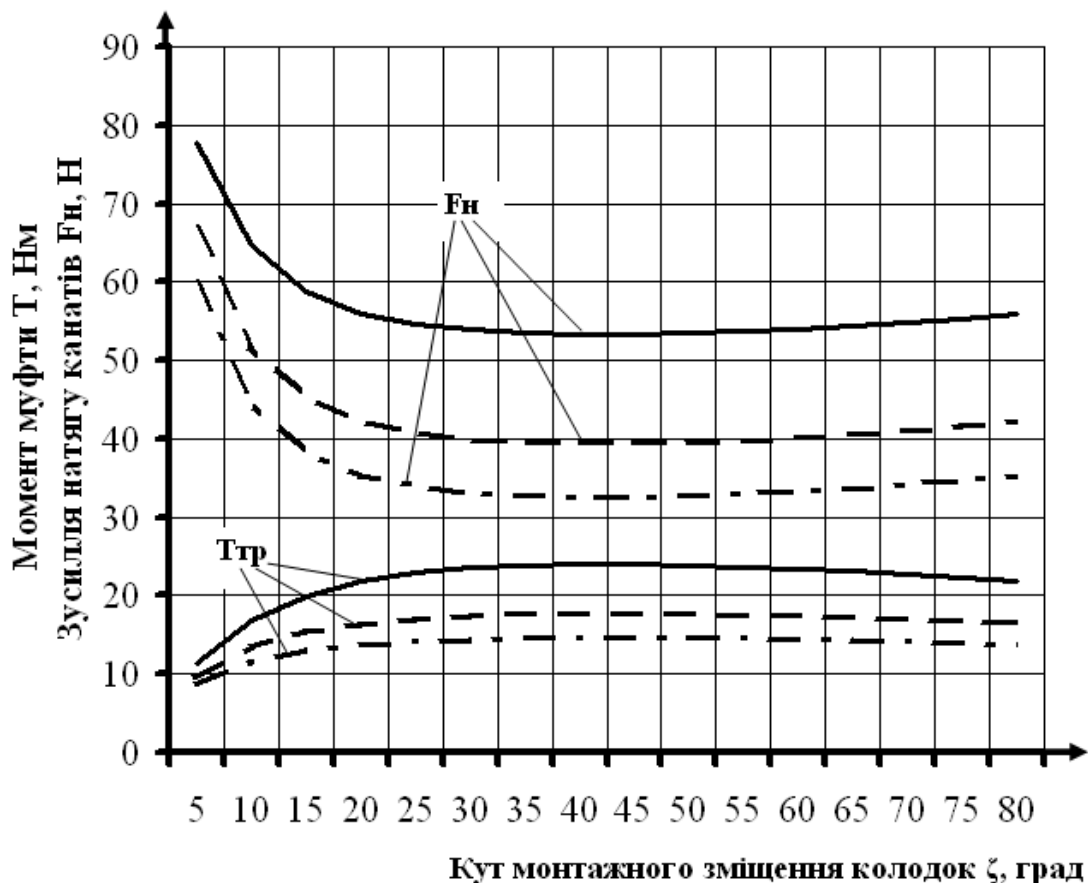


Рисунок 8 – Графіки впливу величини кута ξ на навантажувальну здатність та натяг канатів муфти

При куті $\xi = 42,205^\circ$ та куті профілю $2\theta = 25^\circ$ найбільший момент муфти з канатними елементами складає 24,02 Нм. При цьому момент тертя базової муфти з радіально рухомими колодками при аналогічних параметрах є приблизно на 47 % більшим і складає 35,46 Нм. Це означає, що для забезпечення аналогічної базовій муфті

навантажувальної здатності необхідно збільшити масу колодок, щоб нівелювати вплив на силу нормальної реакції сили натягу канатів F_n .

Висновки. За рахунок виконання теоретичних досліджень показано, що відомі конструкції фрикційних муфт і гальм відцентрового типу мають недосконалу структуру за рахунок наявності надлишкових зв'язків, що і визначає їх основні недоліки. Запропоновано ліквідувати надлишкові зв'язки за рахунок сполучення колодок із відповідною напівмуфтою гнучкими елементами, наприклад сталевими канатами. Отримано аналітичний вираз для розрахунку моменту тертя, який здатна розвинути муфта чи фрикційне гальмо, оснащені канатними елементами, на запропоновані конструкції подані заявки на патенти України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малащенко В. О. Кулькові механізми вільного ходу / В. О. Малащенко, П. М. Гашук, О. І. Сороківський, В. В. Малащенко. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 212 с.
2. Иванов Е. А. Муфты приводов / Е. А. Иванов. – М. : Машгиз, 1959. – 412 с.
3. Павлов Я. М. Детали машин / Я. М. Павлов. – М. : Машгиз, 1960. – 524 с.
4. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 656 с.
5. Решетов Л. Н. Самоустанавливающиеся механизмы / Л. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1991. – 288 с.
6. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлице. – Львів : Афіша, 2003. – 560 с.
7. Справочник по муфтам / В. С. Поляков, И. Д. Барабаш, О. А. Ряховский. – Л. : Машиностроение, 1974. – 352 с.
8. Проценко В. О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В. О. Проценко, В. О. Настасенко, О. Ю. Клементьєва // Підйомно-транспортна техніка : науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса : Інтерпрінт, 2015. – № 4. – С. 53–59.

REFERENCES

1. Malathenko V. O., Gathuk P. M., Sorokivskiy O. I., Malathenko V. V. (2012). *Kuljkovi mekhanizmi viljnogo khodu*. Ljviv : Noviy Svit-2000.
2. Ivanov E. A. (1959). *Muftih privodov*. M. : Mashgiz.
3. Pavlov Ya. M. (1960). *Detali mashin*. M. : Mashgiz.
4. Kinicjkiy Ya. T. (2002). *Teoriya mekhanizmiv i mashin*. K. : Naukova dumka.
5. Reshetov L. N. (1991). *Samoustanavlivayuthiesya mekhanizmih*. M. : Mashinostroenie.
6. Pavlithe V. T. (2003). *Osnovi konstruyuvannya ta rozrakhunok detaley mashin*. Ljviv : Afisha.
7. Polyakov V. S., Barabash I. D., Ryakhovskiy O. A. (1974). *Spravochnik po muftam*. L. : Mashinostroenie.
8. Protsenko V. O., Nastasenko V. O., Klementyeva O. Yu. (2015). Geometrichni ta silovi parametri mufti z torcevoyu ustanovkoyu kanativ tangencialjnogo roztashuvannya *Pidyjomno-transportna tekhnika : naukovo-tekhnichniy ta virobnichiy zhurnal*, 4. Odesa : Interprint, 53–59.

Проценко В. А. СТРУКТУРНЫЕ И СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МУФТ И ТОРМОЗОВ С КОНИЧЕСКИМИ ФРИКЦИОННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ И КАНАТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Статья относится к области машиноведения, а именно к теории механизмов и деталям машин. В ней, за счет выполнения теоретических исследований, показано несовершенство структуры известных конструкций фрикционных центробежных муфт и тормозов с коническими поверхностями трения. Установлено, что основные недостатки этих устройств имеют своей причиной структурное несовершенство их механизмов. Так, наличие в механизмах этих устройств избыточных связей является причиной отсутствия самоустановки их деталей. Это становится причиной неравномерной нагрузки фрикционных колодок и неравномерного износа поверхностей трения. В работе предложено усовершенствовать структурные параметры упомянутых механизмов за счет оснащения их канатными элементами, соединяющими фрикционные колодки с ведущими полумуфтами. Установлено, что такое усовершенствование полностью ликвидирует избыточные связи, а значит позволяет обеспечить самоустановку деталей муфт и тормозов. Это может стать причиной обеспечения равномерности распределения нагрузки и износа фрикционных поверхностей. Выведены выражения для определения основного параметра упомянутых устройств – момента трения, который они способны развить.

Ключевые слова: фрикционная муфта, тормоз, канатный элемент, структура, синтез.

Protsenko V. O. STRUCTURAL AND FORCE PARAMETERS OF CENTRIFUGAL COUPLINGS AND AND BRAKES WITH CONICAL FRICTIONAL SURFACES AND ROPES

The paper treats to area machinery, namely to the theory of mechanisms and part of machines. In it, at the expense of execution of theoretical probes, imperfection of structure known constructions of frictional centrifugal couplings and brakes with friction conic surfaces is displayed. It is fixed that the basic deficiencies of these devices have the reason structural imperfection of their mechanisms. So, presence in mechanisms of these devices of redundant links is at the bottom of absence of self-installation of their details. It becomes the reason of a non-uniform load of frictional carrier sockets and non-uniform deterioration of surfaces of a friction. In operation it is offered to improve structural parametres of the mentioned mechanisms at the expense of equipment by their rope elements connecting frictional carrier sockets with leading semiclutches. It is fixed that such improvement completely liquidates redundant links so allows to ensure self-installation of details of clutches and brakes. It can become the reason of security of uniformity of distribution of a load and deterioration of frictional surfaces. Expressions for definition of critical parametre of the mentioned devices – a friction torque which they are capable to explicate are output.

Keywords: frictional coupling, brake, rope element, structure, synthesis.

© Проценко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 22.04.16

ДЕМПФУВАННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Самарін О. Є., к.т.н., доц., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, E-mail: more@tlc.kherson.ua

Розроблено телескопічний шток поршневого двигуна, що складається з поршневої і циліндричної частин та пружного елементу, у якому пружний елемент виконано у вигляді пружини стискання або тарілчастої пружини, встановленої зовні на поршкову частину штоку. Попередня сила стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі. На поршневій частині штоку закріплено напрямні кільця з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі. Циліндрична частина штоку має фланець, до якого кріпиться упор. У циліндричній частині штоку між напрямними кільцями виконано отвір. Виконання пружного елементу у вигляді пружини стискання або тарілчастої пружини, встановленої зовні на поршневій частині штоку, дозволяє забезпечити сталість робочих характеристик пружини упродовж усього періоду експлуатації та підібрати пружину необхідної пружності. Забезпечення попередньої сили стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі дозволяє забезпечити стискання пружини при дії максимальної сили газів, при згорянні палива і зменшення ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму та необхідної жорсткості штока при стисканні газів у циліндрі. Закріплення на поршневій частині штоку напрямних кілець з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі, дозволяє зменшити силу тертя при переміщенні поршневої частини штоку відносно циліндрової частини та запобігти витіканню змащувального масла. Виготовлення на циліндричній частині штоку фланця, до якого кріпиться упор, дозволяє забезпечити збирання деталей штоку та обмежити переміщення поршневої частини штоку відносно циліндрової частини. Виконання у циліндричній частині штоку між напрямними кільцями отвору забезпечує надходження масла до напрямних кілець. Запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити динамічне навантаження на вузли та деталі кривошипно-шатунного механізму, знизити швидкість зношування підшипників ковзання і збільшити строк експлуатації крейцкопфного дизеля.

Ключові слова: телескопічний шток, крейцкопфний дизель, пікове навантаження, сила тертя, підшипник.

Вступ. Сила дії газів на поршень змінюється періодично від максимальної до мінімальної величини.

При динамічних та міцносних розрахунках деталей дизеля найбільш характерною величиною, яка визначає зовнішнє навантаження на деталі, є максимальна сила. Вона виникає у верхній мертвій точці у момент згоряння палива у циліндрі. Враховуючи те, що на процеси сумішоутворення та згоряння палива у дизелі відводиться відносно короткий проміжок часу 0,005...0,05 с, процес підвищення тиску у циліндрі відбувається миттєво. Це призводить до різкого зростання сили, що діє на деталі кривошипно-шатунного механізму та на підшипники. Відсутність демпфуючих елементів призводить до періодичного ударного навантаження деталей дизеля при кожному оберті колінчастого валу.

Такі умови роботи негативно відбиваються на роботоздатності та довговічності шатунних підшипників і підшипників колінчастого валу.

Враховуючи масове використання поршневих двигунів внутрішнього згоряння, а також високі витрати на технічне обслуговування та ремонт, проблема зменшення навантаження на деталі КШМ, а також підвищення строку служби підшипників набуває практичної значущості.

Механічні навантаження на кривошипно-шатунний механізм. Під час роботи двигуна його вузли і деталі відчувають механічні навантаження, що викликаються, головним чином, силами тиску газів в циліндрах, силами інерції мас, що рухаються поступально та обертаються (відцентрових сил).

Сила тиску газів P_g діє в робочих циліндрах і навантажує втулки циліндрів, прагнучи їх розірвати за твірною, кришки, викликаючи в них напруги вигину, поршні та

підшипники. Протягом робочого циклу сила змінює свою величину і може бути визначена за індикаторною діаграмою або розрахунком. На рис. 1 наведено розгорнуті по куту повороту вала криві сил тиску газів P_r , сил інерції поступально рухомих мас P_j та рушійної сили двотактного двигуна.

Сили тяжіння деталей, тиску наддувного повітря у під поршневій порожнини і сили тертя відносно невеликі і їх впливом можна знехтувати.

Діюча на поршень сила P_r спрямована вниз і разом з силами інерції навантажує сам поршень.

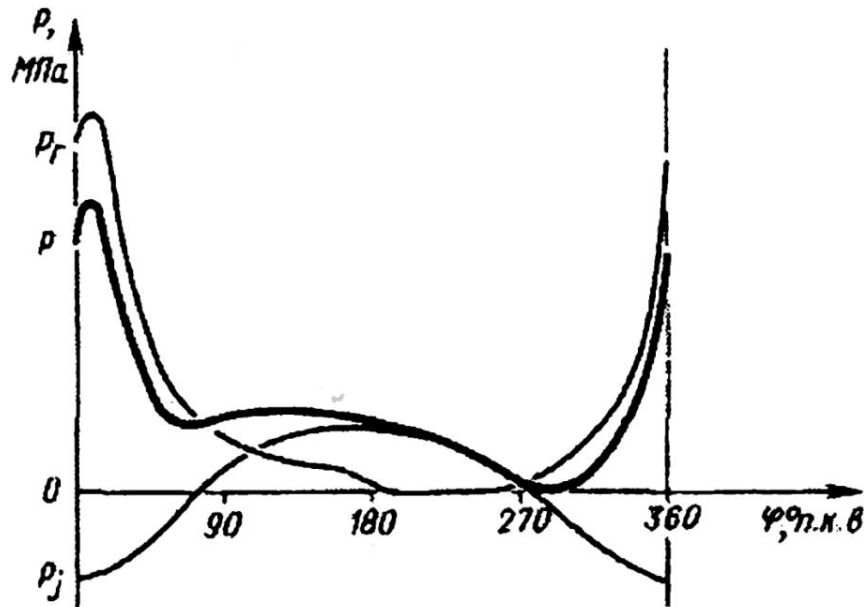


Рисунок 1 – Криві сил тиску газів P_r , інерції P_j і рушійної сили P [1]

Сила інерції поступально рухомих мас, являє собою добуток мас поршневої групи і верхньої частини шатуна m_n на прискорення руху поршня a : $P_{jn} = m_n \times a$, діє як і сила тиску газів в напрямку осі циліндра. Сила інерції так само, як і сила тиску газів по ходу поршня змінює свою величину і досягає максимумів у мертвих точках поршня, тому що саме у цих точках швидкості поршня дорівнюють нулю, а прискорення максимальні.

Додавання сил, приведених до площі поршня, дає сумарну силу:

$$P = P_r \pm P_j.$$

Ця сила викликає навантаження на підшипники колінчастого валу.

Сумарна сила P може бути розкладена на дві складові: на силу $P_{ш}$, що спрямована уздовж шатуна і викликає навантаження шатунних підшипників, та нормальну силу N , спрямовану перпендикулярно до осі циліндра (рис. 1):

$$P_{ш} = \frac{P}{\cos \beta};$$

$$N = P \operatorname{tg} \beta.$$

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як видно з проведеного аналізу, сила тиску газів P має максимальне значення у верхній мертвій точці. Короткий проміжок часу, що складає 0,005...0,05 с, за який проходить згоряння палива, викликає появу ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму. Це навантаження передається на шатунні підшипники та підшипники колінчастого валу і викликає їх нерівномірне та прискорене зношування.

Мета та задачі проведення досліджень. Розробити такий шток крейцкопфного двигуна, у якому сила, що виникає при згорянні палива у циліндрі та діє на поршень, частково демпфується та передається на підшипники рухомої частини двигуна поступово, що зменшує ударне навантаження та збільшує їх довговічність. Пружний елемент повинен мати стабільні характеристики упродовж всього строку експлуатації та не вимагати періодичної заміни. Його розташування має забезпечити необхідну пружність та хід телескопічного штоку.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції штоку, нерухомих і рухомих частин двигуна та встановити причину виникнення ударного навантаження підшипників.

Рішення поставленої задачі. Для забезпечення рішення поставленої задачі у крейцкопфному двигуні замість жорсткого штоку пропонується встановити телескопічний шток із пружинним елементом (рис. 2).

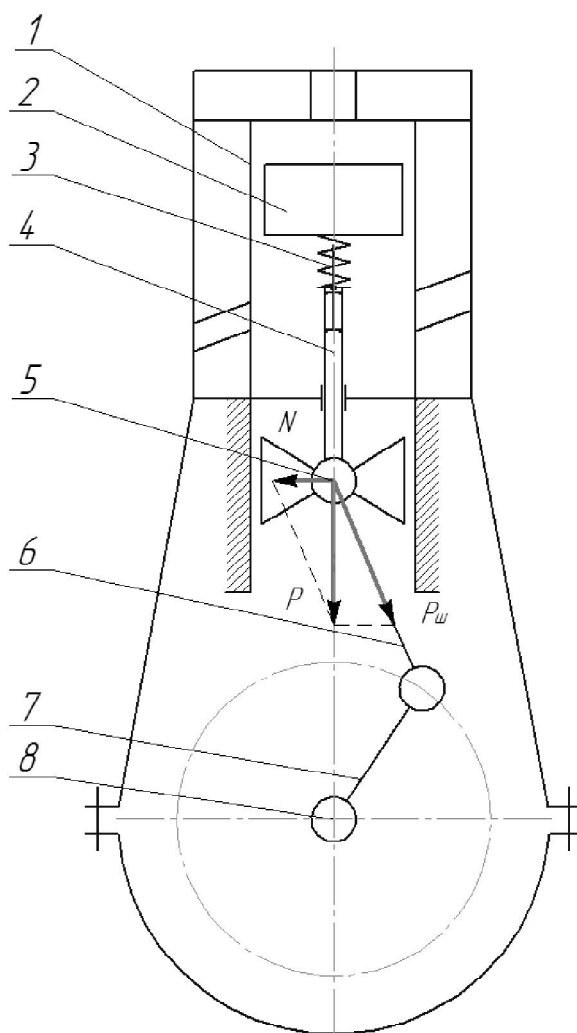


Рисунок 2 – Схема крейцкопфного двигуна з телескопічним штоком:

1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – пружина; 4 – телескопічний шток; 5 – крейцкопфний механізм; 6 – шатун; 7 – колінчастий вал; 8 – підшипник колінчастого валу

Запропонований телескопічний шток поршневого двигуна складається з поршневої 1 і циліндричної 2 частин та пружного елементу, який виконано у вигляді пружини стискання 3 (рис. 3а) або тарілчастої пружини 4 (рис. 3б), встановленої зовні на поршневую частину 1 штоку.

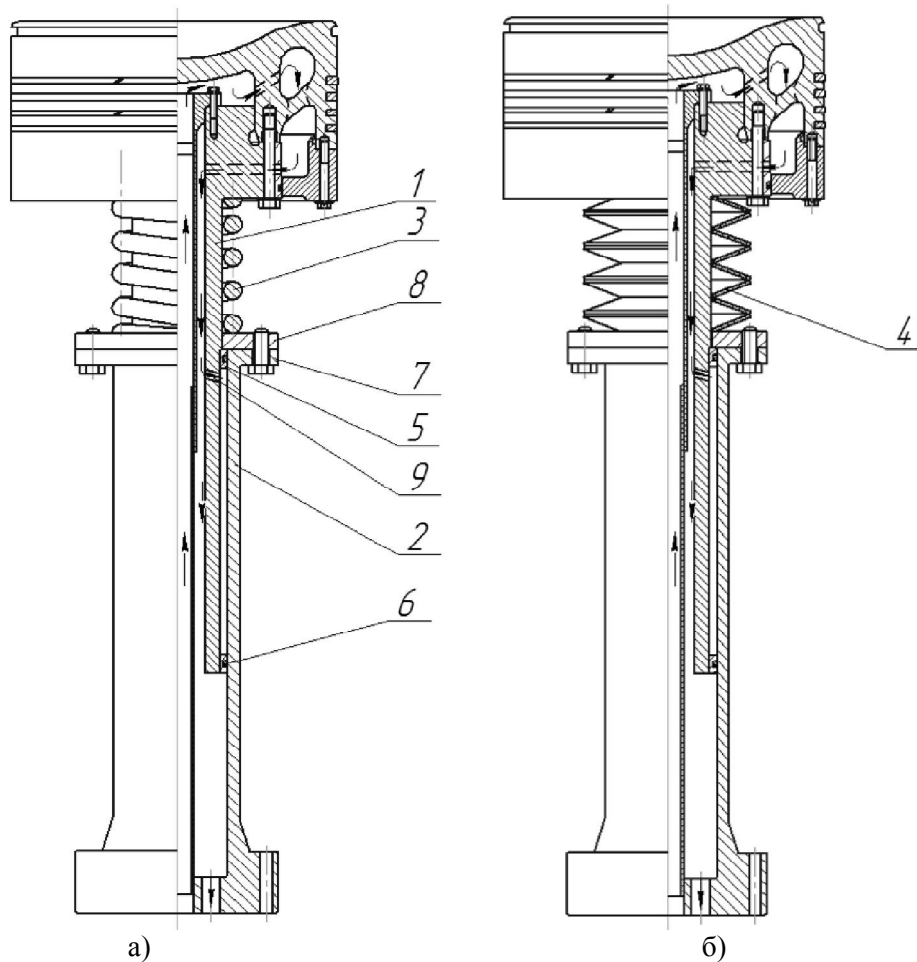


Рисунок 3 – Телескопічний шток крейцкопфного двигуна з пружиною стискання (а) і тарільчастою пружиною (б):

1 – поршнева частина; 2 – циліндрична частина; 3 – пружина стискання; 4 – тарільчаста пружина; 5 – напрямне кільце; 6 – ущільнювач; 7 – фланець; 8 – упор; 9 – отвір

Попередня сила стискання пружини 3 або 4 менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі.

На поршневій частині 1 штоку закріплено напрямні кільця 5 із антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі 6.

Циліндрична частина 2 штоку має фланець 7, до якого кріпиться упор 8.

У циліндричній частині 2 штоку між напрямними кільцями 5 виконано отвір 9.

Виконання пружного елемента у вигляді пружини стискання або тарільчастої пружини, встановленої зовні на поршневій частині штоку, дозволяє забезпечити сталість робочих характеристик пружини упродовж всього періоду експлуатації та підібрати пружину необхідної пружності.

Забезпечення попередньої сили стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі, що дозволяє забезпечити стискання пружини при дії максимальної сили газів при згорянні палива і зменшення ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунної групи та необхідної жорсткості штока при стисканні газів у циліндрі.

Закріплення на поршневій частині штоку напрямних кілець з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі, дозволяє зменшити силу тертя при переміщенні поршневої частини штоку відносно циліндрової частини та запобігти витіканню змащувального масла.

Виготовлення на циліндричній частині штоку фланця, до якого кріпиться упор, дозволяє забезпечити збирання деталей штоку та обмежити переміщення поршневої частини штоку відносно циліндрової частини.

Виконання у циліндричній частині штоку між напрямними кільцями отвору забезпечує надходження масла до напрямних кілець.

Телескопічний шток поршневого двигуна працює наступним чином.

При згорянні палива у циліндрі виникає максимальна сила, що діє на поршкову частину 1 телескопічного штоку. У зв'язку з тим, що попередня сила стискання пружини 3 або 4 менше максимальної сили газів при згорянні палива, поршневна частина 1 стискає пружину 3 або 4 і рухається вздовж осі штока по напрямних кільцях 6, зменшуючи його довжину. При цьому частина максимальної сили тиску газів акумулюється у пружині 3 або 4 і на циліндричну частину 2 штоку передається поступово.

Після зменшення максимальної сили тиску газів телескопічний шток під дією пружини 3 або 4 розпрямляється. При цьому поршневна частина 1 рухається вздовж осі штоку до впирання напрямного кільця 5 в упор 8, що притискається до фланця 7.

Змашування напрямних кілець 5 відбувається за рахунок охолоджувального масла, що циркулює через телескопічний шток та отвір 9.

У запропонованому двигуні сила, що діє уздовж штока P дорівнює:

$$P = P_r \pm P_j - P_n.$$

де P_n – сила стискання пружини.

Відповідно сила $P_{ш}$, що спрямована уздовж шатуна та нормальна сила N , спрямовану перпендикулярно до осі циліндра будуть дорівнювати:

$$P_{ш} = \frac{P - P_n}{\cos\beta};$$

$$N = (P - P_n)tg\beta.$$

Висновки та рекомендації. Запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити динамічне навантаження на вузли та деталі кривошипно-шатунного механізму, знизити швидкість зношування підшипників ковзання і збільшити строк експлуатації крейцкопфного двигуна.

Зменшення пікового навантаження у циліндрі та пролонгація його у часі забезпечує розподіл тиску в підшипниках по більшій площині. Це дозволяє забезпечити більш рівномірне зношування поверхонь тертя у підшипниках та знизити температуру їх нагрівання. Крім того, зменшується ударний вплив на деталі кривошипно-шатунного механізму.

Застосування пружини стискання або тарілчастої пружини дозволяє підбирати відповідну силу попереднього стискання та необхідну жорсткість згідно з характеристиками двигуна. Це дозволяє охопити двигуни всіх типорозмірів.

Конструктивне виконання показано на базі вузлів двигунів, що випускаються фірмою MAN B&W Diesel. Тому воно легко може бути використане у двотактних крейцкопфних двигунах вказаного виробника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницький И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. – Том 1. – М. : Моркнига, 2008. – 282 с.
2. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей : учеб. пособие / А. Н. Гоц ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 401 с.
4. Патент РФ №2200857от 29.05.2000, Двигатель внутреннего сгорания.

REFERENCES

1. Voznickiy I. V. (2008). *Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya*. Tom 1. M. : Morkniga.

2. Goc A. N. (2005) *ю Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunnogo mekhanizma porshnevihkh dvigateleyj : ucheb. Posobie*. Vladimir : Redakcionno-izdatelskiy kompleks VIGU.
3. Targ S. M. (1961). *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki*. M. : Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literaturih.
4. Patent RF №2200857 от 29.05.2000, Dvigatelj vnutrennego sgoraniya.

Самарин А. Е. ДЕМПФИРОВАНИЕ ПИКОВЫХ НАГРУЗОК КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Разработан телескопический шток поршневого двигателя, состоящий из поршневой и цилиндрической частей и упругого элемента, в котором упругий элемент выполнен в виде пружины сжатия или тарельчатой пружины, установленной снаружи на поршневую часть штока. Предварительная сила сжатия пружины меньше максимальной силы газов при сгорании топлива, но больше силы сжатия газов в цилиндре. На поршневой части штока закреплены направляющие кольца из антифрикционного материала, по периметру которых расположены уплотнители. Цилиндрическая часть штока имеет фланец, к которому крепится упор. В цилиндрической части штока между направляющими кольцами выполнено отверстие. Выполнение упругого элемента в виде пружины сжатия или тарельчатой пружины, установленной снаружи на поршневой части штока, позволяет обеспечить постоянство рабочих характеристик пружины в течение всего периода эксплуатации и подобрать пружину необходимой упругости. Обеспечение предварительной силы сжатия пружины меньше максимальной силы газов при сгорании топлива, но больше силы сжатия газов в цилиндре позволяет обеспечить сжатие пружины при действии максимальной силы газов при сгорании топлива, уменьшение ударной нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма и необходимой жесткости штока при сжатии газов в цилиндре. Закрепление на поршневой части штока направляющих колец из антифрикционного материала, по периметру которых расположены уплотнители, позволяет уменьшить силу трения при перемещении поршневой части штока относительно цилиндрической части и предотвратить утечку смазочного масла. Изготовление на цилиндрической части штока фланца, к которому крепится упор, позволяет обеспечить сборку деталей штока и ограничить перемещение поршневой части штока относительно цилиндрической части. Выполнение в цилиндрической части штока между направляющими кольцами отверстия обеспечивает поступление масла к направляющим кольцам. Предложенное техническое решение позволяет уменьшить динамическую нагрузку на узлы и детали кривошипно-шатунного механизма, снизить скорость износа подшипников скольжения и увеличить срок эксплуатации крейцкопфного дизеля.

Ключевые слова: телескопический шток, крейцкопфный дизель, пиковая нагрузка, сила трения, подшипник.

Samarin O. E. THE DAMPING PEAK KREYTSKOPFNOHO DIESEL

Developed telescopic rod piston engine, consisting of a piston and cylinder units and an elastic element, in which the elastic element is designed as a compression spring or plate springs installed on the outside of piston rod. Previous compression spring force less than the maximum power emissions during the combustion of fuel, but more power osculation gas in the cylinder. On the piston rod of the fixed guide ring of antifriction material, which are located on the perimeter seals. The cylindrical part of the rod has a flange, which is fixed focus. In the cylindrical portion between the rod guide rings made hole. Implementation of the elastic element in the form of compression springs or plate springs installed on the outside of the piston rod, allows the sustainability performance springs throughout the period of operation and pick up the necessary spring elasticity. Providing preliminary force of compression springs less maximum power emissions from the combustion of fuel, but more power compression of gas in the cylinder allows for compression springs under the influence of maximum strength gases from the combustion of fuel and reduce the shock loads on parts crank groups and the required stiffness of the rod compression of gases in cylinder. Fixing on piston rod of the guide rings antifriction material, which are located on the perimeter seals, can reduce the friction force when moving the piston rod of relatively cylindrical parts and prevent leakage of lubricating oil. Production on a cylindrical flange of the rod, which is fixed focus, can provide cleaning rod parts and limit movement of the piston rod relative to cylindrical parts. Implementation of the cylindrical portion between the rod guide rings opening ensures the supply of oil to the guide rings. The proposed technical solution can reduce the dynamic loads on components and parts crank mechanism, reduce the rate of wear of bearings and increase lifetime kreyskopfnogo engine.

Keywords: telescopic rod kreyskopfnyy diesel, peak load, the force of friction bearing.

© Самарін О. Є.

Статтю прийнято
до редакції 05.04.16

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ПОТРЕБИ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

Санько Я. В., к.т.н., доцент, докторант кафедри транспортних системи і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, E-mail: yron08@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-3270-1122

В статті розглядається вплив параметрів транспортної мережі, а саме довжини ділянки на потреби інженерних мереж. Удосконалено ряд математичних моделей щодо визначення потреб інженерних мереж. У результаті проведеного математичного моделювання визначено зміни потреб у газопостачанні, водопостачанні та електропостачанні залежно від довжини ділянки транспортної мережі при різних значеннях щільності населення, що дозволило визначити нелінійний характер впливу.

Ключові слова: транспортна мережа, інженерна мережа, обсяг споживання, щільність населення.

Вступ. Сучасні тенденції розвитку міських територій вимагають використання найбільш ефективних технологій у всіх сферах діяльності, у тому числі й транспортних системах. Головним завданням яких є використання енергоефективних й енергозберігаючих технологій, з метою зменшення витрат на експлуатацію, ремонт, тощо.

Постановка проблеми. В умовах зростання рівня автомобілізації потрібний відповідний розвиток транспортної мережі. При цьому основним шляхом підвищення пропускної здатності вулиць і доріг є збільшення щільності транспортної мережі, за рахунок розширення проїзної частини, там, де це можливо. Але крім того, що на прокладку дорожнього полотна потрібні істотні капітальні витрати, завжди виникає питання переносу транспортних систем водо-, газо-, тепло-, електропостачання й інших мереж. Тому постає питання адаптації параметрів транспортної мережі до параметрів інших транспортних систем [1–3].

В свою чергу процес прокладки транспортних систем міста й дорожнього полотна може бути або послідовним, або паралельним. Тому що по нормативних документах передбачається прокладка транспортних систем водо-, газо-, тепло-, електропостачання й кабельних мереж під проїзною частиною або в границях червоних ліній. Вибір місця прокладки перерахованих транспортних систем залежить від рельєфу місцевості, способу відводу стічних вод і теплової енергії, ширини проїзної частини й інших факторів [2, 4].

При цьому головною проблемою такого підходу є наявність різнопланових характеристик і параметрів кожної системи, а також критеріїв ефективності їхнього функціонування. Що ускладнює процес адаптації параметрів вулично-дорожньої мережі до параметрів транспортних систем водо-, газо-, тепло-, електропостачання й кабельних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З точки зору проектної діяльності, то спочатку проектуються транспортні лінії (вулиці й дороги), з огляду на функціональне зонування території міста, а потім накладаються трубопроводи, лінії електропередач, кабелю, тощо (рис. 1) [3, 4].

На сьогодні існують лише критерії оцінки побудови транспортної мережі, а саме [1, 3, 5–9]:

- 1) ступінь непрямолінійності сполучень (коефіцієнт непрямолінійності транспортних сполучень);
- 2) щільність вулично-дорожньої мережі міста;
- 3) рівень завантаження вулиць рухом (рівень обслуговування);
- 4) ступінь складності перехресть вулиць і доріг.

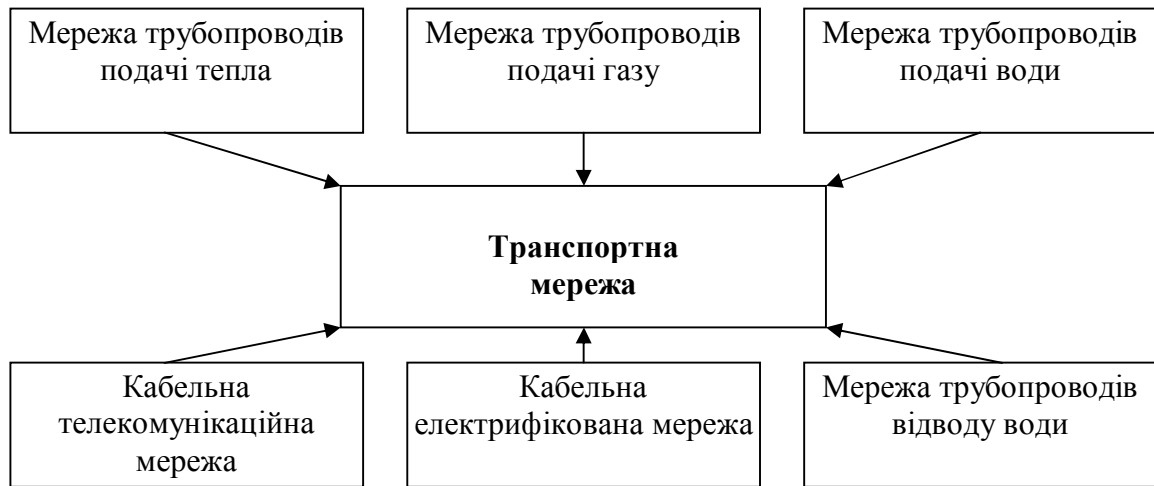


Рисунок 1 – Структура міських транспортних мереж

Перший показник ступінь непрямої лінійності сполучень (коефіцієнт непрямої лінійності транспортних сполучень) визначається, як відношення довжини шляху по дорогах між двома точками до довжини шляху між двома точками по повітрю:

$$k_{\text{непр}} = \frac{l_{ij}^{\text{дор}}}{l_{ij}^{\text{нов}}}, \quad (1)$$

де $k_{\text{непр}}$ – коефіцієнт непрямої лінійності транспортних сполучень; $l_{ij}^{\text{дор}}$ – довжина шляху по дорогах між двома точками, км.; $l_{ij}^{\text{нов}}$ – довжина між двома точками по повітрю, км.

У роботах [1, 3], зазначено, що коефіцієнт непрямої лінійності залежить від планувальної схеми вулично-дорожньої мережі міста та знаходиться в межах 1,05–1,5.

Другим показником є щільність вулично-дорожньої мережі міста, яка визначається, як відношення довжини транспортної мережі до площі території міста:

$$\delta = \frac{L_M}{S_M}, \quad (2)$$

де δ – щільність вулично-дорожньої мережі міста, км/км²; L_M – довжина транспортної мережі, км.; S_M – площа території міста, км².

Як зазначено в роботах [3, 5, 9], цей показник знаходиться в межах 0,7–4 км/км² і залежить від групи, до якої належить місто та територіальної частини міста (центральна, периферійна, промислова).

Різниця в нормах по проектуванню доріг в різні роки, а саме ширини проїзної частини, спричинила появу різновиду показнику щільності вулично-дорожньої мережі. Що визначається як відношення площі транспортної мережі до площі території міста [11]:

$$\delta' = \frac{S_{\text{ВДМ}}}{S_M} \quad (3)$$

де δ' – скорегована щільність вулично-дорожньої мережі міста, км²/км²; $S_{\text{ВДМ}}$ – площа вулично-дорожньої мережі, км².

Рівень завантаження вулиць та доріг рухом можна оцінити за допомогою відношення фактичної швидкості або щільності руху транспортного потоку до їх максимальних значень [12]:

$$\frac{V_{\phi}}{V_{\max}}, \quad (4)$$

$$\frac{\rho_{\phi}}{\rho_{\max}}, \quad (5)$$

де $V_{\phi}, V_{\max}$ – фактична та максимальна швидкість руху транспортного потоку на ділянці відповідно, км/год.; $\rho_{\phi}, \rho_{\max}$ – фактична та максимальна щільність руху транспортного потоку на ділянці відповідно, авт./км.

Ступінь складності перехресть вулиць і доріг оцінюється за рівнем їхньої аварійності, безпеки руху через відповідні коефіцієнти безпеки та за пропускну здатністю.

Таким чином, використовуючи схему адаптації параметрів транспортної мережі до параметрів транспортних мереж водо-, газо-, тепло-, електропостачання та кабельних мереж (рис. 2), необхідно сформувати механізм визначення впливу параметрів транспортної мережі на потреби інженерних мереж.

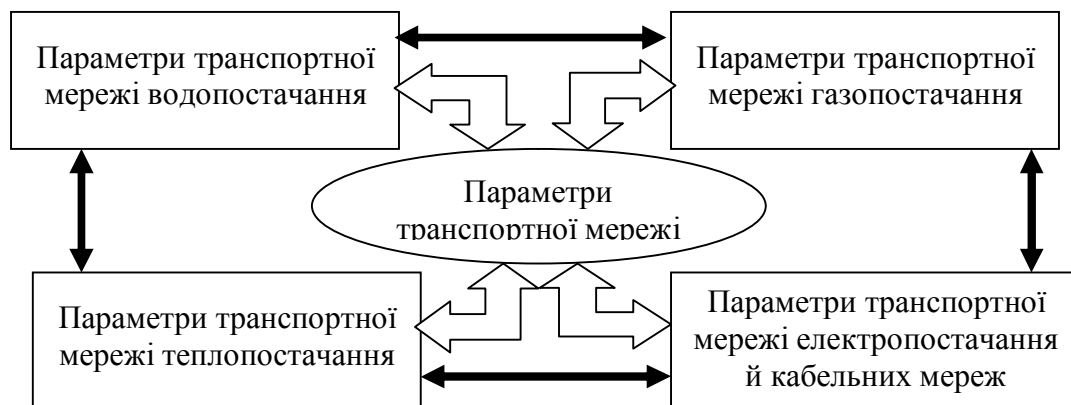


Рисунок 2 – Схема адаптації параметрів транспортних систем міста

Мета дослідження. Метою даної статті є визначення впливу параметрів транспортної мережі на потреби інженерних мереж.

Виклад основного матеріалу. Використовуючи підхід, запропонований у роботі [13], необхідним є побудова математичних моделей витрат на функціонування транспортних систем водо-, газо-, тепло-, електропостачання та кабельних мереж на окремій ділянці. Але особливістю всіх інженерних мереж є те, що вони замкнуті й утворюють контури по периметру житлової території й вздовж транспортної мережі (рис. 3).

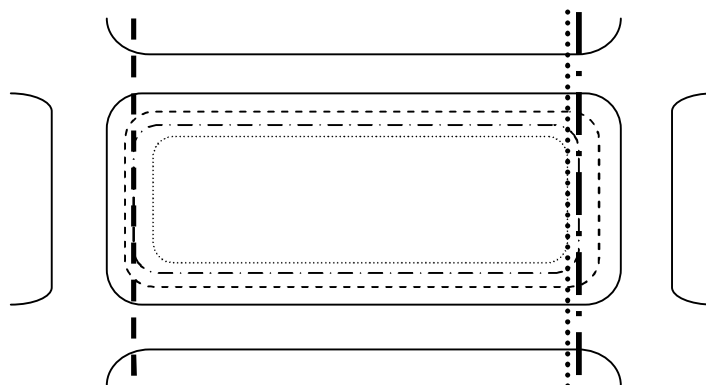


Рисунок 3 – Графічне зображення фрагменту житлової території:

- житлова територія;
- магістральні та внутрішньожитлові трубопроводи водо-, газо- та електропостачання

Таким чином, можливо визначити параметри інженерних мереж залежно від потреб населення на їх послуги. Відповідно до схеми (рис. 3) відбувається подача трьох джерел споживання: газу, води та електроенергії. Система теплопостачання має бути внутрішньожитлова або окрема в кожній будівлі, що лише збільшує споживання перелічених вище джерел споживання. У такому випадку потреби населення в газопостачанні визначаються за залежністю [4]:

$$Q_p^g = \frac{H_g^g \cdot N_{нас}}{Q_n^g}, \quad (6)$$

де H_g^g – норма витрати теплоти, МДж/(рік·чол.); $N_{нас}$ – кількість жителів, чол.; Q_n^g – нижча робоча теплота згоряння газу, МДж/м³.

Для переходу на годинний обсяг споживання доцільно застосувати вираз:

$$Q_{год}^g = Q_p^g \cdot k_{\max}, \quad (7)$$

де $k_{\max}$ – коефіцієнт годинного максимуму витрати газу.

У свою чергу потреби населення у водопостачанні визначаються за залежністю [4]:

$$Q_{доб}^e = \frac{H_n^e \cdot N_{нас}}{1000}, \quad (8)$$

де H_n^e – норма водоспоживання, приймається залежно від ступеня благоустрою районів житлової забудови.

Для переходу на годинний обсяг споживання доцільно застосувати вираз:

$$Q_{год}^e = \frac{Q_{доб}^e \cdot \alpha_{\max} \cdot \beta_{\max} \cdot k_{\max}^{доб}}{24}, \quad (9)$$

де $\alpha_{\max}$ – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків; $\beta_{\max}$ – коефіцієнт, що враховує число жителів; $k_{\max}^{доб}$ – максимальний коефіцієнт добової нерівномірності.

Відповідно потреби населення в електропостачанні визначаються за залежністю [4]:

$$S_{розр}^e = \sqrt{P_{розр}^2 + Q_{розр}^2}, \quad (10)$$

де $P_{розр}$ – розрахункове активне електричне навантаження, кВт; $Q_{розр}$ – розрахункове реактивне електричне навантаження, кВАр.

Розрахункове активне електричне навантаження визначається за залежністю:

$$P_{розр} = Y_n^e \cdot N_{нас} \cdot \sum_{i=1}^n k_{учі}, \quad (11)$$

де Y_n^e – питоме розрахункове електричне навантаження, кВт/чол.; $k_{учі}$ – коефіцієнт участі в максимумі навантаження i -их об'єктів.

Розрахункове реактивне електричне навантаження визначається за залежністю:

$$Q_{розр} = P_{розр} \cdot tg\varphi, \quad (12)$$

де $tg\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності.

У кожній з наведених вище залежностей (6) - (12) є дві складові: постійна та змінна. До постійних відносяться норми споживання та різні коефіцієнти. А змінною є кількість мешканців житлової території, адже залежить від забудови та демографічного складу населення.

Для оцінки впливу кількості населення залежно його щільності використаємо наступну залежність:

$$N_{\text{нас}} = F_{\text{тер}} \cdot \rho_{\text{нас}}, \quad (13)$$

де $F_{\text{тер}}$ – площа території, га; $\rho_{\text{нас}}$ – щільність населення, чол./га.

У свою чергу площа території визначається її розмірами. Так для квадратної форми житлової території площа визначається залежністю:

$$F_{\text{тер}} = l^2, \quad (14)$$

де l – довжина сторони квадрату, км.

Таким чином, можливо визначити вплив розмірів житлової території (довжини транспортної мережі) на потреби інженерних мереж залежно від щільності населення. Використовуючи засоби моделювання було визначено графіки залежності потреб інженерних мереж при різних параметрах транспортної мережі (рис. 4–6).

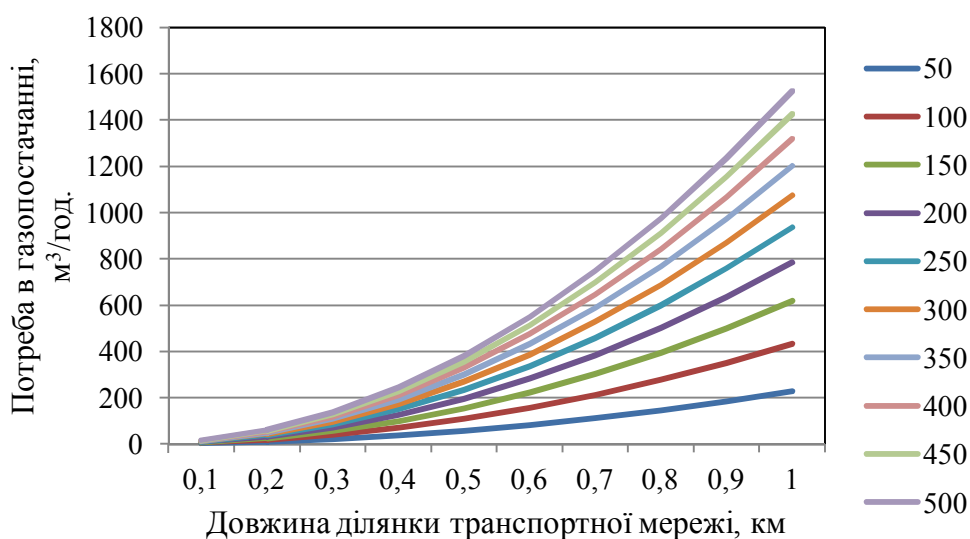


Рисунок 4 – Графік залежності потреб у газопостачанні залежно від довжини ділянки транспортної мережі при різних значеннях щільності населення

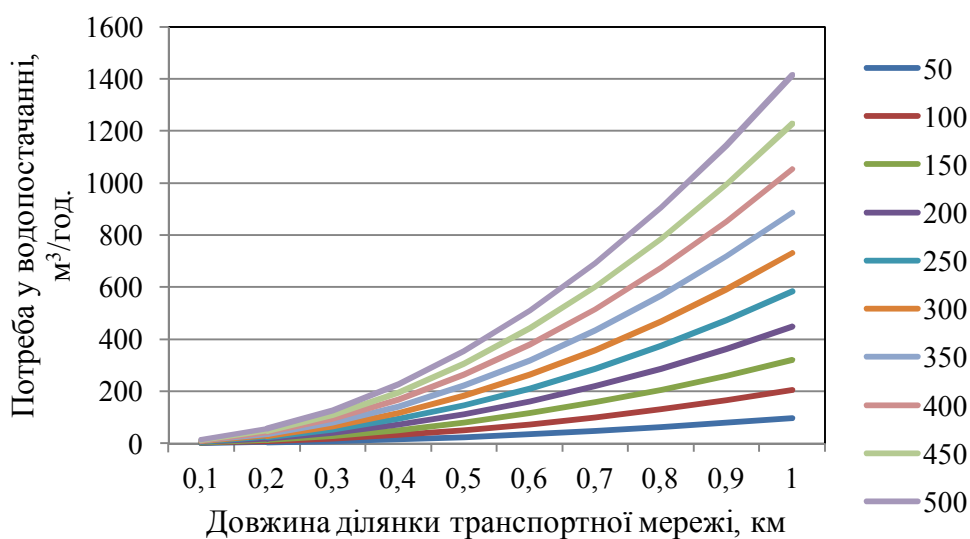


Рисунок 5 – Графік залежності потреб у водопостачанні залежно від довжини ділянки транспортної мережі при різних значеннях щільності населення

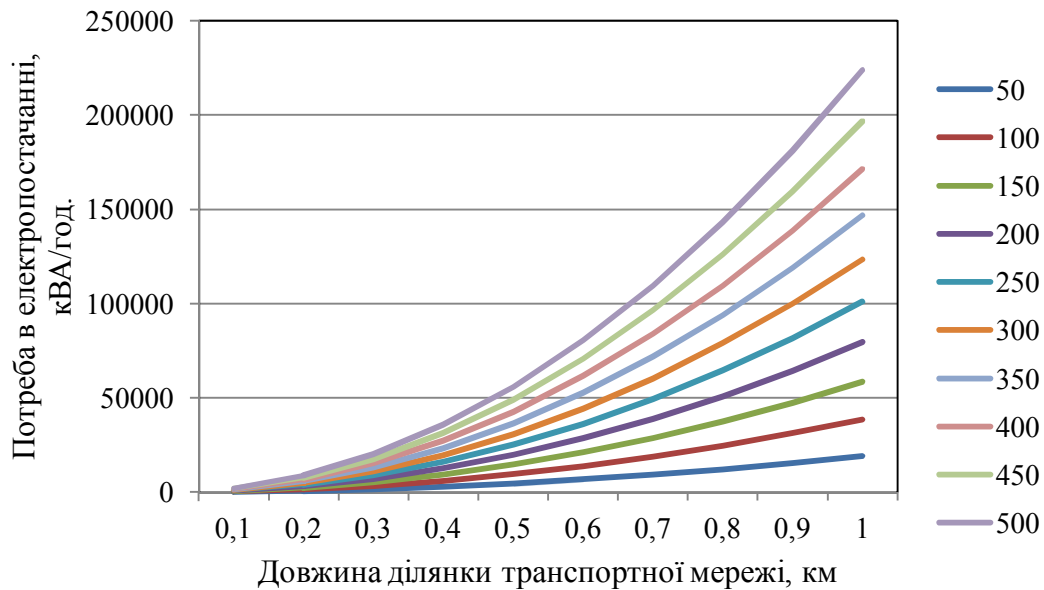


Рисунок 6 – Графік залежності потреб в електропостачанні залежно від довжини ділянки транспортної мережі при різних значеннях щільності населення

У результаті моделювання було виявлено, що вплив параметрів транспортної мережі, а саме довжини ділянки, що утворює житлову територію є нелінійним і залежить від щільності населення.

Висновки. Проведений аналіз критеріїв оцінки ефективності побудови транспортної мережі показав, що головним недоліком є використання їхніх усереднених значень. Натомість для сукупності інженерних мереж не існує критеріїв, які могли б оцінити ефективність їх побудови. Тому в роботі було запропоновано використовувати залежності потреб інженерних мереж залежно від території, яку вони обслуговують, що утворена транспортною мережею.

У подальшому необхідно виконати дослідження щодо впливу розподільчих засобів у мережах та оцінити їх сукупний вплив на інші форми житлової території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Містобудування : довідник проектувальника / За ред. Т. Ф. Панченко. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2001. – 192 с.
2. Линник І. Е. Інженерна підготовка територій населених місць / І. Е. Линник. – Х. : ХНАМГ, 2004. – 337 с.
3. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
4. Деркач І. Л. Міські інженерні мережі / І. Л. Деркач. – Харків : ХНАМГ, 2006. – 97 с.
5. Corey K. Urban and regional technology planning: planning practice in the global knowledge economy / K. Corey, M. Wilson – Routledge, 2006. – 268 p.
6. Williams K. Achieving sustainable urban form / K. Williams, E. Burton, M. Jenks. – E&FN Spon, 2000. – 388 p.
7. Keating, D. Neighborhood Planning / D. Keating, N. Krumholz // Journal of Planning Education and Research. – 2000. – No. 20 (1). – 111–114 pp.
8. Moughtin C. Urban Design: green dimensions / C. Moughtin, P. Shirley – Architectural Press, 2005. – 254 p.
9. Marshall S. Streets and patterns: The structure of urban geometry / S. Marshall – Spon Press, 2005. – 318 p.

10. Qing Su. The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. urban areas / Su Qing // *Energy Economics*. – 2011. – Vol. 33. – Iss. 3 – P. 445–452.

11. Лобашов О. О. Моделювання впливу мережі паркування на транспортні потоки в містах / О. О. Лобашов. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 170 с.

12. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху / [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.] за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с.

13. Ройко Ю. Я. Щодо визначення раціональної довжини сторони житлового кварталу / Ю. Я. Ройко // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2013. – Вип. 2/4 (62). – С. 30–33.

REFERENCES

1. Ed. Panchenko, T. (2001) *Town planning. Designer's Guide*. Kiev: «Ukrarhbudinform», 192.

2. Ly'nyy'k, I. (2004) *Engineering training areas of settlements*. Kharkiv: HNAMEG, 337.

3. Lobanov, E. (1990) *Transport urban planning*. Moscow: Transport, 240.

4. Derkach, I. (2006) *City Civil Engineering*. Kharkiv: HNAMEG, 97.

5. Corey, K. (2006) *Urban and regional technology planning: planning practice in the global knowledge economy*. Routledge, 268.

6. Williams, K., Burton, E., Jenks, M. (2000) *Achieving Sustainable Urban Form*. E&FN Spon, 388.

7. Keating, D., Krumholz, N. (2000) Neighborhood Planning. *Journal of Planning Education and Research*, 20 (1), 111–114.

8. Moughtin, C. (2003) *Urban Design: Street and Square*. Architectural Press, 320.

9. Marshall, S. (2005) *Streets and Patterns: The structure of urban geometry*. Spon Press, 318.

10. Qing Su (2011) The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. urban areas. *Energy Economics*, 33, 3, 445–452.

11. Lobashov. O. O. (2010) *Modeling the impact on network traffic flows parking in cities*. Kharkiv: HNAMEG, 170.

12. Gavrylov. E. V., Dmytrychenko. M. F., Dolja. V. K. et. al.; Dmytrychenko, M. F. (Ed.) (2007). *Systemology transport. Traffic management*. Kiev: Znannja Ukrai'ny, 452.

13. Roiko. Yu. (2013) On Determining the Rational Length of a Residential Block. *Eastern European Journal of Leading Technologies*, №2/4(62), 30–33.

Санько Я. В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматривается влияние параметров транспортной сети, а именно длины участка, на потребление инженерных сетей. Усовершенствован ряд математических моделей относительно определения потребления инженерных сетей. В результате проведенного математического моделирования определены изменения потребления в газоснабжении, водоснабжении и электроснабжении в зависимости от длины участка транспортной сети при разных значениях плотности населения, которое позволило определить нелинейный характер влияния.

Ключевые слова: транспортная сеть, инженерная сеть, объем потребления, плотность населения.

Sanko Ia.V. EVALUATION OF PARAMETERS TRANSPORT NETWORK REQUIREMENTS ENGINEERING NETWORKS

Modern trends in urban areas require the use of the most efficient technologies in all areas. Determined that in the face of rising levels of car ownership required by the development of transport networks. In the article the influence of parameters of the transport network, namely the length of the plot to the needs of utilities. Improved a number of mathematical models to determine the needs of utilities. As a result of mathematical modeling identified changing needs in gas supply, water supply, electricity, depending on the length of the transport network at different values of population density, allowing to define non-linear effects.

Keywords: transport network, engineering networks, consumption, population density.

© Санько Я. В.

Статтю прийнято
до редакції 29.04.16

РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Сметанкін С. О., здобувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: seuto@ukr.net;

Нігалатій В. Д., асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: seuto@ukr.net;

Букетов А. В., д.т.н., проф., завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: buketov@tstu.edu.ua;

Шарко О. В., д.т.н., проф., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: dmitro_step75@ukr.net;

Скирденко О. І., к.т.н., доц., доцент кафедри професійної освіти Херсонського державного університету, E-mail: ksu.profosvita@ukr.net;

Баглюк Г. А., д.т.н., с.н.с., керівник відділу зносостійких та корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів Інституту проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України (м. Київ), E-mail: gbag@rambler.ru

У роботі проведено дослідження впливу вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну на фізико-механічні властивості та структуру модифікованих епоксидних композитів на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20. У результаті аналізу отриманих даних вибрано оптимальну концентрацію добавки, за якої забезпечують оптимальні значення ударної в'язкості, руйнівних напружень і модуля пружності при згинанні розроблених композитних матеріалів. З метою підтвердження достовірності отриманих результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів додатково проаналізовано структуру поверхні зламу матеріалів. Аналіз фрактограм вихідної епоксидної матриці дозволяє стверджувати про формування поверхні зламу з розгалуженими лініями сколювання та організованими фракціями із шаруватою структурою з подальшими змінами залежно від вмісту модифікатора. Причому лінії сколювання у деяких випадках мають яскраво виражені заглиблення, які характеризують напружений стан матеріалу та його крихкість.

Ключові слова: епоксидний композит, оптимальне значення, модифікатор, фізико-механічні властивості, структура.

Постановка проблеми. Високонаповнені полімерні композити на основі синтетичних смол та модифікаторів широко застосовують у різних галузях промисловості. На сьогодні важливе місце займають нові методи використання та технології формування полімерних композитних матеріалів (КМ) із підвищеними експлуатаційними характеристиками. Відомо, що такі матеріали, порівняно з традиційними металами та сплавами, відзначаються підвищеними показниками адгезійної та когезійної міцності, незначними залишковими напруженнями [1, 2]. Це, у свою чергу, забезпечує не лише підвищення антикорозійних властивостей і зносостійкості технологічного обладнання, але й збільшує його міжремонтний ресурс експлуатації та економічність. Серед широкого спектру полімерних КМ, які використовують у машинно- та суднобудуванні як антикорозійні покриття, слід виділити епоксидні композити. Порівняно з підвищеними показниками адгезійної та когезійної міцності, слід звернути увагу на незначні релаксаційні властивості епоксидних КМ, а також несуттєву ударну в'язкість і циклічну міцність. Одним із шляхів підвищення експлуатаційних характеристик епоксикомпозитів є модифікування матриці хімічними компонентами (модифікаторами, пластифікаторами), що дозволить поліпшити як їх адгезійні, так і когезійні (фізико-механічні) властивості [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [5, 6], що серед існуючих полімерів відзначаються поліпшеними властивостями у комплексі матеріали на основі епоксидного зв'язувача. За рахунок розповсюдженої сировинної бази і можливості багатотоннажного постачання перспективним є використання епоксидного зв'язувача ЕД-20. Для поліпшення властивостей таких матеріалів у олігомер ЕД-20 вводять як наповнювачі, так і модифікатори різної фізичної природи та дисперсності. У даному аспекті перспективним є використання синтезованого нами модифікатору – бензен-1,3-діаміну (БД), який при введенні у епоксидний олігомер водночас може бути каталізатором процесу гелеутворення. Виходячи з цього, актуальним є проведення досліджень впливу концентрації синтезованого модифікатора на структуру та фізико-механічні властивості епоксидної матриці.

Мета роботи. Дослідити вплив модифікатора бензен-1,3-діамін на структуру та фізико-механічні властивості епоксидної матриці для формування покриттів із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Матеріали та методика дослідження. Виходячи з наведеного вище, як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) (рис. 1). Як модифікатор використано бензен-1,3-діамін. Модифікатор вводили у зв'язувач за вмісту від 0,10 до 2,00 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 (тут і далі за текстом мас.ч. наводять на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20). Формула речовини бензен-1,3-діаміну має вигляд: $C_6H_8N_2$ (рис. 2).

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) (рис. 3), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо, що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$ [5, 7]. Різні стадії зшивання моделювали та досліджували при введенні твердника у композицію за вмісту 10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20, з метою визначення оптимального для відповідних характеристик співвідношення компонентів у системі «зв'язувач – модифікатор». Характеристики епоксидного діанового олігомеру, модифікатора і твердника наведено у табл. 1.

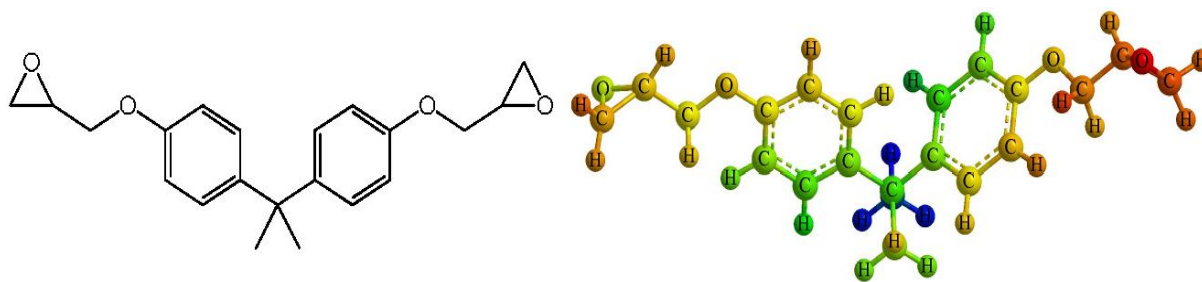


Рисунок 1 – Структурна формула фрагменту епоксидного діанового олігомеру ЕД-20 [8]

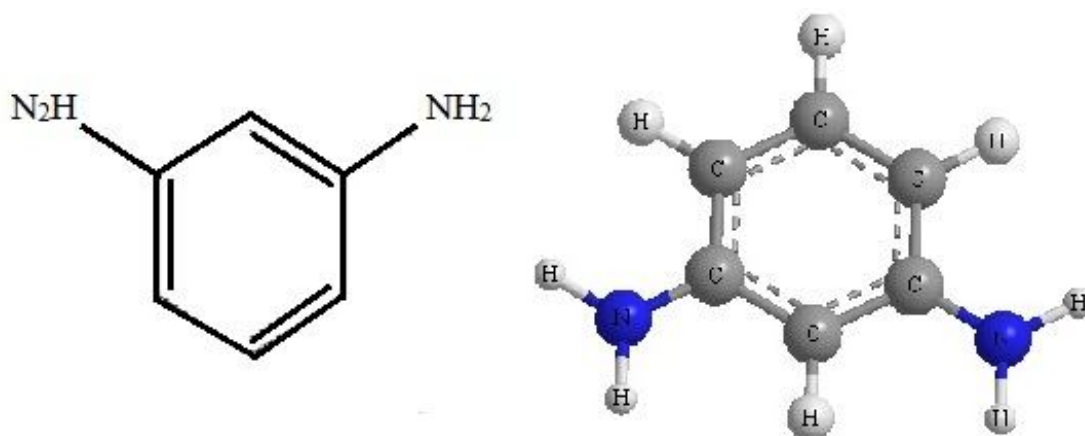


Рисунок 2 – Структурна формула фрагменту модифікатора бензен-1,3-діаміну ($C_6H_8N_2$)

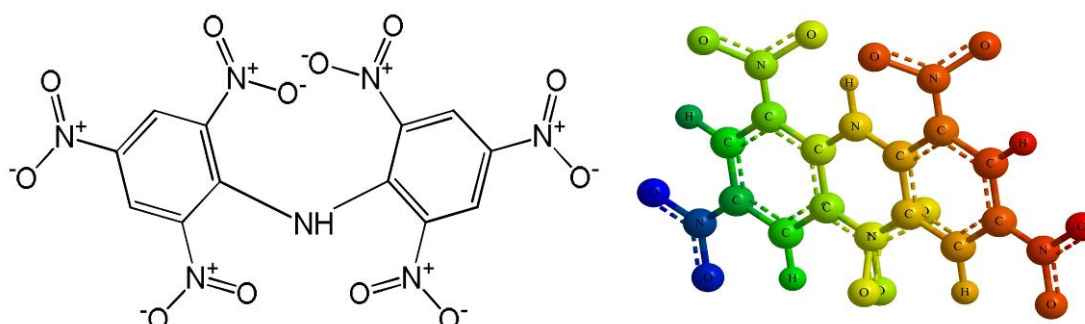


Рисунок 3 – Структурна формула фрагменту затверджувача ПЕПА [8]

Таблиця 1 – Характеристики компонентів епоксидного зв'язувача, твердника та модифікатора

Характеристики	Епоксидний олігомер ЕД-20	Модифікатор БД	Твердник ПЕПА
Молекулярна маса	390...430	108,14	230...250
Вміст епоксидних груп, %	20,0...22,5	—	—
Вміст гідроксильних груп, %	1,25	—	—
Середня функціональність за епоксидними групами, f_n	2,0	—	—
Вміст азоту, %	—	25,90	19,5...22,0
Вміст вуглецю, %	—	66,64	—
Вміст водню, %	—	7,46	—
В'язкість, η , Па·с	13...20	—	0,9
Густина, ρ , г/см ³	1,16	—	1,05

Епоксидний зв'язувач формували за такою технологією: дозування компонентів, підігрівання епоксидної смоли марки ЕД-20 до температури $T = 353...373$ К, витримка смоли при даній температурі впродовж часу $t = 15...20$ хв, гідродинамічне суміщення епоксидної смоли і модифікатора впродовж часу $t = 8...10$ хв, охолодження суміші впродовж часу $t = 50...60$ хв до кімнатної температури, введення твердника (ПЕПА), витримання композиції на повітрі впродовж часу $t = 12 \pm 0,1$ год, підігрівання композиції до температури $T = 393 \pm 2$ К і її витримання при даній температурі впродовж часу $t = 2 \pm 0,1$ год, охолодження композиції та її витримання на повітрі впродовж часу $t = 24 \pm 0,1$ год.

Руйнівні напруження і модуль пружності КМ при згинанні визначали згідно ГОСТу 4648-71 і ГОСТу 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Ударну в'язкість визначали за методом Шарпі відповідно до ГОСТу 4647-80 на маятниковому копрі МК-30 за температури $T = 298 \pm 2$ К і відносній вологості $d = 50 \pm 5\%$. Використовували зразки з розмірами: $(63,5 \times 12,7 \times 12,7) \pm 0,5$ мм.

Відхилення значень при дослідженнях показників фізико-механічних властивостей КМ становило 4...6 % від номінального.

Дослідження структури матеріалів проводили на металографічному мікроскопі моделі ХЛ-17АТ, який обладнаний камерою 130 UMD (1,3 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від $\times 100$ до $\times 1600$ разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Image Analyse».

Обговорення результатів експерименту. Для визначення оптимального вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну в епоксидній матриці з поліпшеними властивостями на початковому етапі проведено дослідження фізико-механічних властивостей КМ, а саме: руйнівного напруження при згинанні (σ_{32} , МПа), модуля пружності при згинанні (E , ГПа) й ударної в'язкості (W , кДж/м²). Попередніми дослідженнями [9–11] встановлено показники фізико-механічних властивостей вихідної (немодифікованої) епоксидної матриці при наведених вище режимах зшивання: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 48$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 2,8$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 7,4$ кДж/м².

Експериментально встановлено (рис. 4, крива 1), що введення у епоксидний олігомер модифікатора за незначного вмісту $q = 0,10$ мас.ч. приводить до суттєвого збільшення модуля пружності до $E = 3,3$ ГПа. При подальшому введенні модифікатора у кількості $q = 0,25 \dots 0,50$ мас.ч. на кривій залежності модуля пружності при згинанні від вмісту добавки (рис. 4, крива 1) спостерігали максимум, показник якого становить $E = 3,4$ ГПа.

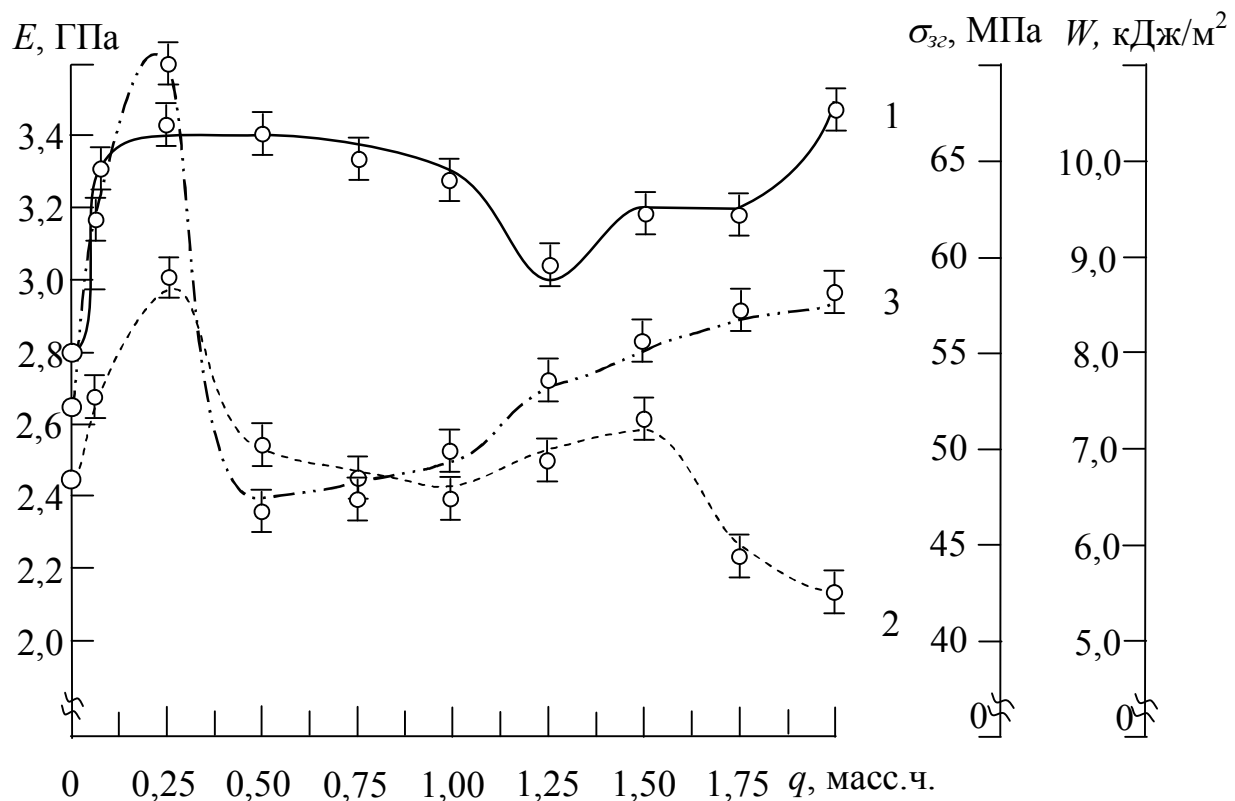


Рисунок 4 – Залежність фізико-механічних властивостей та ударної в'язкості матриці від вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну:

1 – модуль пружності при згинанні (E); 2 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 3 – ударна в'язкість (W , кДж/м²)

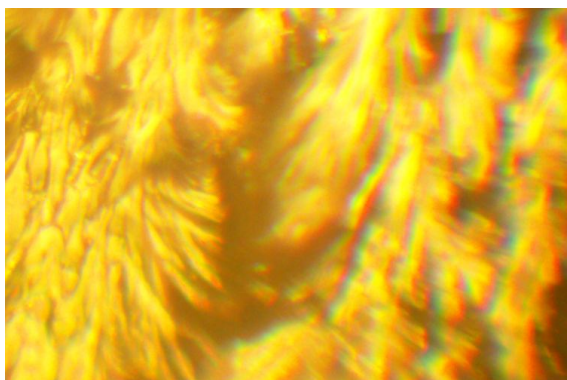
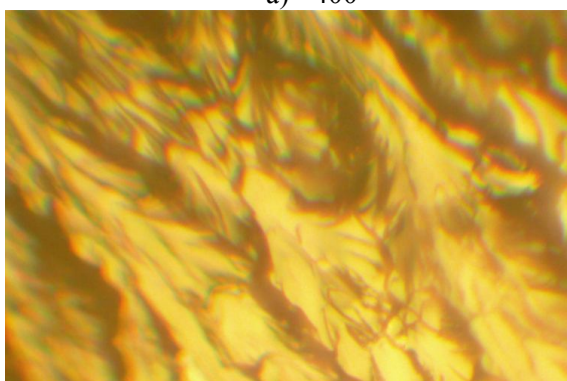
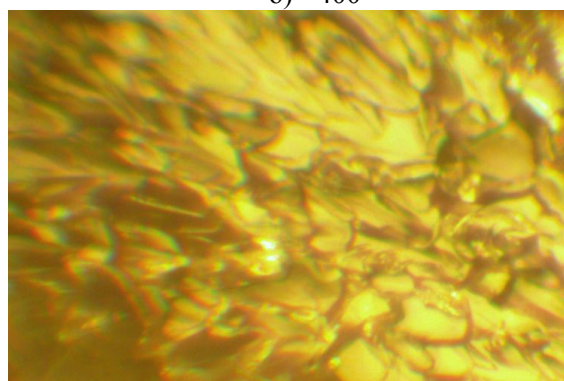
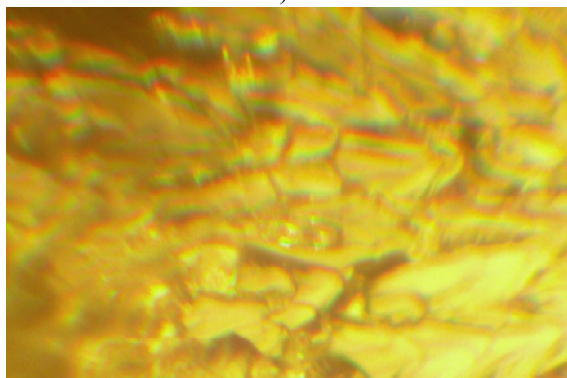
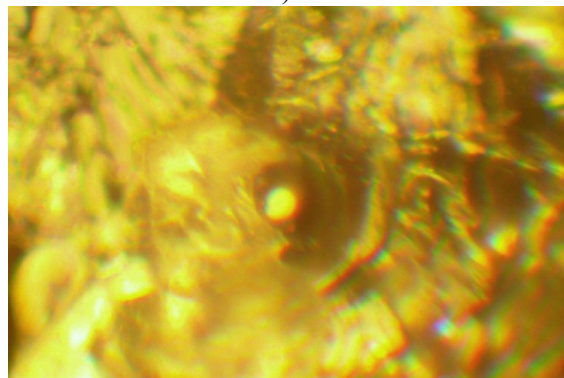
Вважали, що саме модифікатор приводить до активації процесів полімеризації внаслідок взаємодії функціональних груп з компонентами матриці. Надалі збільшення вмісту модифікатора до $q = 0,75 \dots 1,00$ мас.ч. призводить до монотонного зниження показників модуля пружності до $E = 3,0 \dots 3,3$ ГПа. Слід зазначити, що введення модифікатора у кількості $q = 1,25$ мас.ч. призводить до значного погіршення властивостей КМ. На кривій залежності $E - q$ формується мінімум (рис. 4, крива 1), величина якого становить $E = 2,7$ ГПа. Подальше введення модифікатора у кількості $q = 1,50 \dots 1,75$ мас.ч. забезпечує підвищення показників модуля пружності при згинанні КМ до $E = 3,2$ ГПа, а другий максимум ($E = 3,5$ ГПа) на кривій залежності $E - q$ спостерігали за вмісту модифікатора у кількості $q = 2,00$ мас.ч. Тобто, можна припустити, що перенасичення епоксидного олігомеру активними групами модифікатора бензен-1,3-діаміну також сприяє значній активації процесів структуроутворення модифікованої матриці.

Дослідження залежності руйнівних напружень при згинанні від вмісту модифікатора підтверджує результати експериментальних досліджень, наведених вище (рис. 4, крива 2). При введенні модифікатора за вмісту $q = 0,10$ мас.ч. руйнівні напруження при згинанні суттєво зростають від $\sigma_{32} = 48$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_{32} = 52$ МПа. Максимум ($\sigma_{32} = 58$ МПа) на кривій залежності $\sigma_{32} - q$ виявлено за вмісту часток $q = 0,25$ мас.ч. При подальшому введенні модифікатора у кількості $q = 0,50 \dots 1,00$ мас.ч. показники когезійної міцності суттєво знижуються, при цьому отримали значення $\sigma_{32} = 48 \dots 50$ МПа. Слід відмітити, що подальше введення модифікатора у кількості $q = 1,25 \dots 1,50$ мас.ч. знову приводить до підвищення результатів експерименту до $\sigma_{32} = 49 \dots 51$ МПа, однак дані показники є несуттєвими порівняно з максимумом на кривій залежності $\sigma_{32} - q$. Надалі збільшення вмісту модифікатора до $q = 1,75 \dots 2,00$ мас.ч. призводить до значного погіршення когезійної міцності КМ. При цьому формуються матеріали, показники руйнівних напружень яких становлять $\sigma_{32} = 43 \dots 45$ МПа і є меншими за абсолютною величиною порівняно з матрицею ($\sigma_{32} = 48$ МПа).

Не менш важливим, з практичної та теоретичної точки зору є дослідження ударної в'язкості КМ. Встановлено (рис. 4, крива 3), що введення у епоксидний олігомер модифікатору за незначного вмісту $q = 0,10$ мас.ч. призводить до значного підвищення показника ударної в'язкості від $W = 7,4$ кДж/м² (для епоксидної матриці) до $W = 9,4$ кДж/м². При подальшому введенні модифікатора бензен-1,3-діаміну у кількості $q = 0,25$ мас.ч. спостерігали максимум ($W = 11,0$ кДж/м²) на кривій залежності $W - q$, що повністю корелює з результатами експериментальних даних, наведених вище. При збільшенні кількості модифікатора до $q = 0,50$ мас.ч. спостерігали значне погіршення результатів експерименту, позаяк сформований КМ відзначається показниками ударної в'язкості, яка становить $W = 6,5$ кДж/м² (рис. 4, крива 3). Подальше збільшення вмісту модифікатора до $q = 0,75 \dots 2,00$ мас.ч. призводить до монотонного зростання показників в'язкості при ударі до $W = 6,7 \dots 8,5$ кДж/м². Отже, аналіз кривої залежності ударної в'язкості від вмісту часток дозволяє констатувати про добру узгодженість результатів експериментальних досліджень когезійної міцності КМ (модуль пружності, руйнівні напруження при згинанні, ударна в'язкість), що свідчить про достовірність проведених випробувань.

На завершальному етапі методом оптичної мікроскопії досліджували топологію зламу немодифікованої матриці (еталонного зразка) та модифікованої матриці з різним вмістом модифікатора бензен-1,3-діаміну. Аналіз фрактограм зламу епоксидної матриці (рис. 5а) дозволяє стверджувати про формування розгалужених ліній сколювання, які характеризуються вираженими заглибленнями. Це свідчить про напружений стан матеріалу, який призводить до його крихкості під час експлуатації. При введенні модифікатора за вмісту $q = 0,10$ мас.ч. формується матеріал з іншою структурою, що свідчить про значний вплив модифікатора на фізико-хімічні процеси при формуванні зразків. На фрактограммі зламу (рис. 5б) помітно, що розгалужені лінії сколювання з вираженими заглибленнями, характерними для вихідної епоксидної матриці,

змінюються випрямленими самоорганізованими фракціями із шаруватою структурою та меншим числом впадин. Це, на нашу думку, приводить до зміцнення матеріалу. Надалі, збільшення вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну до $q = 0,25$ мас.ч. (рис. 5в) забезпечує формування КМ, зі структурою, яка відзначається випрямленими лініями та подовженими фракціями. При цьому у полімері формуються фракції з голчастою структурою, яка забезпечує армуючий ефект. Слід відмітити, що лінії сколювання мають яскраво виражені заглиблення та розташовані вздовж випрямлених, нагромаджених фракцій у вигляді прямих ліній. Це свідчить про рівномірний розподіл сітки концентраторів напружень, що додатково зумовлює зміцнення матеріалу. Отримані дані добре узгоджуються з результатами досліджень фізико-механічних властивостей КМ з вмістом БД у кількості $q = 0,25$ мас.ч. (рис. 4), де встановлено максимальні значення руйнівних напружень при згинанні, модуля пружності при згинанні і ударної в'язкості. Наведене вище є підтвердженням того, що саме за такої концентрації модифікатора формується матеріал з покращеними когезійними властивостями.

а) $\times 400$ б) $\times 400$ в) $\times 400$ г) $\times 400$ д) $\times 400$ е) $\times 400$

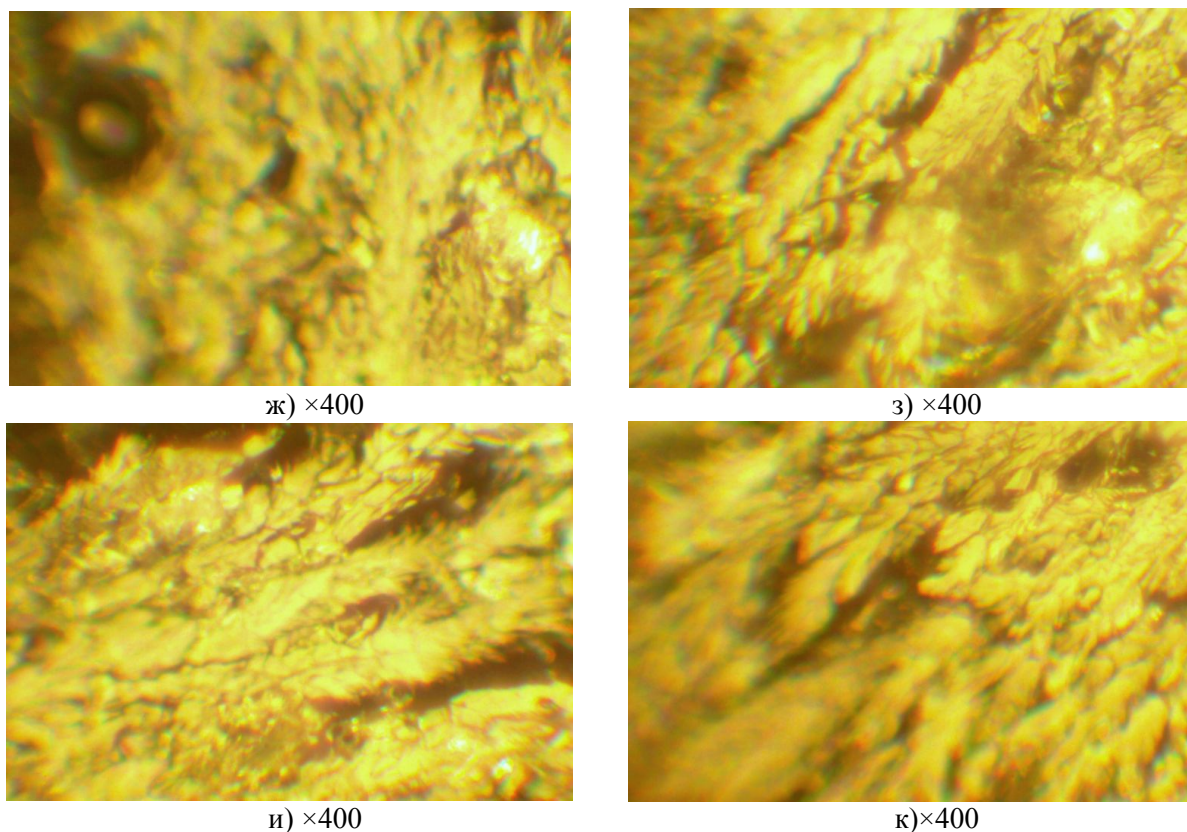


Рисунок 5 – Фрактограми зламу вихідної і модифікованих бензен-1,3-діаміном епоксидних матриць:

а) вихідна епоксидна матриця (контрольний зразок); б) $q = 0,10$ мас.ч. модифікатора; в) $q = 0,25$ мас.ч. модифікатора; г) $q = 0,50$ мас.ч. модифікатора; д) $q = 0,75$ мас.ч. модифікатора; е) $q = 1,00$ мас.ч. модифікатора; ж) $q = 1,25$ мас.ч. модифікатора; з) $q = 1,50$ мас.ч. модифікатора; и) $q = 1,75$ мас.ч. модифікатора; к) $q = 2,00$ мас.ч. модифікатора

При збільшенні вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну у зв'язувачі до $q = 0,50$ мас.ч. формується матеріал, на фрактограмі зламу якого (рис. 5г) чітко помітна різномірна блочна структура із щільним розташуванням кластерів по усій поверхні сколювання. При цьому спостерігали рельєф поверхні з в'язким характером руйнування. Складна топологія поверхні таких зразків свідчить про крихкість модифікованої матриці. Вважали, що саме модифікатор бензен-1,3-діамін за такого вмісту у процесі перебігу фізико-хімічних реакцій полімеризації призводить до утворення напруженого стану у полімері, спричиняючи значне погіршення когезійних властивостей матеріалу. Отже, характер фрактограм зламу підтверджує результати досліджень фізико-механічних властивостей матриці з даним вмістом модифікатора ($q = 0,50$ мас.ч.), де встановлено мінімальні показники руйнівних напружень, модуля пружності при згинанні і ударної в'язкості КМ (рис. 4).

При збільшенні вмісту модифікатора у зв'язувачі до $q = 0,75 \dots 1,25$ мас.ч. формуються матеріали, на фрактограмах зламу яких також спостерігали помітні зміни у структурі КМ, порівняно з вихідним епоксидним полімером. Слід відмітити підвищену в'язкість такої матриці. Причому поверхня зламу зразків відзначається наявністю нерівномірно розташованих заглиблень та кратерів, які є концентраторами напружень. При збільшенні вмісту модифікатора у зв'язувачі до $q = 1,50 \dots 2,00$ мас.ч. формуються матеріали, на фрактограмах зламу яких спостерігали однорідну структуру без глибоких кратерів. Водночас спостерігали тенденцію, що зі збільшенням вмісту модифікатора у КМ поверхня зламу зразків стає пологою та в'язкою. При цьому лінії сколювання набувають лінійного характеру, однак є нерівномірними. Це, у свою чергу, приводить до поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалів.

Висновки. Доведено, що для формування матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити модифікатор бензен-1,3-діамін за вмісту $q = 0,25$ мас. ч. У такому випадку при полімеризації твердником ПЕПА (10 мас.ч.) формується матеріал із наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 58$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 3,4$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 11$ кДж/м².

Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу вихідних і модифікованих матриць. Аналіз фрактограм зламу вихідної епоксидної матриці дозволяє стверджувати про формування поверхні з розгалуженими лініями сколювання та випрямленими фракціями із шаруватою структурою. Причому лінії сколювання, у деяких випадках, мають яскраво виражені заглиблення, які характеризують напружений стан матеріалу та його крихкість. За вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну у кількості $q = 0,25$ мас.ч. формується структура з випрямленими лініями та подовженими фракціями, які утворюють голчасту структуру, що забезпечує армуючий ефект. Слід відмітити, що лінії сколювання мають яскраво виражені заглиблення, які розташовані вздовж нагромаджених фракцій у вигляді прямих ліній. Це свідчить про формування сітки з рівномірно розподілених концентраторів напружень, що додатково зміцнює матеріал. Отже, результати дослідження поверхні зламу матеріалів, отриманих методом оптичної мікроскопії, корелюють із даними випробувань фізико-механічних властивостей КМ, що є підтвердженням їх достовірності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба. – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.
2. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.
3. Пономарев А. Н. Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов с использованием наномодификаторов фуллероидного типа / А. Н. Пономарев // Труды международной конференции ТПКММ. – Москва, 2003. – С. 508–518.
4. Яновский Ю. Г. Композиты на основе полимерных матриц и углеродно-силикатных нанонаполнителей. Квантово-механическое исследование механических свойств, прогнозирование эффекта усиления / Ю. Г. Яновский, Е. А. Никитина, С. М. Никитин, Ю. Н. Карнет // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т.15. – № 4. – С.66–89.
5. Букетов А. В. Исследование влияния 1,4-бис(N,N-диметилдителиокарбамато)бензена на механические свойства эпоксидной матрицы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, В. М. Яцюк, Б. Д. Грищук, В. С. Барановский // Пластические массы. – 2014. – № 3–4. – С. 26–34.
6. Букетов А. В. Исследование влияния модификатора 4,4'-метиленис(4,1-фенилен)бис(N,N-диэтилдитиокарбамата) на структуру и свойства эпоксидной матрицы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, В. Н. Яцюк, В. О. Скирденко // Пластические массы. – 2014. – № 7–8. – С. 9–16.
7. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : Вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
8. Buketov A. V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv kompozitnykh materialov na osnove jepoksidianovoj smoly, otverzhdennoj polijetilenpoliaminom, s dobavleniem plastifikatora-antipirena trihlorjetilfosfata / A. V. Buketov, A. V. Akimov, D. A. Zinchenko // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2015. – № 5. – S. 126–134.

9. Браїло М. В. Дослідження впливу вмісту твердника і температури зшивання на властивості епоксидних зв'язувачів / М. В. Браїло // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – № 2 (65) – С. 3–12

10. Сапронов О. О. Дослідження природи хімічних і фізичних зв'язків епоксидних нанокомпозитів методом ІЧ-, ЕПР-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії / О. О. Сапронов // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ. – 2013. – Випуск 43. – С. 62–73.

11. Букетов А. В. Дослідження властивостей епоксикомпозитів, наповнених нанодисперсним алмазом, методом ІЧ-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії / А. В. Букетов, О. О. Сапронов // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 4. – С. 190–198.

REFERENCES

1. Buketov A. V., Stukhlyak P. D., Kaljba E. M. (2005). *Fiziko-khimichni procesi pri formuvanni epoksidkompozitnikh materialiv*. Ternopilj : Zbruch.

2. Stukhlyak P. D., Buketov A. V., Dobrotvor I. G. (2008). *Epoksidkompozitni materiali, modifikovani energetichnimi polyami*. Ternopilj : Zbruch.

3. Ponomarev A. N. (2003). Tekhnologii mikromodifikacii polimernihkh i neorganicheskikh kompozicionnihkh materialov s ispolzovaniem nanomodifikatorov fulleroidnogo tipa. *Trudih mezhdunarodnoy konferencii TPKMM*. Moskva, 508–518.

4. Yanovskiy Yu. G., Nikitina E. A., Nikitin S. M., Karnet Yu. N. (2009). Kompozitih na osnove polimernihkh matric i uglerodno-silikatnihkh nanonapolniteleyj. *Kvantovomekhanicheskoe issledovanie mekhanicheskikh svoystv, prognozirovanie ehffekta usileniya. Mekhanika kompozicionnihkh materialov i konstrukciy, T.15, 4.* 66–89.

5. Buketov A. V., Sapronov A. A., Yacyuk V. M., Grithuk B. D., Baranovskiy V. S. (2014). Issledovanie vliyaniya 1,4-bis(N,N-dimetil-ditiokarbamato)benzena na mekhanicheskie svoystva epoksidnoy matricih *Plasticheskie massih, 3–4*, 26–34.

6. Buketov A. V., Sapronov A. A., Yacyuk V. N., Skirdenko V. O. (2014). Issledovanie vliyaniya modifikatora 4,4'-metilenbis(4,1-fenilen)bis(N,N-diehtilditiokarbamata) na strukturu i svoystva ehpoksidnoy matricih. *Plasticheskie massih, 7–8*, 9–16.

7. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiy. – Ljviv : Vid. nac. univer. «Ljvivsjka politehnika», 2005. – 240 s.

8. Buketov A. V., Akimov A. V., Zinchenko D. A. (2015). Issledovanie fizikomekhanicheskikh svoystv kompozitnykh materialov na osnove jepoksidianovoj smoly, otverzhdennoj polijetilenpoliaminom, s dobavleniem plastifikatora-antipirena trihlorjetilfosfata. *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki, 5.* 126–134.

9. Braїlo M. V. (2013). Doslidzhennya vplivu vmistu tverdnika i temperaturi zshivannya na vlastivosti epoksidnikh zv'yazuvachiv *Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki, № 2 (65).* 3–12

10. Sapronov O. O. (2013). Doslidzhennya prirodi khimichnikh i fizichnikh zv'yazkiv epoksidnikh nanokompozitiv metodom ICh-, EPR-spektraljnogo analizu ta optichnoї mikroskopії. *Naukovi notatki, 43.* Lucjk : LNTU. 62–73.

11. Buketov A. V., Sapronov O. O. (2013). Doslidzhennya vlastivosteyj epoksidkompozitiv, napovnenikh nanodispersnim almazom, metodom ICh-spektraljnogo analizu ta optichnoї mikroskopії. *Visnik TNTU, 4.* 190–198.

Сметанкин С. А., Нигалатий В. Д., Букетов А. В., Шарко А. В., Скирденко О. И., Баглюк Г. А.
РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В работе проведено исследование влияния содержания модификатора бензол-1,3-диамина на физико-механические свойства и структуру модифицированных эпоксидных композитов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20. В результате анализа полученных данных выбран оптимальная концентрация добавки, при которой обеспечивают оптимальные значения ударной вязкости, разрушающих напряжений и модуля упругости при изгибе разработанных композитных материалов. С целью подтверждения достоверности полученных результатов исследования физико-механических свойств композитов дополнительно проанализирована структура поверхности излома материалов. Анализ фрактограмм исходной эпоксидной матрицы позволяет утверждать о формировании поверхности излома с разветвленными линиями скалывания и организованными фракциями со слоистой структурой с последующими изменениями в зависимости от содержания модификатора. Причем линии скалывания, в некоторых случаях, имеют ярко выраженные углубления, которые характеризуют напряженное состояние материала и его хрупкость.

Ключевые слова: эпоксидный композит, оптимальное значение, модификатор, физико-механические свойства, структура.

Smetankin S. A., Nigalatiy V. D., Buketov A. V., Sharco O. V., Skyrdenko O. I., Bagliuk G. A.
DEVELOPMENT OF MODIFIED POLYMER COMPOSITES FOR REPAIR PARTS OF TRANSPORT POWER PLANTS

The paper studied the effect of modifying the content of benzene-1,3-diamine in the physical and mechanical properties and structure of the modified epoxy composites based on ED-20 epoxy resin bisphenol. An analysis of the data selected optimum additive concentration at which values provide optimum toughness, and stress destroying the flexural modulus composite materials developed. In order to confirm the validity of the results of the study of physical and mechanical properties of composites further analyzed the structure of fracture surface materials. Analysis fraktogramm original epoxy matrix suggests the formation of a fracture surface of the branched lines chipping and organized factions with a layered structure with the subsequent changes depending on the content of the modifier. Wherein the cleaving line in some cases, have pronounced grooves that characterize the stress state of the material and its fragility.

Keywords: epoxy composite, the optimum value, a modifier of physical and mechanical properties of the structure.

© Сметанкін С. А., Нігалатій В. Д., Букетов А. В., Шарко О. В., Скирденко О. І., Баглюк Г. А.

Статтю прийнято
 до редакції 19.05.16

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Филипчук А. Н., *ст. преподаватель кафедры автоматики и электрооборудования Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (Херсонский филиал), E-mail: filipschuk5@gmail.com;*

Получение на основе экспериментальных исследований количественных данных о влиянии минеральной части топлива и воды водомазутной эмульсии (ВМЭ), температуры поверхности металла $t_{ст}$ и избытка воздуха α при горении на интенсивность высокотемпературную коррозию (ВТК) и определение допустимого уровня солесодержания ВМЭ.

Исследование интенсивности ВТК проведено на экспериментальной установке при сжигании ВМЭ с водосодержанием $W^ = 30\%$ на основе мазута М40 при избытке воздуха $\alpha = 1,5$. Подготовка эмульсии осуществлялась с использованием водопроводной воды с солесодержанием 1482 мг/л (после хлорирования), что определило солесодержание ВМЭ на уровне 490 мг/л, и дистиллята, с солесодержанием 50 мг/л, что определило солесодержание ВМЭ равное 16,9 мг/л. Представлены результаты экспериментальных и аналитических исследований высокотемпературной коррозии сталей 20 и X18H10T при сжигании водомазутной эмульсии при избытках воздуха до 3,0. Показано, что при использовании ВМЭ с солесодержанием до 180 мг/л скорость высокотемпературной коррозии сталей 20 и X18H10T ниже допустимого значения 0,25 мм/год.*

Проведенные экспериментальные исследования, анализ их результатов и сопоставление с данными других авторов позволили сформулировать следующие выводы: прибавка хлоридов с водой (выше определенной концентрации) к натрийванадатам мазута при использовании ВМЭ приводит к интенсификации ВТК; при температурах стенки, при которых наблюдается расплавление загрязнений, с увеличением содержания хлора, принесенного с водой ВМЭ, скорость ВТК при солесодержании ВМЭ на уровне 490 мг/л существенно выше по сравнению с режимом сжигания мазута и особенно ВМЭ с солесодержанием 16,9 мг/л.

Ключевые слова: *высокотемпературная коррозия, кинетика, натрийванадаты, хлор, мазут, водомазутная эмульсия, солесодержание.*

Постановка проблемы. В современной энергетике, в связи с необходимостью использования все более тяжелых низкокачественных топлив (со сложным составом минеральной части вследствие более глубокой переработки нефти) актуальными становятся проблемы коррозии и загрязнения поверхностей нагрева паровых котлов, элементов ДВС и ГТД под воздействием потока продуктов сгорания.

При температурах поверхности металла $t_{ст}$ выше 400 °С под расплавом загрязнений, состоящих из отложений золы топлива и продуктов коррозии, наблюдается интенсивная электрохимическая коррозия – высокотемпературная коррозия (ВТК). В пределах $t_{ст}$ от 130 до 400 °С под слоем сухих сыпучих отложений проходит газовая коррозия с низкой интенсивностью.

Ускорителями ВТК сталей являются легкоплавкие комплексные сульфаты и пиросульфаты щелочных металлов, натрийванадаты жидкого топлива. Соединения хлора также являются весьма активными ускорителями коррозии. Поэтому при использовании водомазутных эмульсий (ВМЭ) минералогический состав воды, используемой для их приготовления, внесет изменение в содержания указанных компонентов в отложениях золы топлива и при определенных условиях повлияет на интенсивность коррозии.

Решение задачи снижения интенсивности ВТК определяет ресурс работы металла, режим эксплуатации, а также технико-экономические показатели котлов, ДВС и СЭУ в целом. Однако проблемам интенсивности ВТК при сжигании ВМЭ на основе сернистых мазутов не уделено достаточно внимания. Опубликовано небольшое количество работ, где представлена только качественная оценка интенсивности этих процессов: увеличивается период между очистками и ремонтами, визуальные наблюдения указывают на снижение скорости коррозии и загрязнения. Причем, при рассмотрении этих проблем интенсивность ВТК не связывается с такой важной характеристикой, как физико-химические свойства минеральной части топлива и воды, применяемой для

приготовления ВМЭ, что важно, т.к. прибавка к минеральной части жидкого топлива (внутренняя составляющая) внешней составляющей (минеральной части воды) может повлиять на механизм и скорость ВТК.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ статистических данных о влиянии физико-химических характеристик золовых отложений на поверхностях нагрева в котлах и ДВС при сжигании мазута и других топлив на интенсивность ВТК, обобщенных в [1, 2, 4, 5], показывает, что следует рассматривать два отдельно действующих механизма высокотемпературной коррозии металла элементов СЭУ: ванадиевый (под влиянием соединений ванадия и натрия) и сульфатный (под влиянием хлоридов, SO_2 , O_2 и появляющихся затем сульфатов), который по мнению [1, 2] имеет более существенное значение, чем первый и должен повлиять и на ванадиевый механизм ВТК.

При сжигании орэмульсии (ВМЭ с $W^r=30\%$) [3] спекшиеся на пароперегревателе отложения превратились в порошок, легко смываемый водой. Применение ВМЭ по технологии с «тяжелой» кавитацией (при кавитационном числе на уровне 0,2) [3] за 2 недели позволило очистить верхние трубы конвективного пароперегревателя до металлического блеска, видимо, под воздействием звукового поля вследствие микровзрывов ВМЭ и изменения состояния слоя загрязнений.

Ускоренная коррозия определяется наличием легкоплавких жидких ванадатов, которые являются эффективными растворителями защитной оксидной пленки и диффузионными носителями кислорода [2]. По мнению [4,5] под воздействием V_2O_5 освобождается высокоактивный атомарный кислород, концентрация которого определяет скорость коррозии. В дальнейшем скорость ВТК зависит от растворения оксидов железа, хрома, молибдена и др. в жидкой фазе ванадатов натрия либо V_2O_5 , а при наличии Cl в топливе от участия образующихся сульфатов в расплаве под влиянием SO_2 .

По мнению [1] даже небольшое количество щелочных хлоридов в смеси с сульфатами значительно повышает интенсивность ВТК стали: при содержании в коррозионной смеси более 5 % хлоридов процесс коррозии протекает не по параболическому закону, а приближается к линейной зависимости, что указывает на малые защитные свойства у образовавшихся в таких условиях оксидных пленок (особенно при коррозии аустенитных сталей). При содержании Cl до 1 % скорость ВТК практически не меняется по сравнению с чистой поверхностью и только при 2 % хлора скорость ВТК увеличивается по кинетическому режиму.

Цель работы. Получение количественных данных о влиянии солесодержания воды ВМЭ, температуры поверхности металла $t_{\text{ст}}$ и избытка воздуха α при сжигании мазута и ВМЭ на интенсивность ВТК и определение допустимого уровня солесодержания водомазутных эмульсий.

Изложение основного материала исследований. Сравнение интенсивности коррозии при сжигании мазута и ВМЭ, приготовленной с использованием воды с различным составом минеральной части, возможно, только путем проведения экспериментальных исследований.

При планировании экспериментальных исследований, с целью уменьшения серии опытов, перед сборкой образцов труб прежде всего поддерживались постоянными: температура газов на уровне $\sim 1000^\circ\text{C}$, при которой по литературным данным [1, 2, 4, 5] наблюдается максимальная скорость ВТК, и скорость потока газов на уровне 8 м/с. При обеспечении постоянства этих факторов корректно и легче оценить влияние на скорость ВТК температуры поверхности металла труб $t_{\text{ст}}$ и коэффициента избытка воздуха α при горении топлив. При исследованиях влияния роста $t_{\text{ст}}$ на скорость ВТК для получения зависимостей $K = f(t_{\text{ст}})$ для конкретных марок сталей при сжигании каждого вида топлив поддерживалась постоянная величина коэффициента избытка воздуха α . Так, при оценке достоверности проведенных экспериментальных исследований необходимо сравнение с литературными данными по скорости ВТК, полученными при разных значениях α , то

должны быть построены и зависимости скорости ВТК от α ($K = f(\alpha)$) при определенных $t_{ст}$.

Нахождение регрессионных уравнений по результатам исследований при принятых математической и химико-физической моделях рассматриваемых процессов интенсивности ВТК, позволяет осуществлять оценку уровня скорости ВТК при любых значениях α . Представляет интерес оценка скорости ВТК при значении α на уровне до 3,0, которые имеют место при сжигании жидких топлив в ДВС и ГТД.

Для выполнения поставленных целей экспериментальных исследований по оценке влияния качества воды (ее солесодержания), используемой на подготовку ВМЭ (прежде всего по содержанию хлоридов в воде), на интенсивность коррозии необходимо проведение сравнительных исследований скорости ВТК при сжигании стандартных мазутов ($W^r = 2,0 \%$) и ВМЭ ($W^r = 30 \%$), приготовленной с водой разного качества (разного солесодержания) на основе этих мазутов.

Выбор значения водосодержания W^r ВМЭ на уровне 30% обусловлен тем, что при сжигании ВМЭ с таким W^r при $\alpha = 1,5$ наблюдается минимальный уровень низкотемпературной коррозии при $t_{ст}$ до 200°C [6, 7, 8] и поэтому является актуальной оценка скорости ВТК при тех же условиях. Кроме того, опубликованы данные эксплуатации котлов при сжигании ВМЭ при такой же величине W^r и α на уровне 1,35 [9, 10], что позволит достоверно оценить полученные экспериментальные данные при принятой методике исследований.

Продолжительность опытов $\tau = 100$ часов, что обеспечивает требуемую при исследованиях коррозионных процессов точность (на уровне 10 %). Оценку допустимого уровня скорости ВТК при разных условиях необходимо осуществлять при $\tau \approx 1000$ часов (среднестатистическое время между принудительными очистками поверхностей нагрева). Поэтому предварительно были проведены исследования кинетики ВТК, результаты которых для двух марок сталей (сталь 20 и X18H10T) при температурах стенки $t_{ст}$ 500°C (для стали 20) и 600°C (для стали X18H10T), в качестве примера приведены на рис. 1.

K ,

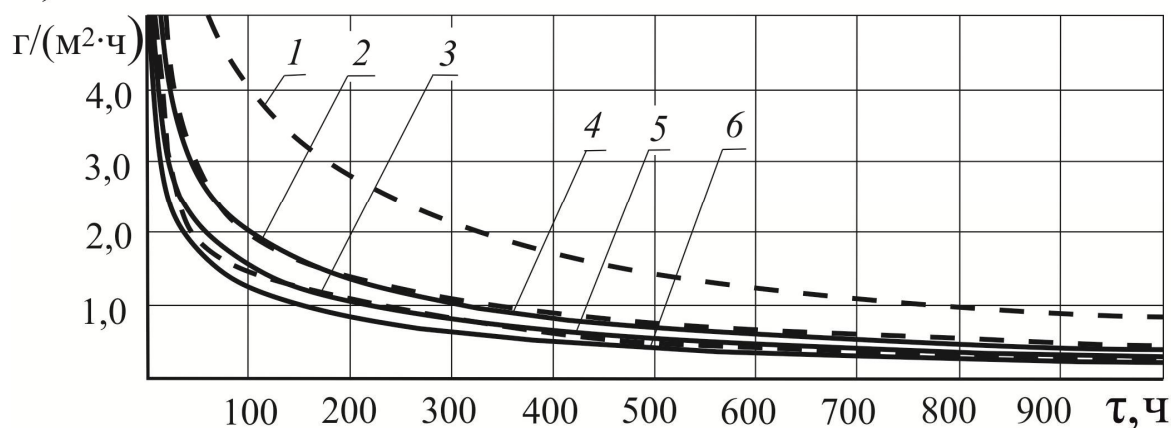


Рисунок 1 – Скорость коррозии сталей при сжигании мазута М40 и ВМЭ:

1, 2, 3 – стали 20, $\vartheta_r = 1000^\circ\text{C}$, $\alpha = 1,5$; $t_{ст.стали\ 20} = 500^\circ\text{C}$; 4, 5, 6 – стали X18H10T, $\vartheta_r = 1000^\circ\text{C}$, $\alpha = 1,5$; $t_{ст\ X18H10T} = 600^\circ\text{C}$;

$$1 - K_{ВМЭ(М40+ВВ)} = (0,3534 + (-0,6399) \cdot \tau) / (1 + (-0,0994) \cdot \tau + (-0,0007) \cdot \tau^2);$$

$$2 - K_{М40} = (-22,2317 + (-0,9722) \cdot \tau) / (1 + (-0,4224) \cdot \tau + (-0,0019) \cdot \tau^2);$$

$$3 - K_{ВМЭ(М40+Д)} = (60,6922 + 0,3638 \cdot \tau + 0,0074 \cdot \tau^2) / (1 + 1,01328 \cdot \tau + (-0,0016) \cdot \tau^2 + (3,3507 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^3));$$

$$4 - K_{ВМЭ(М40+ВВ)} = (13,7232 + 0,6082 \cdot \tau + 0,0006 \cdot \tau^2) / (1 + 0,2356 \cdot \tau + 0,0014 \cdot \tau^2 + (1,6964 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^3));$$

$$5 - K_{М40} = (13,8043 + 1,3966 \cdot \tau) / (1 + 0,5496 \cdot \tau + 0,0044 \cdot \tau^2);$$

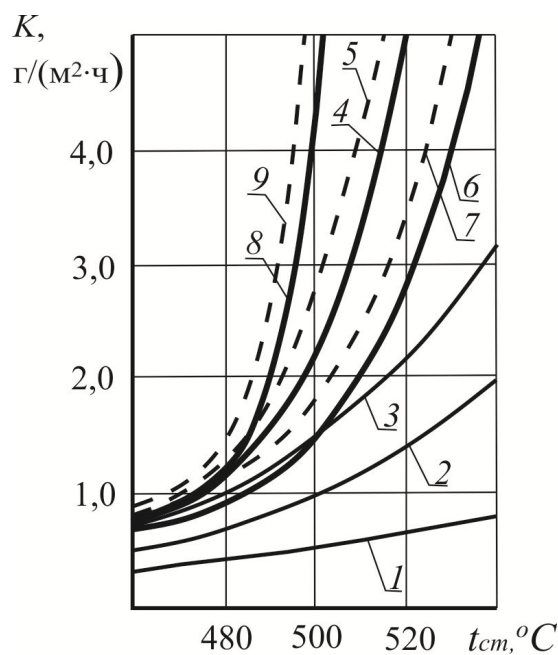
$$6 - K_{ВМЭ(М40+Д)} = (10,5604 + 0,9582 \cdot \tau) / (1 + 0,4809 \cdot \tau + 0,0037 \cdot \tau^2)$$

Полученные регрессионные уравнения кинетики ВТК позволяют прогнозировать развитие ее скорости на любое время и сравнивать с данными других авторов, полученными при разной продолжительности опытов. Выбор для коррозионных исследований указанных марок сталей обусловлен тем, что сталь 20 наименее коррозионнотойкая, а сталь X18H10T наиболее коррозионнотойкая из применяемых сталей [1, 2, 4, 5, 11, 14, 15]. Для количественной оценки влияния качества воды, для приготовления ВМЭ и определения допустимого значения солесодержания этой воды по уровню скорости ВТК при проведении экспериментальных исследований использовались водопроводная вода (солесодержание после хлорирования 1482 мг/л, жесткость 14,9 мг·экв/л, рН = 7,69) и дистиллят с солесодержанием 50 мг/л. При сжигании ВМЭ на основе мазута М40, при использовании водопроводной воды указанного качества (обозначение ВМЭ (М40+ВВ)) получено солесодержание ВМЭ на уровне $S = 490$ мг/л. При сжигании ВМЭ с использованием дистиллята (обозначение ВМЭ (М40+Д)) получено минимальное солесодержание $S = 16,8$ мг/л. По данным [10] при сжигании нефтяных остатков после мойки танков рекомендуется снижение в них солесодержания до 200 ... 250 мг/л, что обеспечивает отсутствие ванадиевой коррозии и низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева котлов, так как иначе (по мнению [10] и как показала эксплуатация танкеров) повышение содержания хлористых солей в мазутах и нефтяных остатках приводит к образованию на парообразующих поверхностях слоя солевых отложений.

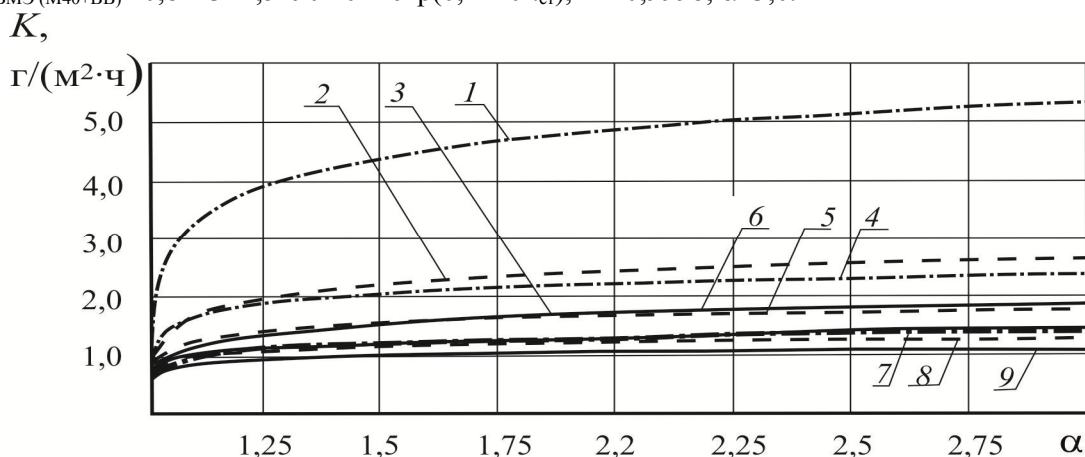
Поэтому принято осуществлять оценку уровня изменения скорости ВТК при сжигании ВМЭ по солесодержанию воды, применяемой для приготовления ВМЭ, и по солесодержанию самой ВМЭ.

На экспериментальной установке были проведены серии опытов при сжигании мазута М40 ($S^r = 1,8$ %; $A^r = 0,098$ %) при разных избытках воздуха α (1,01; 1,025; 1,05), а также водомазутных эмульсий ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д) с водосодержанием $W^r = 30$ % при $\alpha = 1,5$.

Высокотемпературная коррозия (ВТК) стали 20. По результатам экспериментальных исследований на рис. 2а представлены зависимости скорости ВТК этой стали от температуры наружной поверхности металла $t_{ст}$ в диапазоне 400 ... 560 °С для мазута М40 при низких избытках воздуха α (1,01; 1,025; 1,05). Полученные экспериментальные зависимости $K = f(t_{ст})$ при этих значениях α предоставили возможность построить зависимости $K = f(\alpha)$ в диапазоне 1,01 ... 1,05 и получить регрессионные уравнения, описывающие эти зависимости при температурах $t_{ст}$ в диапазоне 400 ... 520 °С (рис. 2б), по которым определялась скорость ВТК при значениях α до 1,2 (рис. 2б) (в наблюдаемые котлах 2, 4, 5, 14, 15)). Так как, при увеличении коэффициента избытка воздуха α от 1,01 до 1,05 наблюдается существенный рост скорости коррозии [1, 2, 5, 11], а затем имеет место стабилизация процесса, то чтобы получить уравнения развития интенсивности ВТК и оценить скорость ВТК при изменениях α до 3,0 (которые могут иметь место в ДВС, ГТД) в качестве контрольных точек использовались полученные экспериментальные данные по скорости ВТК стали 20 при $\alpha = 1,5$ при разных $t_{ст}$ при сжигании М40, ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д). При построении зависимостей $K = f(\alpha)$ и нахождении их регрессионных уравнений при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д) при значениях α ниже и выше 1,5 принято, что соотношения скоростей ВТК при сжигании мазута М40 и двух сортов ВМЭ, полученные экспериментально при $\alpha = 1,5$, сохраняются и при других значениях α . На основании этих данных на рис. 2а построены расчетные зависимости $K = f(t_{ст})$ при сжигании мазута М40 при избытках воздуха $\alpha = 1,5$ и $\alpha = 3,0$. Необходимо отметить, что по промышленным экспериментальным данным [1, 2] зависимости скорости ВТК при сжигании мазутов, представленные на рис. 2а, идут круче, что объясняется переменными режимами работы промышленных и энергетических котлов.



- а): 1 – $K_{M40} = -0,1057 + 0,0053 \cdot \exp(0,0095 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9983$; $\alpha = 1,01$;
 2 – $K_{M40} = 0,0535 + 5,4962 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(0,0194 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9982$; $\alpha = 1,025$;
 3 – $K_{M40} = 0,0029 + 7,2645 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(0,0198 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9972$; $\alpha = 1,05$;
 4 – $K_{M40} = 0,4774 + 2,2277 \cdot 10^{-11} \cdot \exp(0,0501 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9951$; $\alpha = 1,5$;
 5 – $K_{M40} = 0,7111 + 9,8467 / (1 + \exp(-(t_{cr} - 518,6718) / 13,5185))$, $R^2 = 0,9995$; $\alpha = 3,0$;
 6 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 0,5146 + 6,7661 \cdot 10^{-10} \cdot \exp(0,0442 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9960$; $\alpha = 1,5$;
 7 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 0,6082 + 3,7967 \cdot 10^{-10} \cdot \exp(0,0437 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9995$; $\alpha = 3,0$;
 8 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 0,7112 + 1,5488 \cdot 10^{-22} \cdot \exp(0,1030 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9997$; $\alpha = 1,5$;
 9 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 0,8223 + 2,5490 \cdot 10^{-24} \cdot \exp(0,1120 \cdot t_{cr})$, $R^2 = 0,9998$; $\alpha = 3,0$.



- б): 1 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 4,8473 + 0,6960 \cdot \ln(\alpha - 1,0061)$, $t_{cr} = 500$ °C;
 2 – $K_{M40} = 2,4334 + 0,3494 \cdot \ln(\alpha - 1,0061)$, $t_{cr} = 500$ °C;
 3 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 1,6888 + 0,2425 \cdot \ln(\alpha - 1,0061)$, $t_{cr} = 500$ °C;
 4 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 2,2142 + 0,2505 \cdot \ln(\alpha - 1,0084)$, $t_{cr} = 490$ °C;
 5 – $K_{M40} = 1,6636 + 0,1882 \cdot \ln(\alpha - 1,0084)$, $t_{cr} = 490$ °C;
 6 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 1,2894 + 0,1459 \cdot \ln(\alpha - 1,0084)$, $t_{cr} = 490$ °C;
 7 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 1,2866 + 0,1163 \cdot \ln(\alpha - 1,0094)$, $t_{cr} = 480$ °C;
 8 – $K_{M40} = 1,2059 + 0,1090 \cdot \ln(\alpha - 1,0094)$, $t_{cr} = 480$ °C;
 9 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 1,0324 + 0,0933 \cdot \ln(\alpha - 1,0094)$, $t_{cr} = 480$ °C.

Рисунок 2 – Зависимости скорости высокотемпературной коррозии стали 20: а) от температуры наружной поверхности металла t_{cr} ; б) от коэффициента избытка воздуха α

Кроме того, на рис. 2а представлены полученные экспериментальные зависимости скорости ВТК при сжигании ВМЭ с $W^r = 30\%$ на основе мазута М40, приготовленной при использовании водопроводной воды ВМЭ (М40+ВВ) и дистиллята ВМЭ (М40+Д) при $\alpha = 1,5$.

Сравнение зависимостей скоростей ВТК при сжигании мазута М40 ($W^r = 2,0\%$) и ВМЭ с $W^r = 30\%$ (ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д)) показывает, что при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) кривые зависимостей скоростей ВТК $K = f(t_{ct})$ идут круче по сравнению с зависимостями $K = f(t_{ct})$ при сжигании мазута М40 с тем же α , что объясняется большим содержанием хлоридов в ВМЭ. При сжигании ВМЭ (М40+Д) скорость ВТК ниже, чем при сжигании «сухого» мазута и ВМЭ (М40+ВВ).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2а, показывает, что зависимости скоростей ВТК необходимо сравнивать в трех зонах: 1) при температуре стенки до начала роста скоростей ВТК, когда отложения еще сухие (коррозия идет по химическому механизму процесса); 2) при t_{ct} , при которой начинается процесс размягчения отложений и химический процесс ВТК переходит в электрохимический; 3) при t_{ct} выше $484...500^\circ\text{C}$, когда на поверхности металла наблюдаются расплавленные золотые отложения (имеет место чисто электрохимический процесс). Необходимо отметить, что при большом содержании хлоридов (при сжигании ВМЭ (М40+ВВ)) рост ВТК начинается раньше ($t_{ct} = 485^\circ\text{C}$), а при использовании ВМЭ (М40+Д) при малом содержании хлоридов рост ВТК начинается при $t_{ct} \approx 495...500^\circ\text{C}$.

В зоне температур t_{ct} от 400°C до 470°C скорости ВТК стали 20 при сжигании М40 и ВМЭ практически одинаковые (медленно увеличиваются с ростом t_{ct}). Причем, скорость ВТК при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) при $\alpha = 1,5$ ниже скорости ВТК, при сжигании М40, при том же α (значения скоростей ВТК получены по экспериментальным данным и аналитическим расчетам по регрессионным уравнениям при α равным 1,01, 1,025, 1,05) (рис. 2б). Это объясняется влиянием меньшего размера частиц золы при сжигании ВМЭ вследствие микровзрывов капель ВМЭ, что приводит к снижению диффузионного процесса доставки окислителей к поверхности металла и пассивации металла под влиянием NaNO_3 [12,13].

В диапазоне температур t_{ct} от 480°C до $490...500^\circ\text{C}$ (допустимое по условиям коррозии значение для стали 20) начинает меняться механизм коррозионного процесса (переход к электрохимическому механизму). При сжигании мазута М40 наблюдается медленный рост скорости ВТК, а при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) процесс ВТК осуществляется более интенсивно, что объясняется большим содержанием хлоридов и разрыхлением слоя отложений, вследствие улетучивания хлора. При использовании ВМЭ (М40+Д) рост скорости ВТК более медленный (в 2 раза ниже), чем при сжигании М40, что можно объяснить меньшим содержанием хлоридов и ингибирующим воздействием нитратов.

При $t_{ct} = 500^\circ\text{C}$ скорость коррозии при сжигании ВМЭ (М40+ВВ), при $\tau = 100$ часов составляет $4,5 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ (которое соответствует $0,8 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000$ часов), что выше допустимой скорости коррозии. При сжигании мазута М40 скорость ВТК в 1,8 раза ниже и находится на уровне $2,5 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ($0,44 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000$ часов). При сжигании ВМЭ (М40+Д) скорость ВТК равна $1,5 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ($0,23 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000$ часов), что в 3 раза меньше по сравнению с ВТК при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) и в 1,7 раза ниже скорости ВТК при сжигании мазута М40 и ниже допустимого уровня скорости коррозии ($\sim 0,25 \text{ мм/год}$) [1, 2, 4, 5].

Рассмотрение характера изменения зависимости $K = f(t_{ct})$ для этих 3-х режимов сжигания топлив при одинаковом $\alpha = 1,5$ показывает, что при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) с наибольшим содержанием хлоридов «крутой» подъем начинается при $t_{ct}=480^\circ\text{C}$, что объясняется более низкой температурой плавления хлорсодержащей золы и началом улетучивания хлора, что приводит к разрыхлению слоя загрязнения и уменьшению его защитных свойств. При этом необходимо отметить, что при сжигании сланцев с содержанием хлора $0,65\%$ [1] рост ВТК начинается при t_{ct} в пределах $400...450^\circ\text{C}$. При

сжигании мазута М40 рост ВТК начинается при $t_{\text{ст}} = 490^{\circ}\text{C}$, а при сжигании ВМЭ (М40+Д) при $t_{\text{ст}} = 495...500^{\circ}\text{C}$, что, по-видимому, объясняется не только меньшим содержанием хлоридов, но и превалирующим ингибирующим влиянием нитратов, вследствие увеличенного отношения $\text{NaNO}_3/\text{NaCl}$, что по данным [12, 13] приводит к снижению скорости коррозии.

При температурах $t_{\text{ст}}$ выше 500°C целесообразно рассмотрение скорости ВТК только при сжигании ВМЭ (М40+Д), так как при сжигании этого топлива допустимая скорость ВТК в $3,0 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ при $\tau = 100 \text{ ч}$ ($0,5 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000 \text{ часов}$) достигается только при $t_{\text{ст}} = 520^{\circ}\text{C}$. Кроме того, уменьшение α при сжигании этого топлива позволит еще больше снизить скорость ВТК и расширить диапазон применения стали 20 (рис. 2б) в котлах.

Высокотемпературная коррозия (ВТК) стали X18H10T. Экспериментальные исследования ВТК этой аустенитной стали были проведены при сжигании мазута М40, при значениях α (1,01; 1,025; 1,05) и при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д), при $\alpha = 1,5$.

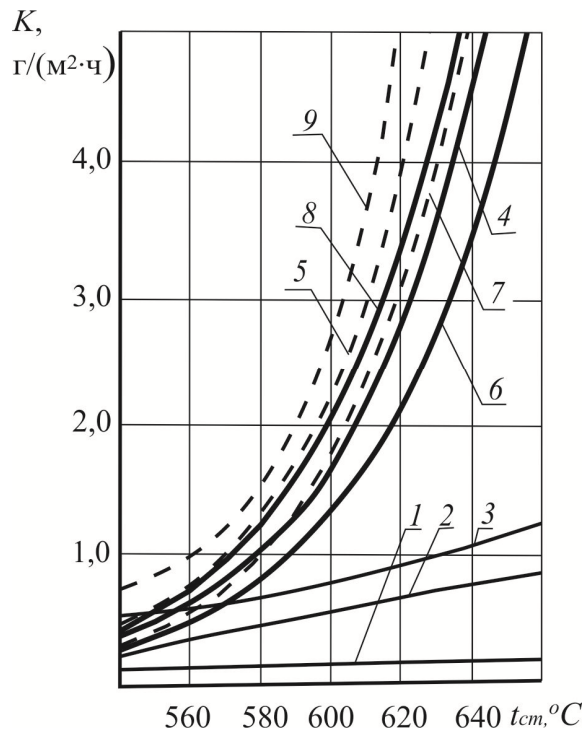
Диапазон изменения температуры металла $t_{\text{ст}}$ находился в пределах от 460 до 800°C . При обработке экспериментальных данных был использован тот же алгоритм анализа химико-физической и математической моделей развития ВТК, который был принят для стали 20.

Экспериментальные зависимости скорости ВТК от температуры поверхности металла $t_{\text{ст}}$, при сжигании мазута М40, при значениях α (1,01; 1,025; 1,05) (рис. 3а) предоставили возможность построить зависимости $K = f(\alpha)$ (рис. 3б) и после их обработки получить регрессионные уравнения, характеризующие развитие ВТК этой стали при разных $t_{\text{ст}}$ при увеличении коэффициента избытка воздуха α до 1,2 и до 3,0 (рис. 3б) при температурах $t_{\text{ст}}$ от 460°C до 700°C . Полученные экспериментальные данные при сжигании мазута М40, ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д) при $\alpha = 1,5$, которые являются контрольными точками, позволяют получить достоверные зависимости $K = f(\alpha)$ и их уравнения при изменении α от 1,2 до 1,5 и до 3,0. Это предоставило возможность построить расчетные зависимости $K = f(t_{\text{ст}})$ при сжигании мазута М40, ВМЭ (М40+ВВ) и ВМЭ (М40+Д) при α , равном 1,5 и 3,0 (рис. 3а) и сравнить их с кривыми зависимостей $K = f(t_{\text{ст}})$, построенными по экспериментальным данным при сжигании М40 и двух сортов ВМЭ.

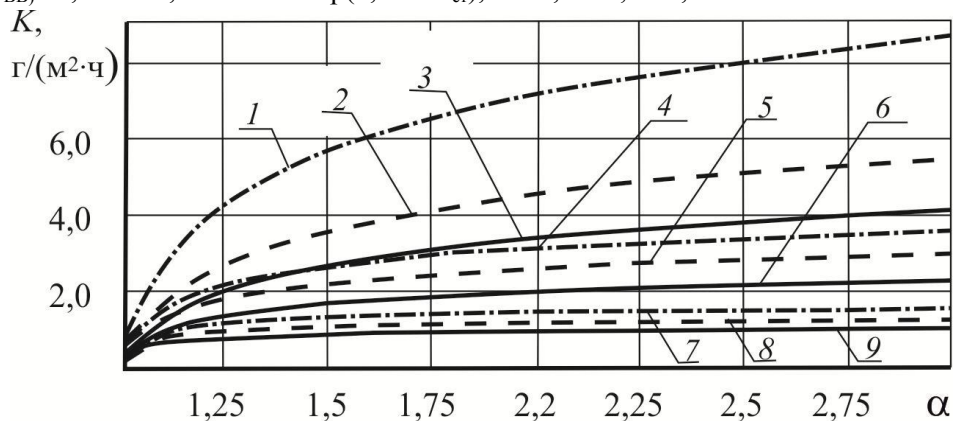
Анализ зависимостей $K = f(t_{\text{ст}})$ (рис. 3а) показывает, что и для этой стали необходимо рассматривать также три зоны $t_{\text{ст}}$, в которых действуют разные механизмы коррозионного процесса. В зоне $t_{\text{ст}}$ от 460°C до 550°C скорость ВТК при сжигании рассматриваемых сортов топлив меняется незначительно, что объясняется химическим механизмом развития коррозии, т.к. отложения сухие. Несмотря на незначительную скорость ВТК все же заметно, что при использовании обеих марок ВМЭ скорость ВТК ниже почти в 2 раза по сравнению с ВТК при сжигании мазута с тем же α , равном 1,5.

При $t_{\text{ст}}$ выше 550°C более заметным становится темп роста скорости ВТК особенно при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) с большим содержанием хлоридов. При $t_{\text{ст}} = 600^{\circ}\text{C}$ скорость ВТК, при сжигании ВМЭ (М40+ВВ), находится при $\tau = 100 \text{ часов}$ на уровне $2,0 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ($0,35 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000 \text{ часов}$), при сжигании М40 – на уровне $1,65 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ($0,28 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000 \text{ часов}$), а при сжигании ВМЭ (М40+Д) – на уровне $1,25 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ ($0,22 \text{ мм/год}$ при $\tau = 1000 \text{ часов}$), т.е. абсолютные значения скорости ВТК существенно ниже по сравнению с ВТК стали 20.

При $t_{\text{ст}}$ выше 620°C соотношения скоростей ВТК, для рассматриваемых режимов несколько иной, т.к. кривые зависимостей ВТК при сжигании ВМЭ (М40+ВВ) идут круче, по сравнению с зависимостью ВТК при сжигании М40 и ВМЭ (М40+Д). В пределах еще допустимых скоростей ВТК для стали X18H10T (при $t_{\text{ст}} = 630^{\circ}\text{C}$) при сжигании ВМЭ (М40+Д) скорость коррозии находится в допустимых пределах.



- а): 1 – $K_{M40} = 0,0957 + 8,1406 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(0,0114 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9911$; $\alpha = 1,01$;
 2 – $K_{M40} = 0,0649 + 0,0041 \cdot \exp(0,0080 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9850$; $\alpha = 1,025$;
 3 – $K_{M40} = 0,0559 + 0,0065 \cdot \exp(0,0079 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9826$; $\alpha = 1,05$;
 4 – $K_{M40} = 0,0230 + 4,4466 \cdot 10^{-7} \cdot \exp(0,0252 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9998$; $\alpha = 1,5$;
 5 – $K_{M40} = 0,1744 + 1,2255 \cdot 10^{-8} \cdot \exp(0,0315 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9999$; $\alpha = 3,0$;
 6 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 0,0216 + 5,5591 \cdot 10^{-7} \cdot \exp(0,0244 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9998$; $\alpha = 1,5$;
 7 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = -0,0785 + 2,7120 \cdot 10^{-7} \cdot \exp(0,0262 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9987$; $\alpha = 3,0$;
 8 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 0,0100 + 6,9363 \cdot 10^{-7} \cdot \exp(0,0248 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9998$; $\alpha = 1,5$;
 9 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 0,5417 + 4,7589 \cdot 10^{-11} \cdot \exp(0,0408 \cdot t_{ct})$, $R^2 = 0,9978$; $\alpha = 3,0$



- б): 1 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 7,0599 + 2,2500 \cdot \ln(\alpha - 0,9584)$, $t_{ct} = 630$ °C;
 2 – $K_{M40} = 4,4243 + 1,4100 \cdot \ln(\alpha - 0,9584)$, $t_{ct} = 630$ °C;
 3 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 3,3005 + 1,0517 \cdot \ln(\alpha - 0,9584)$, $t_{ct} = 630$ °C;
 4 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 3,0472 + 0,6840 \cdot \ln(\alpha - 0,9937)$, $t_{ct} = 610$ °C;
 5 – $K_{M40} = 2,5265 + 0,5671 \cdot \ln(\alpha - 0,9937)$, $t_{ct} = 610$ °C;
 6 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 1,9315 + 0,4335 \cdot \ln(\alpha - 0,9937)$, $t_{ct} = 610$ °C;
 7 – $K_{BMЭ (M40+BB)} = 1,3749 + 0,1834 \cdot \ln(\alpha - 1,0085)$, $t_{ct} = 580$ °C;
 8 – $K_{M40} = 1,1409 + 0,1522 \cdot \ln(\alpha - 1,0085)$, $t_{ct} = 580$ °C;
 9 – $K_{BMЭ (M40+Д)} = 0,8908 + 0,1188 \cdot \ln(\alpha - 1,0085)$, $t_{ct} = 580$ °C

Рисунок 3 – Зависимости скорости высокотемпературной коррозии стали X18H10T:

а) от температуры наружной поверхности металла t_{ct} ; б) от коэффициента избытка воздуха α

Таким образом, с увеличением солесодержания ВМЭ, т.е. с появлением хлора в составе золы ВМЭ, наблюдается понижение температуры плавления отложений и поэтому более «круто» идут зависимости $K = f(t_{\text{ст}})$, начиная с более низких $t_{\text{ст}}$ (такое же явление наблюдается и при сжигании хлорсодержащих топлив – сланцев, ТБО [1, 14]).

Корректность полученных регрессионных уравнений для зависимостей $K = f(\alpha)$ оценивалась путем сравнения с данными других авторов [1, 2, 3, 4, 11, 14, 15]. Представленные в [15] значения скорости ВТК стали X18H10T при $t_{\text{ст}} = 600^{\circ}\text{C}$, и $\alpha = 1,025 \dots 1,03$, и при $t_{\text{ст}} = 600^{\circ}\text{C}$ с $\alpha = 1,2$ [1] имеют расхождение с нашими данными около 6 %. Указанные сравнения подтверждают достоверность полученных экспериментальных данных по интенсивности ВТК при сжигании, как мазута, так и ВМЭ.

Представляет интерес применение режима сжигания ВМЭ (М40+Д) в котлах при более низком избытке воздуха α , т.к. появляется возможность существенного снижения скорости ВТК (рис. 2б и 3б). Если же применить дополнительно при приготовлении ВМЭ, например водорастворимую присадку Mn (по данным [15]), то скорость ВТК удастся существенно снизить при более высоких температурах металла (рис. 3а) и более высоких α .

При $\alpha = 3,0$, т.е. при сжигании топлив в ДВС, значения $t_{\text{ст}}$ при одинаковых допустимых скоростях ВТК уменьшаются на $10 \dots 15^{\circ}\text{C}$ для обеих марок сталей.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования, анализ результатов и сопоставление с данными других авторов позволили сформулировать следующие выводы.

1. Прибавка хлоридов с водой выше определенного количества к натрийванадатам мазута при использовании ВМЭ приводит к интенсификации ВТК.

2. При температурах стенки до начала размягчения загрязнений скорость ВТК при сжигании ВМЭ ниже, чем при сжигании мазута.

3. При температурах стенки, при которых наблюдается расплавление загрязнений, с увеличением содержания хлора, привнесенного с водой ВМЭ, скорость ВТК при солесодержании ВМЭ на уровне 490 мг/л существенно выше по сравнению с режимом сжигания мазута и особенно ВМЭ с солесодержанием 16,8 мг/л, для которой использован дистиллят с солесодержанием 50 мг/л.

4. Проведенные исследования следует рассматривать как основание для определения допустимого солесодержания воды, применяемой для приготовления ВМЭ, при сжигании которой обеспечивается приемлемая скорость ВТК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отс А. А. Коррозия и износ поверхностей нагрева котлов / А. А. Отс. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 272 с.
2. Магадеев В. Ш. Коррозия газового тракта котельных установок / В. Ш. Магадеев. – М. : Энергоиздат, 1986. – 272 с.
3. Синайский Н. А. Использование метода тяжелой кавитации для сжигания мазута и эмульсии / Н. А. Синайский, Т. А. Гошей // Теплоэнергетика, – 2003. – № 5. – С. 76–81.
4. Внуков А. К. Надежность и экономичность котлов для газа и мазута / А. К. Внуков. – М. – Л. : Энергия, 1966. – 368 с.
5. Геллер З. И. Мазут как топливо / З. И. Геллер. – М. : Недра, 1965. – 495 с.
6. Горячкін А. В. Підвищення ефективності суднових котлів при спалюванні водопаливних емульсій : автореф. дис. канд. техн. наук / А. В. Горячкін. – Миколаїв : НУК, 2007. – 24 с.
7. Пат. Україна, UA 99408 C2. Спосіб захисту металу низькотемпературних поверхонь нагріву котла від сірчаноокислої корозії. / В. Ю. Горячкін, А. В. Горячкін, О. В. Акімов, В. О. Іутинський, В. С. Корнієнко. – № UA 99408 C2: заявл. 23.08.2011; опубл. 10.08. 2012, Бюл. № 15.

8. Горбов В. М. Исследование интенсивности коррозионных процессов при сжигании водомазутных эмульсий / В. М. Горбов, А. В. Горячкин // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – № 5 (391). – С. 87–95.
9. Якубовский Ю. В. Эксплуатация производственных котлов КВГ-34К на водотопливной эмульсии / Ю. В. Якубовский, В. М. Суменков, Ю. С. Селезнев [и др.] // Рыбное хозяйство. – 1991. – № 3. – С. 57–60.
10. Крыштын Л. К. Утилизация нефтяных остатков на морских судах / Л. К. Крыштын, И. П. Решетников // Экономия топлива и электроэнергии : темат. вып. – М. : Транспорт, 1989. – 95 с.
11. Рабинович Д. И. Исследование коррозии при сжигании сернистых мазутов с малыми избытками воздуха / Д. И. Рабинович, В. Ю. Горячкин // Электрические станции. – 1970. – № 6. – С. 21–24.
12. Скорчеллетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов. / В. В. Скорчеллетти. – Л. : Химия, 1973. – 264 с.
13. Томашов Н. Д. Пассивность и защита металлов от коррозии / Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 208 с.
14. Зеликов Е. Н. Загрязнение и коррозия пароперегревателей котлов на ТЭС, сжигающих твердые бытовые отходы и биомассу / [Е. Н. Зеликов, Г. А. Рябов, Э. П. Дик и др.] // Теплоэнергетика. – 2008. – № 11. – С. 73–77.
15. Чмовж В. Е. Исследование влияния водорастворимой присадки ВТИ-7 к мазуту на процессы коррозии и загрязнения поверхностей нагрева котла / [В. Е. Чмовж, Р. А. Петросян, Р. А. Липштейн и др.] // Теплоэнергетика. – 1974. – № 1. – С. 73–77.

REFERENCES

1. Ots, A.A. *Korrozija i iznos poverhnostej nagreva kotlov* [Corrosion and wear of surfaces of heating of coppers of] / A.A. Ots. – M.: Jenergoatomizdat, 1987. – 272 s.
2. Magadeev, V.Sh. *Korrozija gazovogo trakta kotel'nyh ustanovok* [Corrosion of a gas path of boiler installations] / V.Sh. Magadeev. – M.: Jenergoizdat, 1986. – 272 s.
3. Sinajskij H.A. *Ispol'zovanie metoda tjazhelej kavitacii dlja szhiganiya mazuta i orjemul'sii* [Use of a method of heavy cavitation for burning of fuel oil and oremlsiya] / N.A. Sinajskij, T.A. Goshej // Teplojenergetika, – 2003, №5. – S. 76–81.
4. Vnukov, A.K. *Nadezhnost' i jekonomichnost' kotlov dlja gaza i mazuta* [Nadezhnost and profitability of coppers for gas and fuel oil] / A.K. Vnukov. – M. – L.: Jenergija, 1966. – 368 s.
5. Geller, Z.I. *Mazut kak toplivo* [Fuel oil as fuel] / Z.I. Geller. – M.: Nedra, 1965. – 495 s.
6. Gorjachkin, A.V. *Pidvishhennja effektivnosti sudnovih kotliv pri spaljuvanni vodopalivnih emul'sij* [Increase of efficiency of ship coppers when burning water fuel emulsions] / A.V. Gorjachkin; avtoref. dis. kand. tehn. nauk. – Mikolaïv: NUK, 2007. – 24 s.
7. Pat. Ukraïna, UA 99408 C2. *Cposib zahistu metalu niz'kotemperaturnih poverhon' nagrivu kotla vid sirchanokislотної korozii*. [Way of protection of metal of low-temperature surfaces of heating of a copper from vitriolic corrosion] / V.Ju. Gorjachkin, A.V. Gorjachkin, O.V. Akimov, V.O. Iutins'kij, V.S. Kornienko. – № UA 99408 C2: zayavl. 23.08.2011: opubl. 10.08. 2012, Bjul. № 15.
8. Gorbov V.M.. *Issledovanie intensivnosti korrozionnyh processov pri szhiganiï vodomazutnyh jemul'sij* [Research of intensity of corrosion processes when burning water black oil emulsions] / V.M. Gorbov, A.V. Gorjachkin // Zb. nauk. prac' UDMTU. – Mikolaïv: UDMTU, 2003. – №5(391). – S. 87–95.
9. Jakubovskij Ju.V. *Jekspluatacija proizvodstvennyh kotlov KVG-34K na vodotoplivnoj jemul'sii* [Operation of production coppers of KVG-34K on a water fuel emulsion] / Ju.V. Jakubovskij, V.M. Sumenkov, Ju.S. Seleznev [i dr.] // Rybnoe hozjajstvo. – 1991. – № 3. – S. 57–60.

10. Kryshytyn L.K. *Utilizacija neftjanyh ostatkov na morskikh sudah* [Utilization of oil residues on sea vessels] / L.K. Kryshytyn, I.P. Reshetnikov // – Temat. vyp. «Jekonomija topliva i jelektrojenergii». – M.: Transport, 1989. – 95 s.
11. Rabinovich D.I. *Issledovanie korrozii pri szhiganii sernistyh mazutov s malymi izbytkami vozduha* [Research of corrosion when burning sulphurous fuel oil with small excess of air] / D.I. Rabinovich, V.Ju. Gorjachkin // *Jelektricheskie stancii*. – 1970. – №6. – S. 21–24.
12. Skorшелletti V.V. *Teoreticheskie osnovy korrozii metallov*. [Theoretical bases of corrosion of metals.] / V.V. Skorшелletti – L.: Himija, –1973. – 264 s.
13. Tomashov N.D. *Passivnost' i zashhita metallov ot korrozii* [Passivity and protection of metals against corrosion] / N.D. Tomashov, G.P. Chernova. – M.: Nauka, 1965. – 208 s.
14. Zelikov E.N. *Zagrjaznenie i korrozija paroperegrevatelej kotlov na TJeS, szhigajushhih tverdye bytovye othody i biomassu* [Pollution and corrosion of boiler superheaters of coppers on the thermal power plants burning municipal solid waste and biomass] / E.N. Zelikov, G.A. Rjabov, Je.P. Dik [i dr.] // *Teplojenergetika*. – 2008. – №11. – S. 73–77.
15. Chmovzh V.E. *Issledovanie vlijanija vodorastvorimoj prisadki VTI-7 k mazutu na processy korrozii i zagrjaznenija poverhnostej nagreva kotla* [Research of influence of the water-soluble additive VTI-7 to fuel oil on processes of corrosion and pollution of surfaces of heating of a copper] / V.E. Chmovzh, R.A. Petrosjan, R.A. Lipshtejn [i dr.] // *Teplojenergetika*. – 1974. – №1. – S. 73– 77.

Філіпчук О. М. ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНА КОРРОЗІЯ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОМАЗУТНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

Одержання на основі експериментальних досліджень кількісних даних про вплив мінеральної частини палива й води водомазутної емульсії (ВМЕ), температури поверхні металу t_{cm} і надлишку повітря α при горінні на інтенсивність високотемпературної корозії (ВТК) і визначення припустимого рівня солевмісту ВМЕ.

Дослідження інтенсивності ВТК проведені на експериментальній установці при спалюванні ВМЕ з водовмістом $W^* = 30\%$ на основі мазуту М40, при надлишку повітря $\alpha=1,5$. Підготовка емульсії здійснювалася з використанням водопровідної води із солевмістом 1482 мг/л (після хлорування), що визначило солевміст ВМЕ на рівні 490 мг/л, і дистилату, із солевмістом 50 мг/л, що визначило солевміст ВМЕ рівний 16,9 мг/л. Представлені результати експериментальних та аналітичних досліджень високотемпературної корозії сталей 20 і Х18Н10Т при спалюванні водомазутної емульсії, при надлишках повітря до 3,0. Показано, що при використанні ВМЕ із солевмістом до 180 мг/л швидкість високотемпературної корозії сталей 20 і Х18Н10Т нижче припустимого значення 0,25 мм/рік.

Проведені експериментальні дослідження, аналіз їх результатів і зіставлення з даними інших авторів дозволили сформулювати наступні висновки: додавання хлоридів із водою (вище певної концентрації) до натрійванадатів мазуту при використанні ВМЕ приводить до інтенсифікації ВТК; при температурах стінки, при яких спостерігається розплавлення забруднень, зі збільшенням вмісту хлору, привнесеного з водою ВМЕ, швидкість ВТК при солевмісті ВМЕ на рівні 490 мг/л істотно вище в порівнянні з режимом спалювання мазуту й особливо ВМЕ з солевмістом 16,9 мг/л.

Ключові слова: високотемпературна корозія, кінетика, натрійванадати, хлор, мазут, водомазутна емульсія, солевміст.

Filipshchuk A. N. HIGH TEMPERATURE CORROSION WHEN BURNING WATER-OIL

Receiving on the basis of pilot studies of quantitative data on influence of mineral part of fuel and water of a water black oil emulsion (WOE), temperature of a surface of metal t_{cm} and excess of air α when burning on intensity high-temperature corrosion (HTC) and determination of admissible level of salinity of HTC.

Research of intensity of HTC are carried out on experimental installation when burning WOE with water content of $W^ = 30\%$ on the basis of M40 fuel oil at excess of air $\alpha=1,5$. Preparation of an emulsion was carried out with use of tap water with salinity of 1482 mg/l (after chlorination) that defined salinity of WOE at the level of 490 mg/l, and distillate, with salinity of 50 mg/l that defined salinity of WOE of equal 16,9 mg/l. Results of pilot and analytical studies of high-temperature corrosion steel 20 and Cr18Ni10T are presented when burning a water black oil emulsion at excess of air to 3,0. It is shown that when using WOE with salinity to 180 mg/l the speed of high-temperature corrosion of steel 20 and Cr18Ni10T below admissible value of 0,25 mm/year.*

The conducted pilot studies, the analysis of their results and comparison to data of other authors allowed to formulate the following conclusions: the increase of chlorides with water (above a certain concentration) to fuel oil natriyvanadata when using WOE leads to HTC intensification; at wall temperatures at which fusion of pollution is observed, with increase in the content of the chlorine introduced with WOE water, HTC speed at salinity of WOE at the level of 490 mg/l is significantly higher in comparison with the mode of burning of fuel oil and especially than WOE with salinity of 16,9 mg/l.

Keywords: *high-temperature corrosion, kinetics, natriyvanadata, chlorine, fuel oil, water black oil emulsion, salinity.*

© Філіпчук О. М.

Статтю прийнято
до редакції 12.05.16

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ СБРОСНОГО ТЕПЛА

Чередниченко А. К., к.т.н, доц., доцент кафедры судовых и стационарных энергетических установок Национального университета кораблестроения имени адмирала С. О. Макарова (г. Николаев), E-mail: cherednichenko.aleksandr65@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8746-9132

В данной статье обсуждаются методологические аспекты экспериментальных исследований при оценке эффективности применения термохимической регенерации сбросного тепла в энергетических комплексах. Основной целью данной работы является разработка методологии комплексного экспериментального исследования параметров и показателей энергетических установок при проверке адекватности разработанных математических моделей. В статье обобщены задачи и сформулированы этапы комплексного экспериментального исследования параметров энергетической установки. Предложено применить принцип многоуровневой декомпозиции в сочетании с инкапсуляцией при экспериментальном исследовании. Приведен пример реализации данного принципа при экспериментальном исследовании характеристик комбинированной дизель-газотурбинной установки с термохимической регенерацией сбросного тепла. Даны характеристики экспериментальных стендов и компьютеризованной системы измерений параметров.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, критерий, газотурбинный двигатель, термохимическая регенерация тепла, декомпозиция, инкапсуляция.

Постановка проблемы. Ужесточение требований Международных конвенций по ограничению загрязнения окружающей среды и необходимость рационального потребления углеводородных энергоресурсов требуют создания принципиально новых энергетических установок для офшорных объектов добычи, накопления и переработки ископаемых углеводородов, а также энергетических установок морских судов.

В работе [1] на основе анализа развития судовой энергетики сформулированы основные критерии комплектации судовой энергетической установки. Применяв данный подход к анализу и выявлению рационального состава энергетической установки, объединив ряд критериев [2], можно сгруппировать их по принципам максимизации и минимизации показателей (рис. 1).

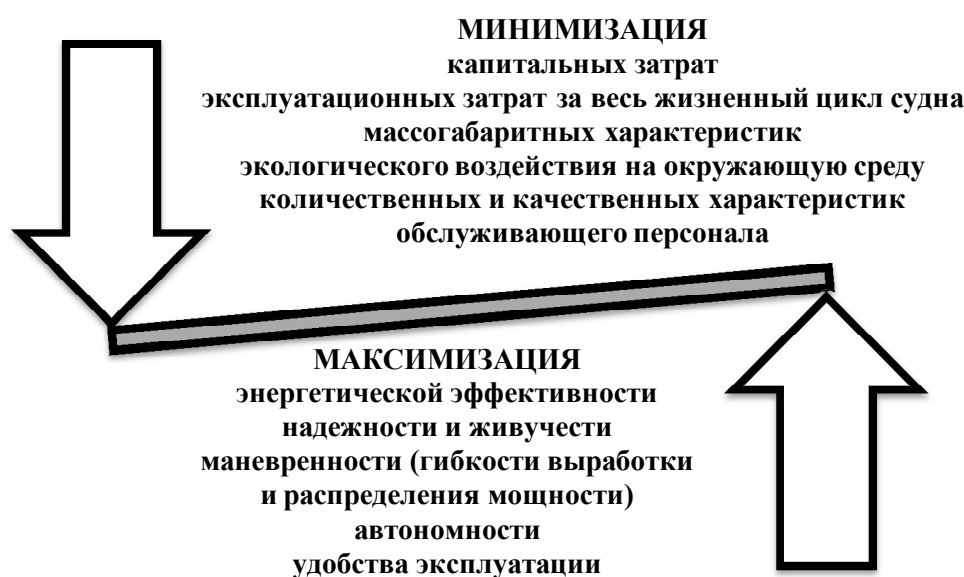


Рисунок 1 – Основные критерии выбора состава судовой энергетической установки

Разнообразие требований, часть из которых может противоречить друг другу, приводит к необходимости определить значимость критериев и выделить группы «определяющих» критериев в зависимости от целевой функции судна. Для оценки эффективности пропульсивного комплекса судна с учетом экологического воздействия энергетической установки на окружающую среду IMO, в соответствующих резолюциях, указывает на необходимость при проектировании использовать конструктивный индекс энергетической эффективности судна *EEDI (Energy Efficiency Design Index)* [3]. В работе [4] автором предложена иерархия групп критериев, согласно которой для газовоза, предназначенного для перевозки сжиженного природного газа (LNG - Liquefied Natural Gas), приоритетность отдается критериям обеспечения эксплуатационной работоспособности в условиях воздействия внешних и внутренних источников.

Анализ исследований и публикаций. В результате анализа характеристик альтернативных энергетических установок объектов океанотехники и морских судов выявлено, что перспективным вариантом являются энергокомплексы на базе комбинированных установок с термохимической регенерацией [5]. Эффективность таких установок исследована в Центре Перспективных Энергетических Технологий научно-исследовательского института «Энергетики и машиностроения» Национального университета кораблестроения имени адм. Макарова (ЦПЭТ НИИЭМ НУК) методами математического моделирования. Многовариантность схемных решений потребовала выявления взаимосвязей элементов энергокомплекса методами системного анализа. В процессе исследования рассмотрено четыре иерархических уровня: комплекс в целом, подсистемы комплекса, группа оборудования подсистем, оборудование входящие в группы.

Цель работы. Проведенные теоретические исследования показывают эффективность и перспективность термохимической регенерации тепла (ТХР) как в тепловых двигателях, так и в энергокомплексах объектов океанотехники и морского транспорта. Проверка адекватности разработанных математических моделей потребовала разработки методологии комплексного экспериментального исследования параметров и показателей эффективности энергетических установок с термохимической регенерацией сбросного тепла.

Изложение основного материала. В ЦПЭТ НИИЭМ НУК под руководством проф. М. Р. Ткача и проф. Б. Г. Тимошевского создана экспериментальная база для проведения исследований элементов энергетических установок на базе альтернативных топливно-энергетических ресурсов [6]. В течении ряда лет проводится большой объем экспериментов, направленных на изучение характеристик работы тепловых двигателей на альтернативных топливах [7, 8, 9].

Накоплен большой опыт проведения экспериментальных исследований, который позволил обобщить задачи и сформулировать этапы комплексного экспериментального исследования параметров и показателей эффективности энергетических установок с термохимической регенерацией сбросного тепла.

Применение основных положений системного подхода при формулировке этапов комплексного экспериментального исследования позволило выявить основные обязательные компоненты. К ним отнесены: планирование эксперимента; учет влияния параметров и случайных воздействий окружающей среды; оценка результатов с учетом ошибок и выявление их совокупного влияния; верификация результатов, оценка их приемлемости; обработка полученных данных, систематизация и представление их в упорядоченном виде.

Основные задачи экспериментальных исследований сведены к следующему:

- разработка и создание экспериментальных стендов для исследования показателей и параметров элементов энергоустановок с ТХР;
- разработка и создание экспериментальных стендов для исследования показателей и параметров тепловых двигателей, работающих на продуктах термохимической конверсии углеводородных топлив;

- создание системы измерения и регистрации параметров экспериментальных стендов и программного обеспечения по их обработке и анализу;
- демонстрация принципиальных технологических и конструктивных решений;
- определение рациональных диапазонов режимных параметров циклов;
- разработка технологических решений и выбор рациональных схем аппаратного оформления элементов энергокомплексов с ТХР;
- исследование показателей рабочего процесса, энергетических характеристик и показателей работоспособности тепловых двигателей при использовании продуктов конверсии углеводородных топлив;
- создание системы измерения и регистрации параметров экспериментальных стендов и программного обеспечения по их обработке и анализу;
- выявление взаимосвязи параметров элементов энергокомплекса с ТХР.

С учетом основных задач экспериментальных исследований могут быть сформулированы следующие укрупненные этапы:

- разработка программ испытаний с учетом особенностей различных этапов экспериментальных исследований;
- выбор методов и средств измерения, позволяющих обеспечить:
- необходимую точность отслеживания и регистрации параметров;
- воспроизводимость результатов исследований;
- тарировка средств измерения, с учетом их работы в составе системы измерения и регистрации параметров;
- проведение экспериментальных исследований;
- анализ экспериментальных данных и обработка полученных результатов;
- проверка сходимости результатов математического моделирования и экспериментальных исследований.

Характер измерений, необходимых при проведении экспериментальных исследований предусматривает ряд особенностей, что оказывает существенное влияние на выбор элементной базы системы измерения и регистрации параметров. К таким факторам могут быть отнесены: необходимость контроля и фиксации величин различной физической природы, необходимость измерения квазистационарных и нестационарных величин, необходимость измерения характеристик как на стационарных, так и нестационарных режимах работы оборудования, выявление случайной составляющей результатов многократным дублированием измерений. Разработанная в ЦПЭТ НИИЭМ НУК компьютеризованная система измерений параметров предусматривает измерение следующих физических характеристик, с использованием следующих датчиков и преобразователей сигналов:

- температура – термоэлектрическими преобразователями;
- давление – тензорезистивными преобразователями;
- вес – датчиками силы;
- масса - электронными цифровыми весами;
- силы постоянного и переменного тока – датчиками тока на основе эффекта Холла;
- напряжения постоянного и переменного тока – измерительными преобразователями;
- объемный расход жидкости – преобразователями расхода турбинного типа;
- объемный расход газообразной среды – по перепаду давления на расходомерном устройстве, а также мембранным расходомером;
- состав синтез-газа – хроматографом NeoCHROM Class B.

Параллельный контроль параметров осуществлен штатными и дополнительными индивидуальными механическими приборами:

- частота вращения коленчатого вала двигателя – по тахометру и образцовому цифровому частотомеру;
- величины давления охлаждающей воды, циркуляционного масла, топлива и воздуха – штатными манометрами и дополнительными образцовыми манометрами;
- напряжение генератора и сила тока в цепи – цифровыми вольтметрами и амперметрами.

При современных объектно-ориентированных подходах к проектированию сложных технических систем [10, 11] предполагается две стратегии рассмотрения предмета проектирования: декомпозиция и инкапсуляция (рис. 2).

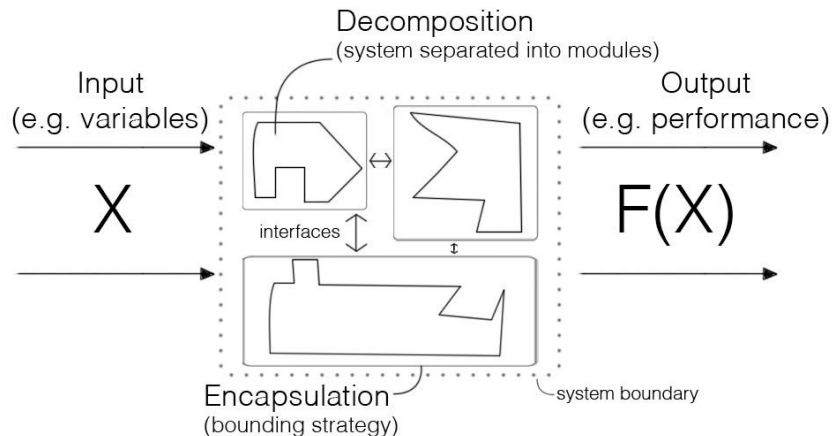


Рисунок 2 – Декомпозиция и инкапсуляция как стратегии проектирования сложных технических систем [10]

Используя известный из теории сложных технических систем принцип многоуровневой декомпозиции, решение сложной технической задачи можно заменить решением серии меньших задач. Адаптировав данный принцип к экспериментальному исследованию можно применить одну из существующих стратегий декомпозиции. Наиболее близкой является функциональная декомпозиция, которая предусматривает, что основой разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых группами элементов. Одновременно для функциональной подсистемы может быть применен принцип декапсуляции, предусматривающий рассмотрение подсистемы, на уровне системы как «черного ящика», обменивающегося с системой входными и выходными физическими и информационными потоками.

В качестве примера реализации данного метода рассмотрим задачу экспериментального исследования комбинированной дизель-газотурбинной энергетической установки газозавода LNG с термохимической регенерацией тепла отходящих газов газотурбинного двигателя (ДГТУ с ТХР).

В разработанной математической модели энергокомплекс представлен в виде совокупности подсистем [5]:

- энергетической подсистемы, в которой химическая энергия топлива преобразуется в механическую, электрическую и тепловую энергию;
- подсистемы утилизации тепла, предназначенная для преобразования сбросной теплоты энергетической подсистемы в механическую, электрическую и тепловую виды энергии;
- технологической подсистемы конверсии топлива.

При совмещении принципов стратегии функциональной декомпозиции с инкапсуляцией подсистем, установка может быть представлена в виде системы из трех функционально взаимосвязанных экспериментальных стендов (рис. 3). Инкапсуляция предусматривает, что связь между элементами подсистем осуществляется потоками энергоносителей (теплоносителей и рабочих тел циклов), посредством которых осуществляются процессы энергетического взаимодействия между подсистемами

и в целом, в энергокомплексе [12].

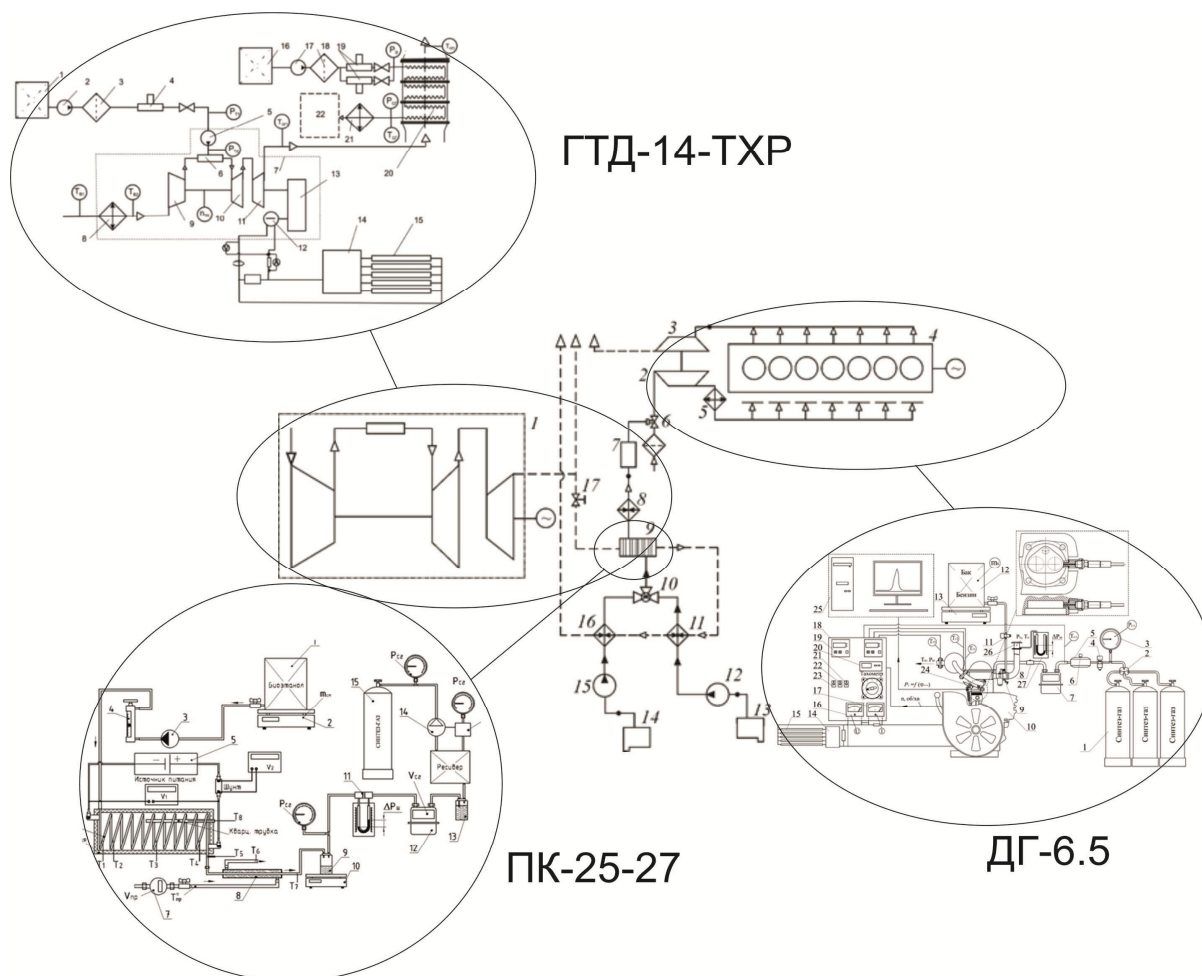


Рисунок 3 – Пример совмещения принципов стратегии функциональной декомпозиции с инкапсуляцией подсистем при экспериментальном исследовании характеристик ДГТУ с ТХР

Стенд паровой конверсии ПК 25-27, предназначен для определения влияния основных параметров процесса ТХР и геометрических характеристик реактора на показатели процесса конверсии углеводородного топлива.

Особенности работы дизельного двигателя при работе на топливе с добавками синтез-газа и водорода исследованы на экспериментальной установке ДГ 6,5.

Экспериментальная установка ГТД-14-ТХР предназначена для исследования процессов термохимической конверсии углеводородного топлива вторичными ресурсами ГТД.

Выводы.

1. Современные объектно-ориентированные подходы к проектированию предполагают совмещение принципов стратегии функциональной декомпозиции с инкапсуляцией подсистем при теоретических и экспериментальных исследованиях сложных технических систем.

2. Представленная методология экспериментальных исследований позволяет адаптировать имеющуюся экспериментальную базу взаимосвязанных стендов для верификации математических моделей и экспериментальной проверки положения гипотез, положенных в основу научного исследования, направленного на разработку научно-технических основ создания высокоэффективных энергетических комплексов объектов океанотехники и морских судов применением технологии термохимической регенерации тепла вторичных энергоресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильмияров Е. Б. Многокритериальный подход к выбору судовой энергетической установки / Е. Б. Гильмияров, В. В. Цветков // Вестник МГТУ. – 2006. – Том 9. – № 3. – С. 502–513.
2. Чередниченко А. К. Критерии выбора состава установки мобильного энергокомплекса / А. К. Чередниченко // MOTROL. – Lublin - 2010. – Vol 12A. – P. 7–14.
3. Energy Efficiency related Rules and Regulations – EEDI and Ship Design. EEDI and other EEE Rules and Regulations [Электронный ресурс] / Mia Elg. – 2014. – 55 с. – Режим доступа: URL: http://laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Deltamarin_Elg_EE_Rules_and_Regulations_-_EEDI.pdf
4. Чередниченко А. К. Комплексное исследование эффективности судовых энергетических установок газозовов LNG с термохимической регенерацией тепла [Электронный ресурс] / А. К. Чередниченко // Проблемы екології та енергозбереження в суднобудуванні : IX Міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп. – Режим доступу : conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/36342.pdf
5. Cherednichenko O. Analysis of efficiency of diesel-gas turbine power plant with thermochemical heat recovery / O. Cherednichenko // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agrocluture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – vol. 17, № 2. – P. 25–28
6. Тимошевский Б. Г. Моторные топлива для полимерного сырья: производство и применение / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач – К. : День печати. - 290 с.
7. Тимошевский Б. Г. Экспериментальное исследование особенностей работы искрового ДВС с системой термохимической паровой конверсии биоэтанола / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов [и др.] // Motrol. – 2013. – Vol. 15, nr 2. – С. 157–163.
8. Тимошевский Б. Г. Эффективность термохимической конверсии углеводородных топлив применяемых в ДВС / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин // Вісник НУК. – 2011. – № 3. – С. 36–42.
9. Тимошевский Б. Г. Експериментальне дослідження параметрів поршневого ДВЗ із системою термохімічної конверсії біоетанолу / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // Двигатели внутреннего сгорания : Всеукраинский научно-технический журнал. – 2011. – № 2. – С. 3–8.
10. Gaspar H. M., Ross A., Rhodes D.H., Erikstad S. O., Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design. Int'l Maritime Design Conference, Glasgow, UK, June 2012.
11. Erikstad, S.O., Solem S., Fagerholt K., «A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels» Ship Technology Research, vol 58, no 3, september 2011, pp 132-141.
12. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация тепло-энергетических установок / Л. С. Попырин. – М. : Энергия, 1978. – 415 с.

REFERENCES

1. Gilmiyarov, E. B. (2006). Mnogokriterialnyiyy podhod k vyboru sudovoy energeticheskoy ustanovki. *Vestnik MGTU*, 3, 502-513.
2. Cherednichenko, A. K. (2010). Kriterii vyibora sostava ustanovki mobilnogo energokompleksa. *MOTROL*, 12A, 7-14
3. Energy Efficiency related Rules and Regulations – EEDI and Ship Design. EEDI and other EEE Rules and Regulations (2014). laradi.fi. Retrieved from http://laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Deltamarin_Elg_EE_Rules_and_Regulations_-_EEDI.pdf
4. Cherednichenko, A. K. (2016). Kompleksnoe issledovanie effektivnosti sudovyih energeticheskikh ustanovok gazovozov LNG s termohimicheskoy regeneratsiey tepla. *Problemi ekologii ta energozberezhennya v sudnobuduvanni* . IX Mizhnarodna nauk.-tech. konf. www.nuos.edu.ua Retrieved from conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/36342.pdf
5. Cherednichenko, O. (2015). Analysis of efficiency of diesel-gas turbine power plant with thermochemical heat recovery. *MOTROL*, vol. 17, 25–28

6. Timoshevskij, B.G., Tkach, M.R. (2011). *Motornye topliva iz polimernogo syr'ja : proizvodstvo i primeneniye*. Kiev. Den' pechati.
7. Timoshevskij, B.G., Tkach, M.R., Mitrofanov O.S. (2013). Eksperimentalnoe issledovanie osobennostey raboty iskrovogo DVS s sistemoy termohimicheskoy parovoy konversii bioetanola. *MOTROL*, vol. 15, 157–163
8. Timoshevskij, B.G., Tkach, M.R., Proskurin A.Y. (2011). Effektivnost termohimicheskoy konversii uglevodorodnykh topliv primenyaemykh v DVS. *Visnik NUK*, 3, 36–42.
9. Timoshevskij, B.G., Tkach, M.R., Mitrofanov O.S. (2011). Eksperymentalne doslidzhennia parametriv porshnevoho DVZ iz systemoiu termokhimichnoi konversii bioetanolu. *DVS*, 2, 3–8.
10. Gaspar H. M., Ross A., Rhodes D.H., Erikstad S. O. (2012). Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design. *Int'l Maritime Design Conference, Glasgow, UK, June*.
11. Erikstad, S.O., Solem, S., Fagerholt, K. (2011). A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels. *Ship Technology Research*, vol 58, 132–141.
12. Popyrin L. S. (1978). *Matematicheskoe modelirovaniye i optimizatsiya teplo-energeticheskikh ustanovok*. Moskva : Energiya.

Чередниченко О. К. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ІЗ ТЕРМОХІМІЧНОЮ РЕГЕНЕРАЦІЄЮ СКІДНОГО ТЕПЛА

У даній статті обговорюються методологічні аспекти експериментальних досліджень при оцінці ефективності застосування термохімічної регенерації скідного тепла в енергетичних комплексах. Основною метою даної роботи є розробка методології комплексного експериментального дослідження параметрів і показників енергетичних установок при перевірці адекватності розроблених математичних моделей. У статті узагальнені завдання та сформульовані етапи комплексного експериментального дослідження параметрів енергетичної установки. Запропоновано застосувати принцип багаторівневої декомпозиції у сполученні з інкапсуляцією при експериментальному дослідженні. Наведено приклад реалізації даного принципу при експериментальному дослідженні характеристик комбінованої дизель-газотурбінної установки з термохімічною регенерацією скідного тепла. Дано характеристики експериментальних стендів і комп'ютеризованої системи вимірювань параметрів.

Ключові слова: експериментальне дослідження, критерій, газотурбінний двигун, термохімічна регенерація тепла, декомпозиція, інкапсуляція.

Cherednichenko A. K. METHODOLOGICAL SUPPORT FOR RESEARCH OF THERMOCHEMICAL HEAT RECOVERY POWER PLANT ELEMENTS

This article discusses the methodological aspects of experimental research in the evaluation of the effectiveness of the thermochemical regeneration of waste heat in power plants. The main purpose of this work is to develop a methodology for comprehensive experimental study of the parameters and indicators of power plants while checking the adequacy of the developed mathematical models. The article summarizes the problem and formulated the complex stages of an experimental study of the parameters of the power plant. It is proposed to apply the principle of multilevel decomposition in combination with encapsulation in an experimental study. This article consist the example of the implementation of the principle characteristics of the experimental study of combined diesel-gas turbine plant with a thermochemical regeneration of waste heat, characteristics of experimental facilities and a computerized measurement system.

Keywords: experimental research, a criterion, a gas turbine engine, thermochemical heat recovery, decomposition, encapsulation/

© Чередниченко О. К.

Статтю прийнято
до редакції 12.05.16

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

АЛГОРИТМІЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СЦЕНАРІЇВ ГІС РЕАЛЬНОГО ЧАСУ У WEB-СЕРЕДОВИЩІ

Васюхін М. І., *д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), E-mail: vasgeovideo@i.ua;*

Сініцин О. В., *аспірант Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (м. Київ), E-mail: nni.elektrik@gmail.com;*

Іваник Ю. Ю., *к.т.н., асистент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), E-mail: ivanik10@mail.ru*

Проаналізовано існуючі методи лінійного переміщення та повороту на заданий кут складного символу рухомого об'єкта. Запропоновано спосіб генерації комбінованого лінійно-обертального переміщення складного символу об'єкта у WEB-середовищі.

Ключові слова: динамічний сценарій, лінійно-обертальне переміщення, складний символ об'єкта, web-середовище, html, css, теґ, селектор, браузер.

Вступ. Глобальна мережа Інтернет широко інтегрувалася в усі сфери діяльності та виробництва, значно спрощуючи процес обміну й аналізу інформації, що відбувається в режимі реального часу. Саме тому, для формування та відображення динамічних сценаріїв на екрані оператора пропонується реалізувати в Web-середовищі, яке значно спрощує роботу з великими обсягами графічних даних.

На сьогодні використання навігаційних геоінформаційних систем широко розповсюдилось у таких сферах діяльності людини як: виробництво, системи безпеки, навчальні системи, перевезення вантажів та пасажирів тощо. Такі системи забезпечують відображення на екрані оператора інформації про точне місцеположення рухомих об'єктів у вигляді динамічних сценаріїв у реальному часі.

Динамічна сцена поточної обстановки складається з двох принципових складових:

- тематичного картографічного фону, створеного з використанням даних дистанційного та наземного дослідження ділянок місцевості;
- системи формування та відображення переміщень складних символів об'єктів, що рухаються в навколосемному просторі, на картографічному фоні визначеної ділянки місцевості у реальному часі.

Існуючі методи генерації лінійного переміщення складного символу рухомого об'єкта, а також його повороту на певний кут розглядалися й описувались в роботах ряду вчених [1–5].

Проаналізувавши основні результати досліджень даної проблематики, у вищевказаних джерелах слід зазначити наступне – у роботі [1] досліджено програмно-апаратний метод швидкої реалізації плавного обертання, що забезпечив краще відображення еволюцій складних зображень символів, здійснюваних синхронно зі зміною орієнтації об'єктом, при розмірах базових матриць більше 24×24 . Даний метод отримав назву – метод базових матриць і генератор обертання символів, реалізований у вигляді геометричного процесора.

У роботі [2] запропоновано модифікувати алгоритм повороту складного символу, який реалізує метод базових матриць, передбачаючи зберігання символу в квадратній матриці пам'яті, складовою точковий мікроастр і має розмір більше 8×8 , причому в матриці промальовується контур цього символу, а всі точки, що лежать поза контуром мають прозорий колір. Основна ідея даного підходу полягає у використанні бази даних символів (БДС), яка зберігає їх азимутальні зображення, тобто заздалегідь створюються та зберігаються в пам'яті зображення для кожного символу об'єкта, повернені на всі кути,

визначені користувачем. Для забезпечення повороту на заданий кут з БДС вибирається необхідне зображення символу та передається на екран.

У роботі [3] було запропоновано комбінований програмно-апаратний метод представлення еволюцій складних просторових переміщень об'єктів, головна особливість якого полягає в тому, що в якості елементів пам'яті блоку базових матриць взяті бістабільні симетричні перемикачі з пам'яттю, які мають властивість зберігати свій стан пам'яті при відключенні живлячих напруг.

У роботі [4] описано метод базових азимутально-орієнтованих зображень растрового символу, який дозволяє отримати необхідну кількість азимутально – орієнтованих зображень складного з розширеною атрибутикою символу шляхом перетворення за запропонованими формулами мінімального числа його базових зображень, повернутих у межах 0° – 45° .

У роботі [5] – було запропоновано алгоритми лінійно-обертального переміщення складного символу об'єкта, представленого, як у растровому, так і у векторному форматах. Для лінійного переміщення та повороту на певний кут досліджуються двовимірні афінні перетворення. Для повороту растрових і векторних символів використаний метод синусно-косинусних перетворень.

Недоліками існуючих методів лінійно-обертального переміщення складного символу об'єкта можуть бути:

- необхідність розробки та зберігання різнотипних базових зображень для відображення плавного повороту об'єкта на екрані відеотермінала;
- значні витрати часу на виконання алгоритму в умовах швидкої зміни типів зображень символів;
- не розглядалась можливість відтворити програму формування динамічних сценаріїв у Web-середовищі.

Мета дослідження. Розробити прикладну програму, яка забезпечує формування динамічних сценаріїв навігаційної геоінформаційної системи у Web-середовищі.

Матеріали та методи дослідження. Для реалізації комбінованого лінійно-обертального переміщення складного символу об'єкта, яке в свою чергу є елементом динамічних сценаріїв навігаційної геоінформаційної системи пропонується використано: ортофотоплан ділянки місцевості (можна використати векторну або растрову карту), прикладну програму, написану мовою розмітки гіпертексту HTML 5 із підтримкою можливостей каскадної таблиці стилів CSS в редакторі Notepad++.

Також було використано запропоновану в роботі [6] методику обробки аерофотознімків, перетворення їх в геоприв'язане зображення і підходи та розроблені програмні модулі системи підтримки прийняття рішень у рослинництві, а саме: геопросторова та навігаційна частина, що описані в роботі [7].

Проаналізувавши основні результати досліджень [8–10], нами було виявлено наступне.

Всі технології, застосовувані при створенні веб-систем, діляться на два основні класи: виконувані на клієнті засобами оглядача Інтернет (HTML, CSS, і т.п.) та виконувані на сервері засобами веб-сервера (PHP, Python, і т.п.) і пов'язані з ним системи (MySQL, SQL і т.п.).

HTML (Hyper Text Markup Language) – це фундаментальна, базова технологія Інтернету, мова розмітки гіпертексту, що використовує спеціальні оператори – теги (tag) для розмітки документа. Теги вказують, у якому вигляді буде виведено текстовий чи інший елемент у вікні браузера.

CSS (Cascading Style Sheets) – це технологія опису зовнішнього вигляду документа, що створено засобами HTML і XML.

Тег-елемент мови розмітки гіпертексту (наприклад, XML, HTML).

Браузер – програмне забезпечення для комп'ютера або іншого електронного пристрою, як правило, під'єднаного до Інтернету, що дає можливість користувачеві взаємодіяти з інформацією на гіпертекстовій веб-сторінці.

Текстовий редактор – комп'ютерна програма, призначена для створення та зміни текстових файлів. Деякі текстові редактори забезпечують також розширену функціональність, вони можуть служити середовищами розробки програмного забезпечення, в кожному разі, завжди містять текстовий редактор як необхідний інструмент програмування.

Notepad ++ [11] – це редактор із відкритим вихідним кодом для Windows, із підсвічуванням синтаксису великої кількості мов програмування і розмітки. Базується на компоненті Scintilla, написаний на C ++ з використанням STL, а також Windows API і розповсюджується під ліцензією GNU General Public License. Базова функціональність програми може бути розширена як за рахунок плагінів, так і сторонніх модулів, таких як компілятори та препроцесори.

Результати. Загальна схема алгоритму побудови динамічного сценарію із залученням тегів представлена на рис. 1.

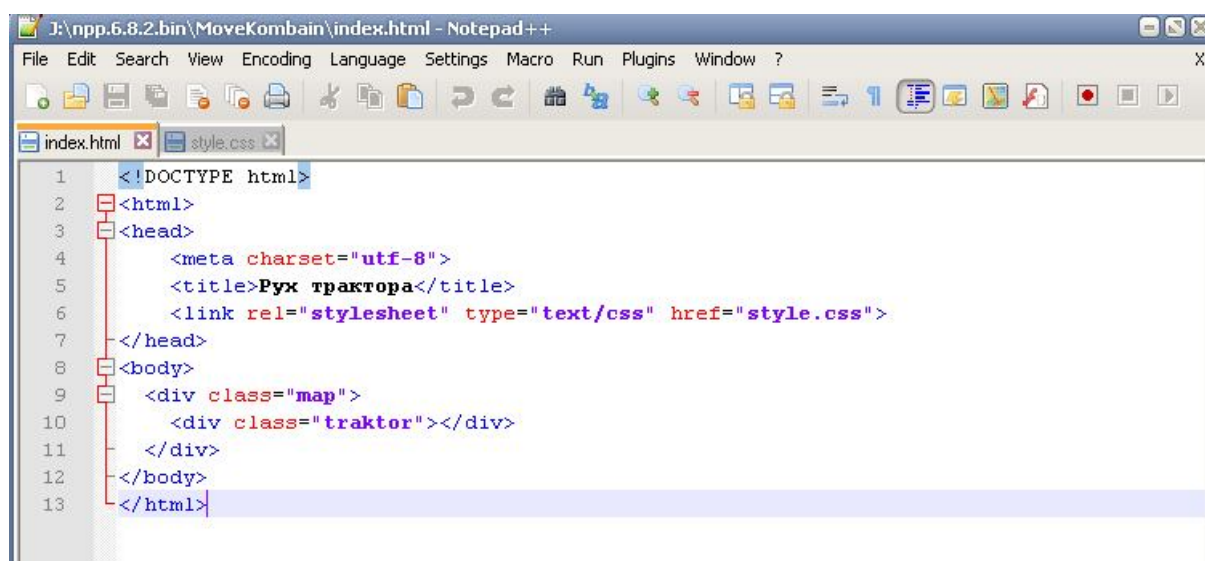


Рисунок 1 – Алгоритм формування динамічних сценаріїв із залученням тегів

У якості базового файлу пропонується файл index.html, який містить:

- позиція 1 – <!DOCTYPE html> – назва версії мови програмування (в даному випадку обрана остання версія – html 5);
- позиція 2 – тег <html> – вміст веб-сторінки, який поділено на:
- позиція 3 – тег <head>, який призначено для управління даними в середовищі браузера та, в свою чергу, містить наступні теги:
 - позиція 4 – тег <meta> позначає вибір типу кодування даних для браузера (атрибут «charset»), тип кодування «utf-8»);
 - позиція 5 – стартовий та кінцевий тег <title>, що містить назву вкладки з програмним кодом для відображення динамічного сценарію руху об'єкта;
 - позиція 6 – тег <link rel> задає зв'язки з файлами властивостей, записаних в каскадній таблиці стилів CSS, їх тип та директорію;
 - позиція 7 – кінцевий тег </head>;
 - позиція 8 – стартовий тег <body>, що призначено для зберігання інформації (контенту), що відображено у вікні браузера та містить у собі наступні блокові теги типу <div>, які дозволяють виділити в структурі документа кілька розділів;
 - позиція 9 – стартовий тег <div> з атрибутом class=«map», що дозволяє виділити фрагмент html-сторінки (статичного фону), з метою зміни вигляду її контенту;

- позиція 10 – підпорядкований стартовий та кінцевий тег <div> із атрибутом class=«traktor», що дозволяє виділити фрагмент html-сторінки (символу рухомого об'єкту), з метою зміни вигляду її контенту;
- позиція 11 – кінцевий тег </div> з атрибутом class = «map»;
- позиція 12 – кінцевий тег </body>;
- позиція 13 – кінцевий тег </html>.

Необхідно зазначити, що у вище описаному алгоритмі, рис. 1 на позиції 6 атрибут href=«style.css» встановлює зв'язок із каскадною таблицею стилів, де і визначається функціональне призначення тегів, представлених на рис. 2 і 3.

Стилем або CSS (Cascading Style Sheets, каскадні таблиці стилів) називається набір параметрів форматування, який застосовується до елементів документа, щоб змінити їх зовнішній вигляд. Можливість роботи зі стилями включають у розвинені видавничі системи та текстові редактори, тим самим дозволяючи одним натисканням кнопки надати тексту заданий, заздалегідь встановлений вид. Тепер це доступно і розробникам алгоритму динамічного сценарію, коли параметри зберігаються в певному місці і легко присвоюються будь-якому тегу. Ще однією перевагою використання CSS-стилів є те, що вони пропонують набагато більше можливостей для форматування, ніж звичайний HTML.

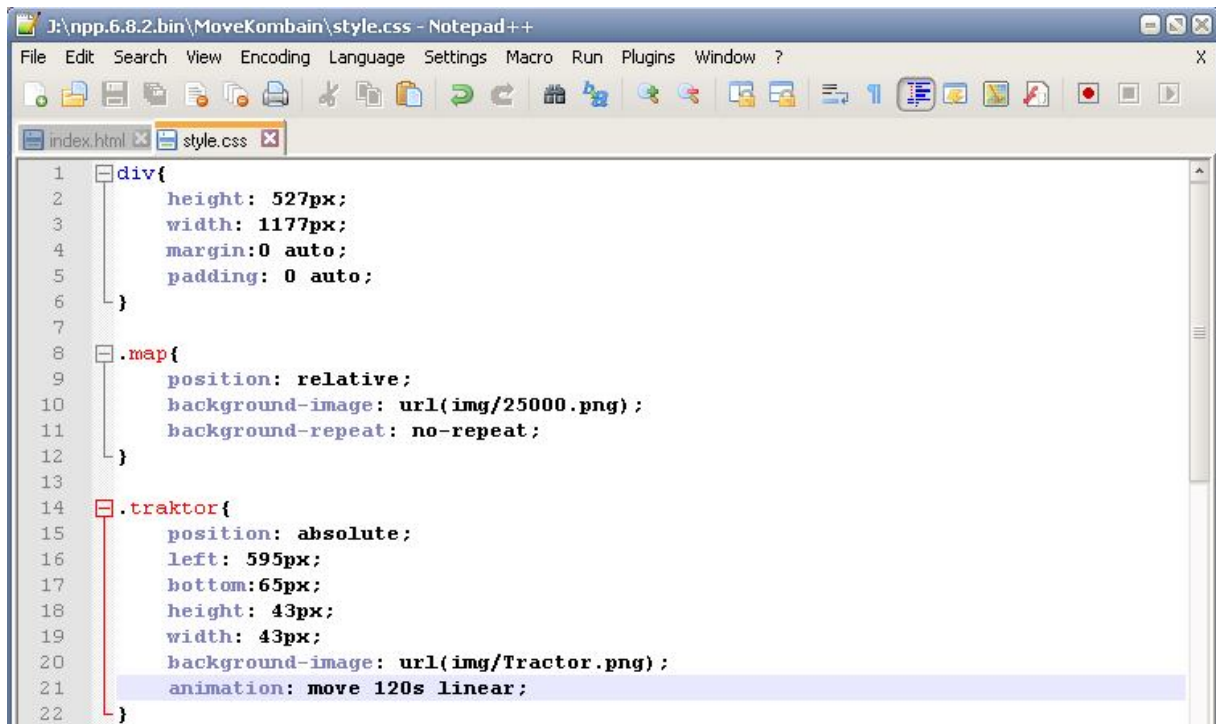


Рисунок 2 – CSS-селектори для блоку «div» і атрибутів «map» і «traktor»

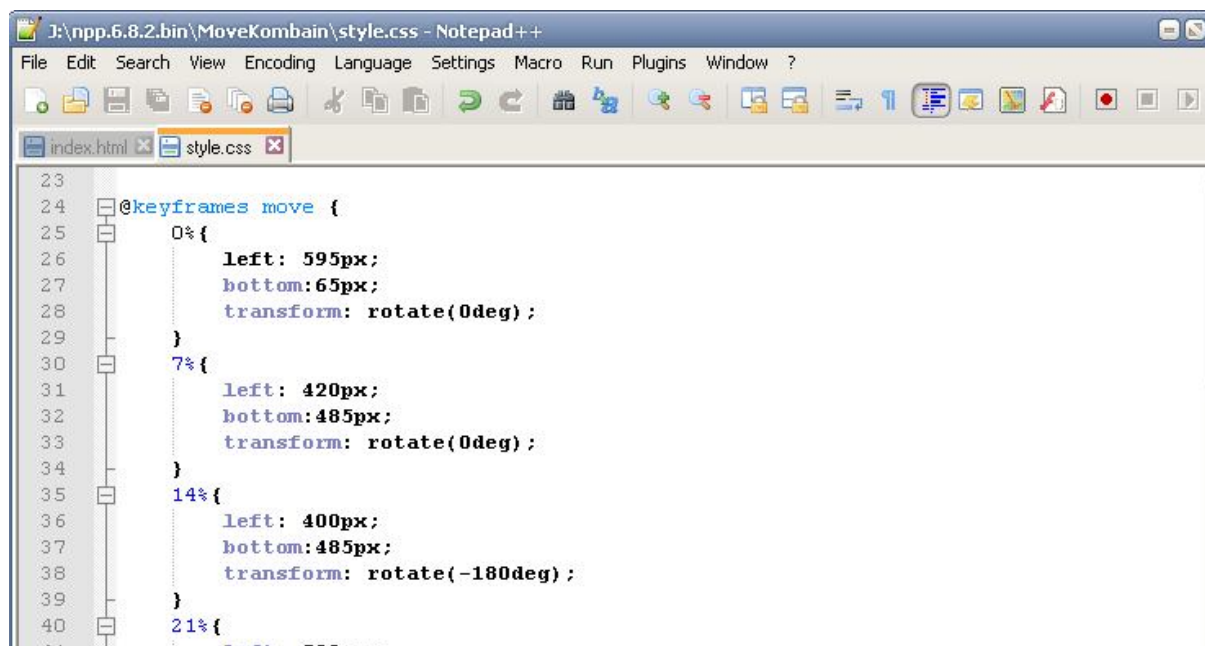


Рисунок 3 – Елемент алгоритму відображення динамічного руху об'єкта

У файлі style.css на рис. 2 і 3 якраз і описані всі параметри оформлення таких тегів як «div», і атрибутів «map», і «traktor». Зауважте, що самі теги в коді HTML пишуться як звичайно.

Оскільки на файл зі стилем можна посилатися з будь-якого веб-документа, це призводить у результаті до скорочення обсягу повторюваних даних. А завдяки поділу коду та оформлення підвищується гнучкість управління видом документа і швидкість роботи над сайтом. CSS являє собою свою власну мову, який збігається з HTML тільки деякими значеннями, наприклад, способом визначення кольору.

Стильові правила записуються у своєму форматі, відмінному від HTML. Основним поняттям виступає селектор – це деяке ім'я стилю, для якого додаються параметри форматування. В якості селектора виступають теги, класи і ідентифікатори.

Представлений файл style.css, містить:

- позиція 1 – div { – ім'я селектора, це означає, що всі стильові параметри будуть застосовуватися до тегу <div>, потім йдуть фігурні дужки, в яких записується стильова властивість та його значення вказується після двокрапки;
- позиція 2 – height: 527px; – стильова властивість «висота» тегу <div> та його значення в пікселях;
- позиція 3 – width: 1177px; – стильова властивість «ширина» тегу <div> та його значення в пікселях;
- позиція 4 – margin: 0 auto; – зовнішній відступ тегу <div> від його «батьківського» тегу <body>;
- позиція 5 – padding: 0 auto; – встановлює значення полів навколо вмісту тегу <div>;
- позиція 6 – } – закриваюча фігурна дужка селектора div;
- позиція 8 – .map { – ім'я класу селектора;
- позиція 9 – position: relative; – положення елемента встановлюється відносно його вихідного місця;
- позиція 10 – background-image: url(img/25000.png); – встановлює фонове зображення для елемента;
- позиція 11 – background-repeat: no-repeat; – визначає, як буде повторюватися фонове зображення, встановлене за допомогою властивості background-image;
- позиція 12 – } – закриваюча фігурна дужка селектора map;
- позиція 14 – .traktor { – ім'я класу селектора;

- позиція 15 – position: absolute; – вказує, що елемент абсолютно позиціонується, при цьому інші елементи відображаються на веб-сторінці немов абсолютно позиціонованого елемента і немає. Положення елемента задається властивостями left, top, right і bottom, також на положення впливає значення властивості position батьківського елемента. Так, якщо у батьківського елемента значення position задано як: fixed, relative або absolute, то відлік координат ведеться від краю батьківського елемента;
- позиція 16 – left: 595px; – положення елемента відносно лівого края батьківського елемента;
- позиція 17 – bottom: 65px; – положення елемента відносно нижнього края батьківського елемента;
- позиція 18 – height: 24px; – стильова властивість «висота» тегу <div> із класом «traktor» та його значення в пікселях;
- позиція 19 – width: 24px; – стильова властивість «ширина» тегу <div> із класом «traktor» та його значення в пікселях;
- позиція 20 – background-image: url(img/Traktor_3.png); – встановлює фонове зображення для елемента;
- позиція 21 – animation: move 120s linear; - запуск роботи алгоритму @keyframes move,;
- позиція 22 – } – закриваюча фігурна дужка селектора traktor;
- позиція 24 – @keyframes move { – ім'я селектора та правило @keyframes – описує CSS властивості у вигляді переліку ключових кадрів;
- позиції 25 – 40 – в алгоритмі описано переміщення (зміна координат блоку з часом).

У перший момент руху, описуваний селектором кадру 0%, координати блоку left: 595px; bottom: 65px;. Наступний ключовий кадр описує значення властивостей через 7 % часу динамічного сценарію (в даному прикладі – 120 секунд). Координати блоку стануть left: 420px; bottom: 485px; і т.д. transform: rotate(0deg); – поворот елемента на заданий кут відносно точки трансформації (центр тегу <div> з класом «traktor»).

На рис. 4 і 5 показано вікно браузера, що відображає динамічний сценарій переміщення символів рухомих об'єктів на фоні бази тематичних картографічних даних с. Пшеничне Васильківського р-ну Київської обл.

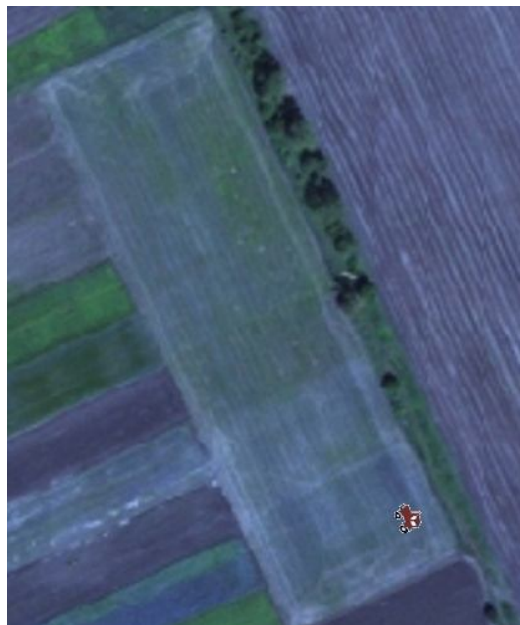


Рисунок 4 – Ключовий кадр (7 %) описаний селектором руху об'єктів на фоні бази тематичних картографічних даних



Рисунок 5 – Ключовий кадр (21 %) описаний селектором руху об'єктів на фоні бази тематичних картографічних даних

Схематично алгоритм побудови динамічного сценарію із використанням Web-інструментів представлено на рис. 6.

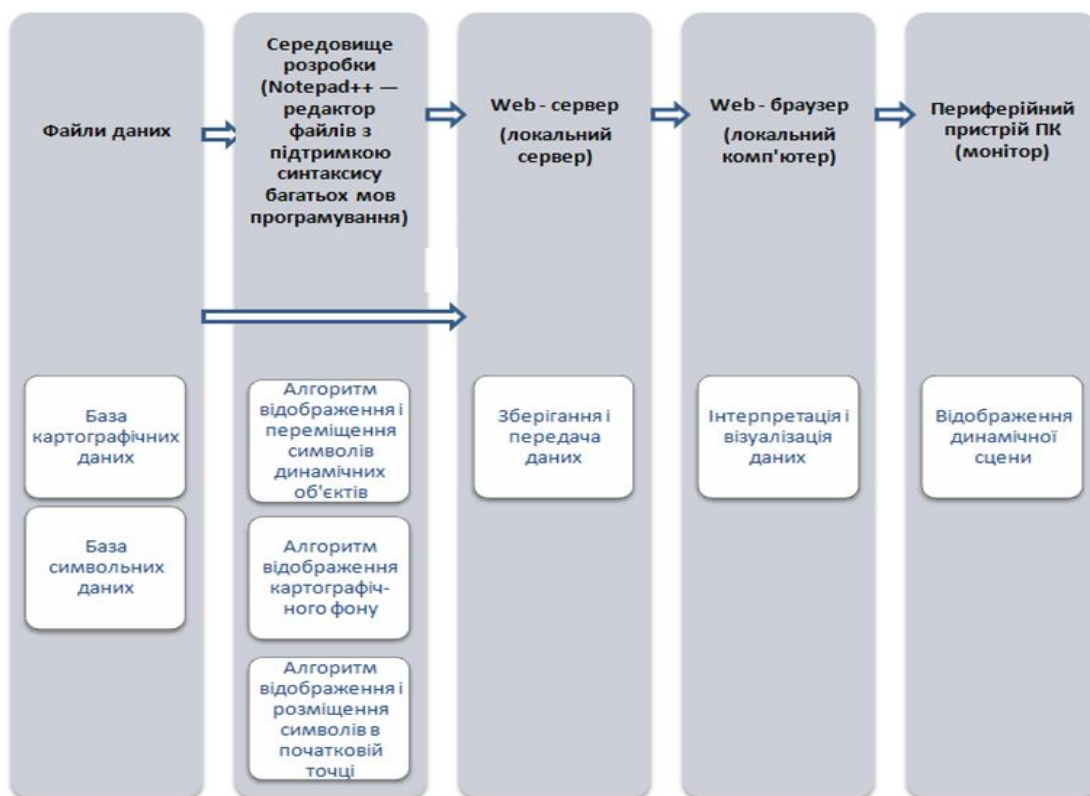


Рисунок 6 – Схема алгоритму побудови динамічного сценарію із використанням Web-інструментів

Висновки. У статті поставлено та вирішено актуальну науково-прикладну задачу формування динамічних сценаріїв у навігаційних геоінформаційних системах реального часу. Пропонується алгоритм та програмна реалізація застосування Web-інструментів останньої версії для вирішення задачі формування та відображення динамічних сцен.

Це дає змогу здійснювати обробку даних на боці клієнта, за допомогою веб-переглядача браузера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васюхин М. И. Основы интерактивных навигационно-управляющих геоинформационных систем : монография / М. И. Васюхин. – К. : Лира-К, 2006. – 536 с.
2. Креденцар С. В. Методы и средства построения зрительных образов динамической обстановки в аэронавигационных геоинформационных системах реального времени : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Креденцар Светлана Максимовна. – К., 2010. – 174 с.
3. Капштык О. И. Методы и технологические средства представления и анализа воздушной обстановки в геоинформационных системах оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Капштык Олег Иванович. – К., 2010. – 188 с.
4. Касим А. М. Методы и средства формирования динамических сценариев в навигационно-управляющих комплексах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Касим Аниса Мохаммадовна. – К., 2012. – 195 с.
5. Програмна реалізація лінійно-обертального переміщення складних символів рухливих об'єктів на базі афінних перетворень / [М. І. Васюхін, А. М. Касім, В. В. Долинний, В. Ю. Трохименко] // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – К. : ВЦ НУБіП України, 2015. – Вип. 209, Ч. 2 – С. 122–132.
6. Іваник Ю. Ю. Методика обробки аерофотознімків для побудови цифрових карт та захисту картографічних даних / Ю. Ю. Іваник // Безпека інформації : науково-практичний журнал. – К., 2012. – № 1. – С. 41–45.
7. Васюхін М. І. Модуль підтримки прийняття рішень для автоматизованої системи управління в рослинництві та перспективи використання в системі електронного дорадництва // М. І. Васюхін, О. М. Ткаченко, Ю. Ю. Іваник // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – К. : ВЦ НУБіП України, 2014. – № 194. – С. 197–207.
8. Филиппов С. А. Основы современного веб-программирования : учебное пособие / С. А. Филиппов. – М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 160 с.
9. Сухов К. HTML5 – путеводитель по технологии / К. Сухов. – М. : ДМК Пресс, 2013. – 352 с.
10. Хоган Б. HTML5 и CSS3: Веб-разработка по стандартам нового поколения / Б. Хоган. – СПб. : Питер, 2014. – 318 с.
11. Офіційний сайт Notepad ++ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://notepad-plus-plus.org/>

REFERENCES

1. Vasyukhin M. I. (2006). *Osnovih interaktivnikh navigacionno-upravlyayutikh geoinformacionnikh sistem : monografiya*. K. : Lira-K.
2. Kredencar S. V. (2010). *Metodih i sredstva postroeniya zritel'nykh obrazov dinamicheskoy obstanovki v aehronavigacionnikh geoinformacionnikh sistemakh real'nogo vremeni* *Kandidate's thesis*. K., 174.
3. Kapshtikh O. I. (2010). *Metodih i tekhnologicheskie sredstva predstavleniya i analiza vozdushnoy obstanovki v geoinformacionnikh sistemakh operativnogo upravleniya* *Kandidate's thesis*. K., 188.
4. Kasim A. M. (2012). *Metodih i sredstva formirovaniya dinamicheskikh scenariy v navigacionno-upravlyayutikh kompleksakh: dis. Kandidate's thesis*. K., 195.
5. Vasyukhin M. I., Kasim A. M., Dolinniy V. V., Trokhimenko V. Yu. (2015). *Programna realizaciya liniynjo-obertalnogo peremithennya skladnikh simvoliv rukhlyvikh ob'ektiv na bazi afinnikh peretvorenj. Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta energetika APK, V. 209, 2. K. : VC NUBiP Ukraini, 122–132.*

6. Ivanik Yu. Yu. (2012). Metodika obrobki aerofotoznmkiv dlya pobudovi cifrovikh kart ta zakhistu kartografichnikh danikh. *Bezpeka informacii : naukovo-praktichnij zhurnal*, 1. 41–45.
7. Vasyukhin M. I., Tkachenko O. M., Ivanik Yu. Yu. (2014). Modulj pidtrimki priyinyattya rishenj dlya avtomatizovanoї sistemi upravlinnya v roslinnictvi ta perspektivi vikoristannya v sistemi elektronnoho doradnictva. *Naukoviy visnik NUBiP Ukraїni. Seriya: Tekhnika ta energetika APK*, 194. K. : VC NUBiP Ukraїni, 197–207.
8. Filippov S. A. (2011). *Osnovih sovremennogo veb-programmirovaniya : uchebnoe posobie*. M. : NIYaU MIFI.
9. Sukhov K. (2013). *HTML5 – putevoditelj po tekhnologii*. M. : DMK Press.
10. Khogan B. (2014). *HTML5 i CSS3: Veb-razrabotka po standartam novogo pokoleniya*. SPb. : Piter.
11. Oficiyjnij sayjt Notepad ++ notepad-plus-plus.org. from: <https://notepad-plus-plus.org/>

Васюхин М. И., Синицын О. В., Иваник Ю. Ю. АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ ГИС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В WEB-СРЕДЕ

Проанализированы существующие методы линейного перемещения и поворота к заднему углу сложного символа движущегося объекта. Предложен способ генерации комбинированного линейно-вращающегося перемещения сложного символа объекта в WEB-среде.

Ключевые слова: динамический сценарий, линейно-вращающееся перемещение, сложный символ объекта, web-среда, html, css, теги, селектор, браузер.

Vasyuhin M. I., Sinitsyn O. V., Ivanik Yu. Yu. ALGORITHMIC AND SOFTWARE MEANS FOR GENERATING DYNAMIC SCRIPTING GIS REAL-TIME WEB MEDIA

We analyzed the existing methods of linear translation and rotation to the rear corner of the complex character of the moving object. A method for generating a combined linear-rotary motion of a complex object symbol in the WEB environment.

Keywords: dynamic scenario, linear-rotary movement, complex character of the object, web-Wednesday, html, css, tags selector browser.

© Васюхін М. І., Сініцин О. В., Іваник Ю. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 17.05.16

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРОЕКТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Давідіч Н.В., аспірант кафедри «Транспортні системи і логістика» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, E-mail: shamanwelkax@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7799-2122

Якість обслуговування пасажирів міського пасажирського транспорту є важливою соціальною і економічною задачею для кожного міста. Проведений аналіз методів оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів міським транспортом показав, що для її оцінки доцільно використовувати комплексні показники. Визначено, що планування якості перевезення пасажирів можливе з використанням моделювання транспортного процесу. Наведено моделі зміни параметрів перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом. Розроблено алгоритм і схему алгоритму імітаційної моделі планування якості перевезення пасажирів на маршруті, яка дозволяє визначити запропонований комплексний показник якості міського пасажирського транспорту. Проведена оцінка адекватності розробленої імітаційної моделі. Напрямок подальших досліджень є розробка рекомендацій із планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту.

Ключові слова: пасажир, перевезення, якість, модель, технологія, транспорт, перегін, зупинний пункт, адекватність.

Вступ. Міська пасажирська транспортна система є складовою транспортної системи України. Підвищення її якості є одним із провідних інтересів держави. Наявна організація транспортного обслуговування жителів міста не відповідає сучасним вимогам управління якістю. В сучасних умовах оптимізація параметрів транспортної системи перевезення пасажирів у міському сполученні неможлива без врахування інтересів як перевізників, так і пасажирів. При рішенні проблем міських транспортних систем недостатньо уваги приділяється визначенню якості організації перевезень. Методи, моделі та алгоритми організації транспортного обслуговування населення міст, як правило, спираються на розробки, які були виконані ще в минулому столітті, а тому не повністю враховують сучасні вимоги. Особливо це стосується врахування інтересів пасажирів в отриманні якісних транспортних послуг. При цьому часто не забезпечується передбачений нормами час поїздки, що пояснюється низькими швидкостями сполучення основними видами міського пасажирського транспорту, необхідністю виконувати пересадки з причини недосконалої маршрутної мережі та витратами часу на підходи до зупиночних пунктів [1].

Постановка проблеми. Організація транспортного обслуговування мешканців міст повинна здійснюватися з найбільшими зручностями і, безпечно, з можливо меншою витратою часу на поїздку. Досягнення цієї мети можливо за рахунок проектування якості проектів міського пасажирського транспорту. Управління якістю повинно гарантувати, що результат проекту, а також сам проект, буде задовольняти потреби споживачів. Управління якістю в сучасних проектах здійснюється на всіх стадіях і охоплює всі його сторони [2]. Якість обслуговування пасажирів міського пасажирського транспорту є важливою соціальною і економічною задачею для кожного міста [1, 3, 4]. Вона багато в чому визначає забезпечення трудової діяльності, культурного розвитку та відпочинку населення.

В існуючих умовах оцінку якості транспортного обслуговування населення міст дослідники ототожнюють із оцінкою рівня перевезення пасажирів та їх багажу, а також надання інших послуг під час перебування пасажирів у транспортних засобах, на проміжних зупинках і в кінцевих пунктах маршруту транспортного обслуговування [5]. Основними невирішеними питаннями проблеми якості транспортного обслуговування є відсутність показників її оцінки та економічних важелів впливу на перевізників за

порушення цих показників. Внаслідок цього, виникає необхідність у плануванні якості послуг міського пасажирського транспорту та формуванні вимог до якості в контрактах між перевізниками та муніципальними органами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для затвердження якості проекту проводиться ряд процедур, такі, як гарантія якості, аудити проекту та його продукту [6]. Поняття «якість» має відповідати потребам людей. У той же час, міський пасажирський транспорт має бути досить гнучкими, щоб реагувати на зміни в потребах людей. Таким чином, метою функціонування громадського транспорту має бути підвищення якості обслуговування. Це вимагає чіткого розуміння поведінки пасажирів, його споживчих потреб та очікувань [7, 8].

З урахуванням цього, одним із найбільш суттєвих критеріїв оцінки якості транспортного обслуговування мешканців міст є загальні витрати їх часу на пересування від місця відправлення до місця прибуття [9]. Крім того, в подальших дослідженнях науковці пропонували додатково характеризувати якість транспортного обслуговування населення коефіцієнтом випуску транспортних засобів на лінію, коефіцієнтом використання місткості, коефіцієнтом використання часу в наряді, швидкістю сполучення, інтенсивністю руху, інтервалом руху, коефіцієнтом регулярності, показником ефективності обслуговування, коефіцієнтом ефективності витрат, узагальненим показником якості роботи [1, 10, 11]. Для врахування безпеки руху дослідники використовують показники тяжкості дорожньо-транспортних пригод [13].

Інші дослідники розвивають поняття комплексного або інтегрованого показника якості [10]. Вони наводять дані, що найважливішим елементом оцінки якості обслуговування є одержання інтегрованої величини коефіцієнта якості обслуговування, що містить у собі оцінки за кожним з факторів. За їх думкою, найпоширеніша процедура оцінки якості обслуговування пасажирів виражається добутком фактичних показників якості [10, 12] або середнім арифметичним зваженим одиничних показників [14].

При цьому науковці визначають, що на сьогоднішній день оцінити функціонування системи можна шляхом визначення відповідності рівня управління якістю вимогам стандартів [15]. Визначення нормативних показників якості можливо з використанням автоматизованого проектування та створення необхідних моделей [2]. Однак, у науковій літературі щодо оцінки якості міського пасажирського транспорту ще не знайшло достатнього відображення моделювання параметрів якості перевезення пасажирів для планування цього показника. Планування якості функціонування міського пасажирського транспорту можливо за рахунок визначення необхідних значень параметрів технологічного процесу перевезень пасажирів. Для вирішення цієї задачі необхідно визначення параметрів перевезення пасажирів при різних варіантах організації транспортного процесу. Для цього можливо використовувати моделювання процесу перевезень, за результатами якого представляється можливим отримання інформації про значення необхідних параметрів [16].

Мета дослідження. Проведені дослідження ставили за мету розробку моделі планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробка алгоритму та схеми алгоритму планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту;
- розробка програмного забезпечення моделі планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту;
- оцінка адекватності моделі оцінки планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту.

Викладення основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети була розроблена імітаційна модель планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту.

Моделювання процесу перевезення базується на розгляді маршруту міського пасажирського транспорту як сукупності зупинних пунктів та перегонів. Кожен перегін маршруту описується довжиною та швидкістю транспортного потоку на перегоні. В якості параметрів пасажиропотоків використовувалися дані про часовий пасажирообмін кожного зупинного пункту. У якості параметрів транспортних засобів міського пасажирського транспорту враховувалась їх кількість, місткість, питома потужність двигуна, кількість дверей та їх ширина.

При моделюванні виконується математична формалізація всіх процесів, які відбуваються при пересуванні пасажирів. Процес моделювання відбувається з виконанням декількох етапів (рис. 1).

На першому етапі моделюється процес підходу пасажирів до зупинного пункту маршруту. Середній час підходу визначається з урахуванням довжини перегону маршруту та щільності транспортної мережі з використанням такої залежності [17]:

$$t_{nu} = \left(\frac{k_{nn} \cdot k_{e.o}}{v_{nu}} \right) \cdot \left[\frac{1}{3\delta} + \frac{l_n}{4} \right], \quad (1)$$

де v_{nu} – швидкість руху пішохода, км/год; δ – щільність транспортної мережі, км/км²;

$k_{nn} = 1,2$ – коефіцієнт непрямої лінійності підходу до зупинного пункту; $k_{e.o} = 1 + \frac{v_{nu}}{v_c}$ –

коефіцієнт вибору зупинного пункту, що забезпечує економію загальних витрат часу на пересування у порівнянні з поїздкою від найближчого зупинного пункту; v_c – швидкість сполучення розглянутого транспорту, км/год; l_n – довжина перегону, км.

Після цього визначається фактичний час підходу пасажирів. Його значення моделюється на основі нормального закону розподілу.

На другому етапі з використанням закону Пуассона [17] визначається кількість пасажирів, які підійшли до зупинних пунктів. Згідно з цим законом моделюється інтервали часу прибуття на зупинки пасажирів та визначається їх кількість.

На наступному етапі моделюється прибуття транспортних засобів на зупинні пункти. Для першого зупинного пункту час прибуття відповідає розкладу руху.

Моделювання процесу заповнення і звільнення пасажирів транспортним засобом проводиться в декілька підетапів. Кількість пасажирів, які входять, визначається кількістю вільних місць у транспортному засобі. Якщо вона менша за кількість пасажирів, що бажають скористатися цим транспортним засобом, то відбувається відмова деякій частині пасажирів у посадці. Вони залишаються очікувати наступний транспортний засіб. Це враховується при розрахунку часу очікування. Пасажири, що зайшли в транспортний засіб, перерозподіляються для виходу між наступними зупинними пунктами пропорційно інтенсивності виходу, яка задається у якості вихідних даних.

Середній час простою транспортних засобів на зупинному пункті моделюється з використанням розробленої моделі зміни часу простою транспортного засобу на зупинних пунктах маршруту, яка має таким вид:

$$t_{np} = 10,505 \cdot \frac{\sqrt{k_{ex}}}{\sqrt{(n_{dv} \cdot S_{dv})}} + 5,715 \cdot \frac{\sqrt{k_{vix}}}{\sqrt{(n_{dv} \cdot S_{dv})}} + 23,611 \cdot \frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{(n_{dv} \cdot S_{dv})}}, \quad (2)$$

де k_{ex} – кількість пасажирів, що увійшли до транспортного засобу, пас.; k_{vix} – кількість пасажирів, що вийшли з транспортного засобу, пас.; n_{dv} – кількість дверей у транспортному засобі, од.; S_{dv} – ширина дверей транспортного засобу, м; γ – коефіцієнт використання місткості транспортного засобу.

Після цього визначається фактичний час простою транспортних засобів. Його значення моделюється з огляду на те, що відхилення середнього часу простою має нормальний закон розподілу.

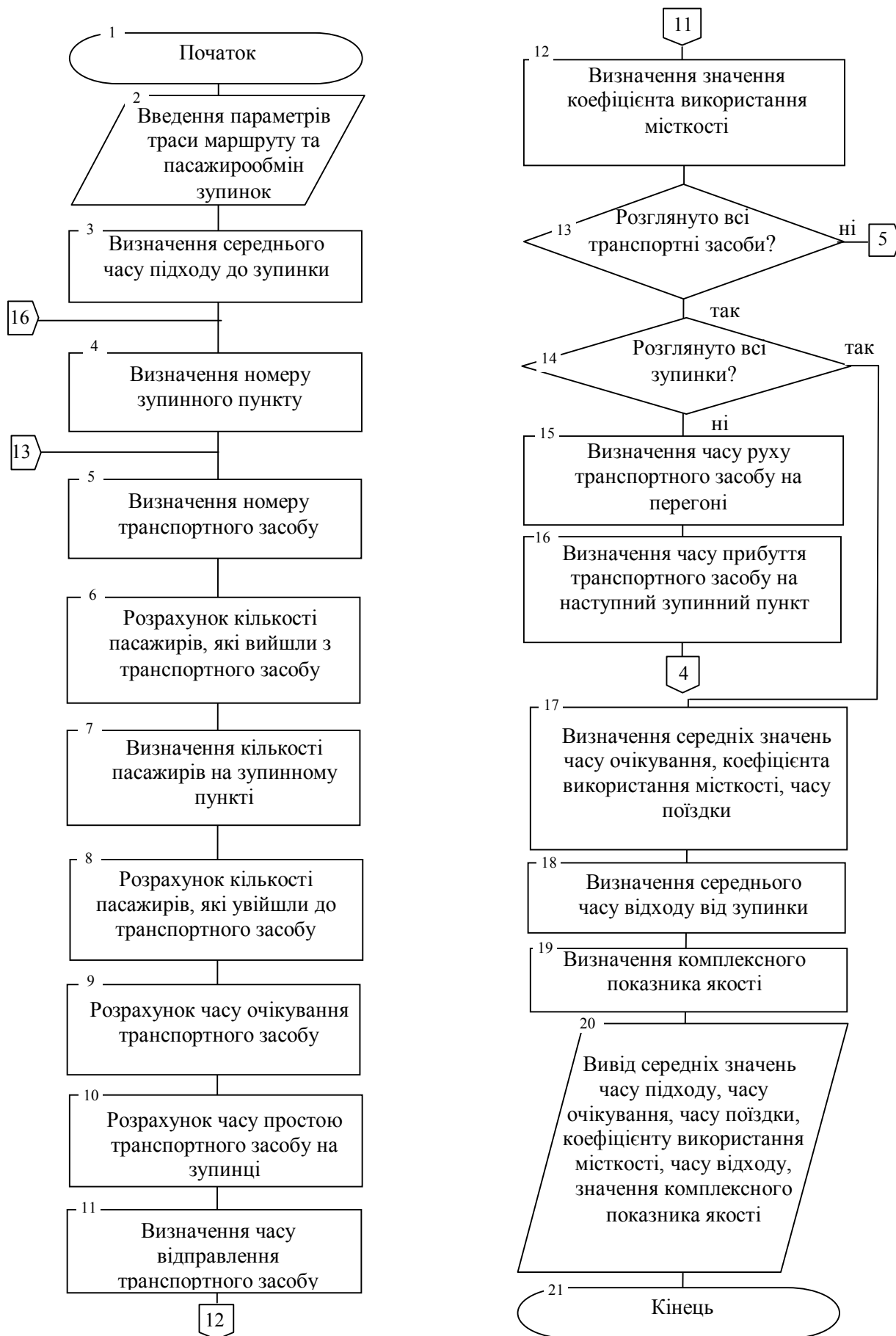


Рисунок 1 – Схема алгоритму моделі планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту

Після закінчення посадки визначається час відправлення транспортних засобів із зупинних пунктів з урахуванням часу прибуття та часу посадки-висадки пасажирів.

Прибуття транспортних засобів на наступні зупинні пункти моделюється з використанням розробленої моделі зміни часу руху транспортних засобів на перегоні маршруту, яка має такий вид:

$$t_p = 0,274 \cdot \sqrt{\gamma} + 3,532 \cdot \frac{1}{\sqrt{V_n}} + 2,673 \cdot \frac{\sqrt{L_{nep}}}{\sqrt{U}}, \quad (3)$$

де V_n – швидкість транспортного потоку, км/год.; γ – коефіцієнт використання місткості транспортного засобу; L_{nep} – довжина перегону, км; U – питома потужність двигуна транспортного засобу, кВт/т.

Використання цієї моделі дозволяє визначити плановий час прибуття автобусів. Відхилення від нього визначається з використанням нормального закону розподілу.

Із використанням часу відправлення та часу руху між зупинками моделюється час прибуття транспортних засобів на наступні зупинні пункти. На підставі інформації про кількість пасажирів, що знаходяться в салоні транспортних засобів, визначається значення динамічного коефіцієнта використання місткості для кожного транспортного засобу.

На останньому етапі моделюється процес відходу пасажирів від зупинних пунктів. Для цього виконуються етапи, аналогічні моделюванню процесу підходу пасажирів до зупинного пункту.

У якості вихідних даних модель планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту формує наступні: середній час підходу до зупинки, середній час очікування транспортного засобу, середній час поїздки, середнє значення динамічного коефіцієнту використання місткості, середній час відходу від зупинки, значення комплексного показника якості міського пасажирського транспорту при виконанні маршрутної поїздки, який визначається за такою залежністю [19]:

$$K_{\gamma} = \left(\frac{t_{nu_{min}}}{t_{nu_{\phi}}} \right)^{0,137} \cdot \left(\frac{t_{oc_{min}}}{t_{oc_{\phi}}} \right)^{0,262} \cdot \left(\frac{t_{n_{min}}}{t_{n_{\phi}}} \right)^{0,465} \cdot \left(\frac{\gamma_{\phi_{min}}}{\gamma_{\phi}} \right)^{0,136}, \quad (4)$$

де 0,137; 0,262; 0,465; 0,136 – коефіцієнти вагомості одиничних показників при виконанні маршрутної поїздки; $t_{n_{min}}$ – мінімально можливий час поїздки, хв.; $t_{n_{\phi}}$ – фактичний час поїздки, хв.; $\gamma_{\phi_{min}}$ – динамічний коефіцієнт використання місткості з урахуванням міст для сидіння; γ_{ϕ} – фактичний динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу; $t_{nu_{min}}$ – мінімальний час пішохідної складової транспортного пересування, хв.;

$t_{nu_{\phi}}$ – фактичний час пішохідної складової транспортного пересування, хв.; $t_{oc_{min}}$ – мінімальний час очікування, хв.; $t_{oc_{\phi}}$ – фактичний час очікування, хв.

Адекватність моделі планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту визначалась із використанням середньої помилки розрахункових значень показників по відношенню до фактичних. У якості показників використовувалися кількість пасажирів у транспортному засобі на кожному перегоні маршруту та швидкість сполучення на маршруті. Розрахунки показали, що значення середньої помилки не перевищує 7 %.

Висновки. Розроблена імітаційна модель оцінки якості процесу перевезення на маршруті міського пасажирського транспорту дозволяє отримати всі необхідні дані для оцінки впливу параметрів технологічного процесу перевезень пасажирів на значення комплексного показника якості при виконанні маршрутної поїздки. Дана модель придатна до використання в системі підтримки прийняття рішень при плануванні якості міського

пасажи́рського транспорту. Напрямо́к подальших досліджень є розробка рекомендацій з планування якості процесу перевезення на маршруті міського пасажи́рського транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Логистика: общественный пассажирский транспорт : учебник. Доп. УМО вузов РФ по образ. в обл. транспортных машин] / [Миротин Л. Б., Ташбаев Ы. Э., Гудков В. А. и др.]; под ред. Л. Б. Миротина; МАДИ (ГТУ). – М. : Экзамен, 2003. – 224 с.
2. Лapidус В. А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях / В. А. Лapidус – Гос. Ун-т управления; Нац. фонд подготовки кадров. – М. : ОАО Типография «Новости», 2000. – 432 с.
3. Cronin J. J. Measuring service quality: a reexamination and extension / J. J. Cronin, S.A. Taylor // *Journal of Marketing*. – 1992. – 56(3). – P. 55–68.
4. Parasuraman A. SERVQUAL: a multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality / A. Parasuraman, V. A. Zeithaml, L. L. Berry // *Journal of Retailing*. – 1988. – 64(1). – P. 12–37.
5. Вельможин А. В. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – Волгоград : РПК Политехник, 2001. – 326 с.
6. Чумаченко И. В. Система управления качеством проекта создания радиоэлектронной аппаратуры / И. В. Чумаченко, Д. В. Головань // *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр.* – Луганск. – 2003. – Вип. 2 (7). – С. 61–66.
7. Гамула П. Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація / П. Р. Гамула. – Львів : Видавн. нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 506 с.
8. Давідіч Н. В. Розвиток технології планування управління якістю в проектах міського пасажи́рського транспорту / Н. В. Давідіч, І. В. Чумаченко // *Компетентнісне управління проектами розвитку в умовах нестабільного оточення : тези доповідей XII Міжнародної конференції «Управління проектами у розвитку суспільства»*. – К. : КНУБА, 2015. – С. 94–96.
9. Гудков В. А. Теория транспортных процессов и систем / В. А. Гудков, А. В. Вельможин, Л. Б. Миротин. – М. : Транспорт, 1998. – 218 с.
10. Gabriella Mazzulla. A Service Quality experimental measure for public transport / Laura Eboli, Gabriella Mazzulla. – *European Transport / Trasporti Europei*, 2006. – №34. – P. 42 – 53.
11. Prioni P. Measuring service quality in scheduled bus services / P. Prioni, D.A. Hensher // *Journal of Public Transportation*. – 2000. – № 3 (2). – P. 51–74.
12. Большаков А. М. Повышение уровня обслуживания пассажиров автобусами на основе комплексной системы управления качеством: дисс.... к. э. н. / А. М. Большаков. – М., 1981. – 174 с.
13. Marcucci E. Local public transport, service quality and tendering contracts / E. Marcucci, E. Valeri, A. Stathopoulos, V. Gatta // *Urban Sustainable Mobility*. Franco Angeli. – Milano, 2012. – P. 161–172.
14. Gabriela Beirão. Enhancing service quality in public transport systems / Gabriela Beirão, JoséSarsfield Cabral // *Faculty of Engineering. XII: Urban Transport and the Environment in the 21-st Century*. – 2006. – P.837–845.
15. Мельникова О. П. Модель оцінювання функціонування системи управління якістю на пасажи́рських автотранспортних підприємствах / О. П. Мельникова, Т. Є. Василенко // *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Економічні науки*. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. – С. 132–138.
16. Куш Є. І. Параметри автотранспортних технологічних процесів при перевезенні пасажи́рів / Є. І. Куш, Ю. О. Давідіч, М. В. Калюжний. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 275 с.

17. Понкратов Д. П. Вибір пасажирами шляху пересування у містах / Д. П. Понкратов, Г. І. Фалецька. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 164 с.
18. Доля В. К. Пасажирські перевезення / В. К. Доля. – Х. : Форт, 2011. – 504 с.
19. Давідіч Н. В. Інформаційна технологія визначення комплексного показника якості при виконанні маршрутної поїздки в проектах міського пасажирського транспорту / Н. В. Давідіч, Д. М. Бугас, М. П. Пан, І. В. Чумаченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2016. – № 1 (1173). – С. 19-23.

REFERENCES

1. Mirotin, L. B., Tashbaev, Y. Je., & Gerami, V. D. (2003). *Logistika: obshhestvennyy passazhirskiy transport*. M.: Jekzamen.
2. Lapidus, V. A. (2002). *Vseobshhee kachestvo (TQM) v rossijskikh kompanijah*.
3. Cronin Jr, J. J., & Taylor, S. A. (1992). Measuring service quality: a reexamination and extension. *The journal of marketing*, 55-68.
4. Parasuraman, A., Zeithaml, V., & Berry, L. (2002). SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Retailing: critical concepts*, 64(1), 140.
5. Vel'mozhin, A. V., Gudkov, V. A., & Mirotin, L. B. (2001). *Teoriya organizacii i upravlenija avtomobil'nymi perevozkami: Logisticheskij aspekt formirovanija perevozochnyh processov*. Volgograd, -Politehnik.
6. Golovan', D. V. (2003). Sistema upravlenija kachestvom proekta sozdaniya radioelektronnoj apparatury. *Upravlinnja proektami ta rozvitok virobniictva: Zb. nauk. pr. – Lugans'k: vid-vo SNU im. V. Dalja*, (2), 7.
7. Bychkivskiy, R. V., Stoliarchuk, P. H., & Hamula, P. R. (2004). *Metrolohiia, standartyzatsiia, upravlinnia yakistiu i sertyfikatsiia*. L.: VNULP.
8. Davidich N. V. & Chumachenko I. V. (2015). Rozvytok tekhnolohii planuvannia upravlinnia yakistiu v proektakh miskoho pasazhyrskoho transportu. *Kompetentnisne upravlinnia proektamy rozvytku v umovakh nestabilnoho otochennia: tezy dopovidei KhII Mizhnarodnoi konferentsii «Upravlinnia proektamy u rozvytku suspilstva»*: sb. tez. Kyev (pp. 94-96).
9. Vel'mozhin, A. V., Gudkov, V. A., & Mirotin, L. B. (1998). *Teoriya transportnyh processov i sistem*. M.: Transport.
10. Mazzulla, G., & Eboli, L. (2006). *A service quality experimental measure for public transport*.
11. Prioni, P., & Hensher, D. A. (2000). Measuring service quality in scheduled bus services. *Journal of Public Transportation*, 3(2).
12. Bol'shakov, A. M. (1981). Povyshenie urovnja obsluzhivaniya passazhirov avtobusami na osnove kompleksnoj sistemy upravlenija kachestvom: *Dis.... k. je. n.*
13. Valeri, E., Stathopoulos, A., Marcucci, E., & Gatta, V. (2012). Local public transport: service quality and tendering contracts. *Urban Sustainable Mobility*. Franco Angeli, 161-172.
14. Beir, G., & Cabral, J. S. (2006). Enhancing service quality in public transport systems. *Proceedings of Urban Transport XII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century*.
15. Melnykova, O. P., & Vasylenko, T. Ye. (2007). *Model otsiniuvannia funktsionuvannia systemy upravlinnia yakistiu na pasazhyrskykh avtotransportnykh pidpriemstvakh*.
16. Davidich, Yu. O., Kush, Ye. I., & Kaliuzhnyi, M. V. (2015). *Parametry avtotransportnykh tekhnolohichnykh protsesiv pry perevezenni pasazhyriv: navch. posibnyk*.
17. Ponkratov, D. P., & Faletska, H. I. (2015). *Vybir pasazhyramy shliakhu peresuvannia u mistakh: monohrafiia*.

18. Dolia V. K. (2011). *Pasazhyrski perevezennia*. Kh.: Vyd-vo Fort.

19. Davidich, N. V., Buhas, D. M., Pan, M. P., & Chumachenko, I. V. Informatsiina tekhnolohiia vyznachennia kompleksnoho pokaznyka yakosti pry vykonanni marshrutnoi poizdky v proekтах miskoho pasazhyrskoho transportu. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*.

Давидич Н. В. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТАХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА.

Качество обслуживания пассажиров городского пассажирского транспорта является важной социальной и экономической задачей для каждого города. Проведенный анализ методов оценки качества транспортного обслуживания пассажиров городским транспортом показал, что его оценки целесообразно использовать комплексные показатели. Определено, что планирование качества перевозки пассажиров возможно с использованием моделирования транспортного процесса. Приведены модели изменения параметров перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом. Разработаны алгоритм и схема алгоритма имитационной модели планирования качества перевозки пассажиров на маршруте, которая позволяет определить предлагаемый комплексный показатель качества городского пассажирского транспорта. Проведена оценка адекватности разработанной имитационной модели. Направлением дальнейших исследований является разработка рекомендаций по планированию качества процесса перевозки на маршруте городского пассажирского транспорта.

Ключевые слова: пассажир, перевозки, качество, модель, технология, транспорт, перегон, остановочный пункт, адекватность.

Davidich N. V. SIMULATION MODEL OF DECISION MAKING PLANNING QUALITY IN URBAN PASSENGER TRANSPORT PROJECTS

The quality of urban passenger transport service is an important social and economic problem for every city. The analysis methods for assessing the quality of transport services in passengers public transport has shown that it is advisable to use integrated assessment indicators. It was determined that the quality of passenger transportation planning is possible with the use of simulation of transport process. It is demonstrated the parameters of the model change in the carriage of passengers urban transport. It is created the algorithm and flow chart of the simulation model of passenger transportation on the route plan, which allows to define the proposed comprehensive index of urban passenger transport quality. It has been done the evaluation of the adequacy of the developed simulation model. The way of future research is to develop recommendations on the planning process quality transportation route urban passenger transport.

Keywords: passenger, transportation, quality, model, technology, transportation, stage, stopping point, adequacy.

© Давідич Н. В.

Статтю прийнято
до редакції 29.04.16

ВИСОКОТОЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗІЙНОГО ВОДІННЯ

Касім М. М., аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), E-mail: masud@i.ua;

Васюхін М. І., д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), E-mail: vasgeovideo@i.ua;

Касім А. М., к.т.н., с.н.с. відділу мікропроцесорної техніки Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, E-mail: aneesa.qasem@gmail.com

Висвітлено результати теоретичних досліджень точності координат позиціонування рухомих об'єктів засобами супутникових навігаційних систем в режимах DGPS, RTK, VRS, RTX. Показано, що найвищу точність забезпечують методи, які базуються на використанні коригувальних RTK- і RTX- сигналів, причому останній не потребує наявності додаткової базової станції. Запропоновано структуру та склад програмно-технічної системи з функцією моніторингу, яка забезпечує сантиметрову точність паралельного водіння сільськогосподарських агрегатів з використанням програмних модулів комбінованої обробки даних поточної корекції координат.

Ключові слова: навігаційні дані, супутники GNSS, комбіновані повідомлення, коригувальний сигнал, референтна станція, диференціальні поправки, точність координат.

Вступ. Супутникові системи стають частиною нашого повсякденного життя і суттєвим елементом комерційної та суспільної інфраструктури. Зокрема, вони знайшли широке застосування в області дистанційного зондування природних ресурсів [1, 2], розвитку інфраструктури та контролю міського господарства, у сільському господарстві [3–6] та соціальних науках. Інтенсивний розвиток космічної навігації дозволив створити супутникові методи точного визначення координат рухомих в просторі об'єктів [7–10]. При цьому використовується сузір'я супутників, координати яких ідентифікуються в будь-який момент часу з метою визначення навігаційних даних рухомих різноманітних об'єктів наземного, морського і повітряного базування.

В даний час існує ряд світових супутникових навігаційних систем GNSS (*Global Navigation Satellite System*): американська NAVSTAR/GPS (*NAVigation System with Time And Ranging; Global Positioning System*); російська ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система – ГНСС); європейська супутникова система Галілео; китайська навігаційна система Бейдоу; японська регіональна навігаційна система QZSS тощо.

Найбільш розповсюдженими з вищенаведеного списку є системи ГЛОНАСС і GPS, які першопочатково використовувалися при вирішенні навігаційних задач переважно для військово-оборонних цілей і флоту. Поступово відкрилася можливість їх успішного застосування в інших сферах людської діяльності, в тому числі у прецизійному землеробстві, тобто для точного визначення просторових координат сільськогосподарської техніки у реальному часі [10].

В області точного землеробства для прийняття управлінських рішень з мінімальними витратами при розв'язанні ряду прикладних задач назріла гостра необхідність високоточного визначення місцезнаходження кожного підконтрольного рухомого об'єкта за допомогою глобальної системи позиціонування [4, 6]. Саме завдяки цій системі – найважливішого компонента системи прецизійного землеробства – з'явилася можливість для переходу від традиційної агротехнології до технології точкового землеробства [11, 12], при використанні якої враховуються дані локальної диференційованості ґрунтового покриття або посіву в полі.

На території України в основному функціонують навігаційні системи з використанням сигналів GPS і ГЛОНАСС, які дозволяють в режимі реального часу і з відносно високою точністю визначати місцеположення необхідного об'єкта, його

швидкість руху та низку інших навігаційних параметрів. Сьогодні на ринку представлена агротехніка (на кшталт приймача AgGPS американської фірми Trimble), яка може приймати одночасно сигнали різних систем, наприклад NAVSTAR і ГЛОНАСС, що в цілому забезпечує досить надійну і високу точність прийому сигналу навіть при наявності факторів, які збільшують ризик появи похибки у супутникових вимірюваннях.

Успіх у розвитку радіонавігаційних систем і в їх широкомасштабному використанні повністю полягає у революції, яку справило впровадження великих інтегральних схем. Це зробило навігаційні приймачі легкими, компактними і на порядок дешевше. Винятковим досягненням виявилась розробка перманентної станції, що генерує поправки, які вносять зміни в кодові та фазові вимірювання на рухомому приймачі, в результаті чого досягається підвищена точність позиціонування. За останні десятиріччя вироблено декілька поколінь приймачів, що базуються на нових технологіях – DGPS (*Differential Global Positioning System*), RTK (*Real Time Kinematics*), RTX (*Real Time eXtended*). Вміст програмно-апаратного забезпечення як DGPS, так і RTK й RTX, є комерційною таємницею їхніх розробників, що ускладнює їх удосконалення при застосуванні у вітчизняних розробках подібного класу.

Альтернативою технології RTK, яка дає точність у плані 2,5 см, є RTX з точністю на рівні 3,8 см. Кориговальний RTX-сигнал доступний, наприклад, для користувачів інтегрованих дисплеїв та приймачів лінійки Trimble, що свідчить про технічну перевагу закордонних розробників в порівнянні з вітчизняними, які вимушені купувати іноземне обладнання та відповідне програмне забезпечення для створення дієвих систем, орієнтованих на аграрний сектор.

Постановка задачі. Положення, час і додаткову інформацію можна збирати засобами GNSS, рухаючись по суші, воді та в повітрі, отримуючи географічні координати поточного місцезнаходження та складові вектора швидкості рухомого об'єкта. Особливої актуальності набула проблема розробки інтегрованих навігаційно-моніторингових геоінформаційних систем (ГІС) для спостереження та управління рухомими об'єктами, які переміщуються як в повітрі, так і на поверхні Землі. В аграрній галузі найбільш складною є задача паралельного водіння, для розв'язання якої в ГІС зазначеного класу має бути закладений потужний функціонал, що дозволяє отримувати високоточні навігаційні дані для прецизійного відображення визначеного місцеположення об'єкта на електронній карті бортового комп'ютера.

За допомогою глобальної системи позиціонування визначаються світові координати мобільної сільськогосподарської техніки на полі в будь-який момент часу. У подальшому ці координати перетворюються на екранні, відповідно до яких на електронну карту наноситься символ рухомого об'єкта [13], за яким ідентифікується візуальне відхилення рухомого об'єкта від заданого курсу.

Навігаційна підсистема, якою оснащується сільськогосподарська техніка, включає в себе багатоканальні GPS/GLONASS-приймачі, що підключені до бортового комп'ютера з програмним забезпеченням, необхідного для виконання обчислень. Даний комплекс дозволяє вести запис поточних координат агрегату, його висоти та інших параметрів із будь-якими заданими інтервалами часу. При цьому фіксація навігаційних даних проводиться в широко відомих форматах ESRI Shapefile і Mapinfo, що дозволяє імпортувати їх в офісні ГІС для подальшої обробки і виконання потрібних розрахунків.

Метою статті є дослідження високоточних методів отримання супутникових навігаційних даних для задач прецизійного водіння, які виникають в предметній області точкового землеробства, наприклад, забезпечення точного внесення посівного матеріалу, добрив і гербіцидів з метою їх економії, точного сапання різних культур, точного збирання врожаю та ін., при виконанні агротехнологічних операцій з використанням наземної техніки і сільськогосподарської авіації.

Основна частина. Найбільшого поширення в прецизійному землеробстві отримала приймальна апаратура американської системи у зв'язку з добре налагодженим виробництвом і повністю розгорнутим угрупованням космічних апаратів [4–6]. Як відомо, складові частини навігаційної системи GPS розділяються на три сегменти, рис. 1:

1. Космічний сегмент, який включає систему штучних супутників Землі (ШСЗ).
2. Сегмент управління, в який входить мережа наземних станцій управління та контролю.
3. Користувачський сегмент (споживачі навігаційних даних).

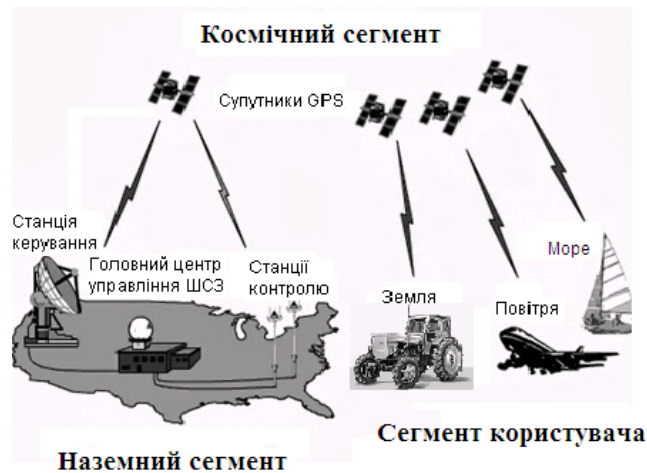


Рисунок 1 – Склад і взаємодія сегментів супутникової навігаційної системи GPS

До космічного сегменту належить сузір'я з 24 діючих і 4 запасних супутників, які обертаються навколо Землі по орбітах на висоті приблизно 20200 км. Час одного повного обороту супутника навколо Землі складає 12 годин. Запасні супутники дозволяють оперативно замінити супутник, який вийшов з ладу. Орбіти супутників обрано так, щоб з будь-якого пункту Землі можна було приймати сигнали щонайменше, ніж з 4 супутників.

Передавачі супутників безперервно випромінюють коливання двох частот L1 (1575.42 МГц) і L2 (1227.60 МГц), перша з яких модулюється кодами C/A (1.023 МГц) і P (10.23 МГц), а друга лише P-кодом. Причому C/A – код цивільного доступу, а P – захищений код. Крім формування і випромінювання навігаційних сигналів, вони передають інформацію про свою орбіту, а також про стан інших супутників системи і параметри їхніх орбіт. Супутники мають також приймачі, які отримують сигнали від основної станції сектора управління, яка надає інформацію про орбіти супутників. Траєкторії супутників коригуються з основної наземної станції керування.

Точність визначення місцезнаходження об'єктів і стабільність функціонування GNSS у великій мірі залежить від взаємного орбітального розташування супутників і параметрів їх сигналів та забезпечується спільним функціонуванням названих сегментів системи.

Наземний сегмент управління становлять:

- головний обчислювальний центр управління ШСЗ (*Master Control Station*),
- основна станція керування (*Ground Control Station*),
- групи пов'язаних стаціонарних станцій контролю (*Monitor Station*).

Наземна частина системи GPS складається з основної станції керування, суміщеної з обчислювальним центром, групи контрольно-вимірювальних станцій, пов'язаних з основною станцією і між собою каналами зв'язку, наземним еталоном часу і частоти. Координати контрольно-вимірювальних станцій визначено в трьох вимірах з максимальною точністю.

На кожній контрольно-вимірювальній станції використовуються GPS-приймачі для пасивного спостереження за супутниками, що знаходяться в їхній зоні видимості. Вони безперервно приймають навігаційні сигнали, що надсилаються супутниками, здійснюють

первинну обробку прийнятої інформації і виробляють обмін даними з основною станцією. Результати обробки сигналів супутників з контрольних станцій передаються в головний центр управління, де з метою поновлення обчислюються ефемериди (список координат) орбіт супутників. Далі отримані дані передаються на ШСЗ за допомогою основної станції керування, яка до того ж має можливість маневрувати двигунами супутників, коректуючи їх орбіти. Отже, на основній станції відбувається збір інформації від всіх контрольних-вимірювальних станцій, її математична обробка та обчислення різних координатних і коригувальних даних, які завантажуються в бортовий комп'ютер супутника.

Сегмент користувача складається з приймачів GPS-сигналів, які використовуються для виконання найрізноманітніших завдань на землі, в небі та на морі. У споживчому обладнанні присутній радіочастотний тракт, в якому реалізуються: прийом сигналів від кожного супутника із зони видимості, їх первинна обробка, а також обчислення для вторинної обробки кожного сигналу. Як правило, на початку обчислюються поточні координати супутників і дальності до них, а потім географічні координати споживача. Далі в залежності від призначення приймача інформація може надходити в пристрій відображення, в канал передачі або на блок управління зовнішніми механізмами.

Для цілей паралельного водіння в прецизійному землеробстві GPS є порівняно точною глобальною системою поточного місцевизначення рухомих об'єктів. Зрозуміло, що для підвищення цієї точності ідеальним рішенням було б усунення можливих недоліків та вдосконалення кожного з виділених сегментів GPS-системи. По аналогії з геодезичними вимірюваннями [14], більш точне отримання координат рухомих споживачів, ґрунтується на максимально точному знанні координат деякої опорної точки, зафіксованої на земній поверхні, відносно якої ведеться розрахунок похибок координат рухомих точок. Ця ідея лежить в основі таких методів, як-от DGPS (диференціальної GPS) і RTK (кінематики реального часу).

Суть методу DGPS полягає в тому, що за допомогою додаткового приймача (базової станції), що знаходиться на місцевості в точці із заздалегідь точно визначеними координатами, обчислюються похибки, які виникають в далекомірних супутникових сигналах, що надходять на GPS-приймачі. В результаті виходить псевдонова точка відліку, з якої передаються по каналах радіозв'язку сигнали корекції на будь-які інші приймачі GPS, рис. 2, що розташовуються в зоні дії так званого опорного (еталонного) приймача в деякій обмеженій області, для якої похибки однакові.

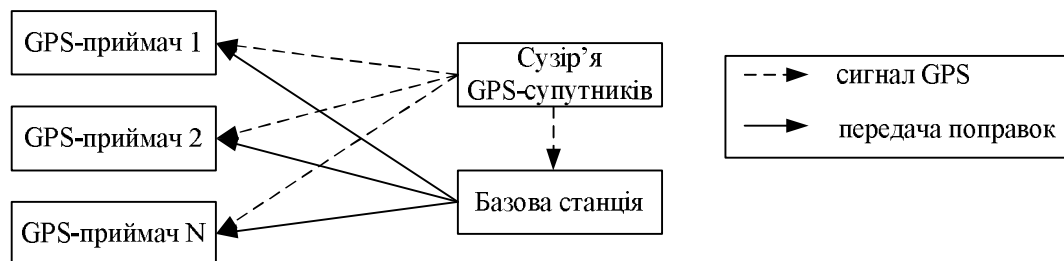


Рисунок 2 – Схема взаємодії елементів диференціальної GPS

Завдяки простій організації супутникових повідомлень єдиний коригувальний сигнал, що формується на базовій станції, усуває можливі помилки системи, незалежно від причин їх виникнення – через відхилення за часом, внаслідок похибок у визначенні поточного положення супутника чи від іоносферних і тропосферних затримок. Повідомлення про корекцію, яке посилає в ефір така еталонна (базова) станція, може бути організовано двома способами. У першому варіанті залежним приймачем по бездротових каналах зв'язку надсилаються дані про помилки (кодові диференційовані поправки), які потім на боці адресата обробляються програмним способом спільно з власними даними про місцезнаходження, для уточнення координат.

Другий варіант перетворює опорну станцію в псевдосупутник (pseudolite). Станція передає сигнали такої ж структури, як і супутники, тобто такі, що містять псевдовипадкові

коди та інформаційні повідомлення. Ведені приймачі обробляють сигнали базової станції в одному зі своїх невикористаних каналів, отримуючи дані корекції тим же шляхом, що і дані про ефемериди від реальних супутників. Система має той недолік, що при деяких умовах станція-псевдосупутник може бути джерелом перешкод в системі.

Створені до теперішнього часу нові GPS-приймачі, що працюють в режимі RTK [15, 16], ще більш автоматизовані за рахунок миттєвої реєстрації точних координат кожної чергової точки траєкторії руху об'єкта. Технологія RTK являє собою сукупність прийомів і методів отримання точних координат (на сантиметровому рівні) за допомогою GNSS. Ці методи базуються на вимірюванні фаз несучої GNSS-сигналу на частоті L1 одночасно на двох GNSS-приймачах, один з яких відіграє роль базової станції, а другий є її «клієнтом». Координати першого з приймачів (базового) повинні бути точно визначеними, адже його функціональне призначення полягає у формуванні та передачі по радіомодему набору фазових поправок. Інший супутниковий приймач може скористатися даними корекцій для точного визначення свого місця розташування в субсантиметровому діапазоні на відстанях порядку до 40 км від базового приймача. При більшій віддаленості ефективність поправок буде поступово знижуватися. Основною перевагою режиму є можливість точної обробки сигналу в режимі реального часу.

Завдяки методу RTX сантиметрова точність позиціонування в будь-якій точці Землі може бути досягнута без використання локальної базової станції. Так, служба корекції Trimble RTX CenterPoint забезпечує стійкий потік даних GNSS-корекції в реальному часі з точністю до сантиметра без використання тимчасових, постійних (перманентних) базових станцій або VRS-мереж (*Virtual Reference Station* – віртуальна референтна станція).

Зазначимо, що VRS – це технологія створення віртуальної базової станції всередині мережі перманентних станцій, рис. 3. Використовуючи дані як мінімум від трьох базових станцій (із середньою відстанню між найближчими станціями 50-70 км), програмна надбудова над GPSNet, під назвою RTKNet, здійснює обробку даних всіх вхідних в мережу GPS-станцій. При цьому серверна програма RTKNet може забезпечувати роботу як в режимі DGPS (точність 1–3 м), так і у високоточному RTK-режимі (точність 2–3 см) з ініціалізацією «на льоту».

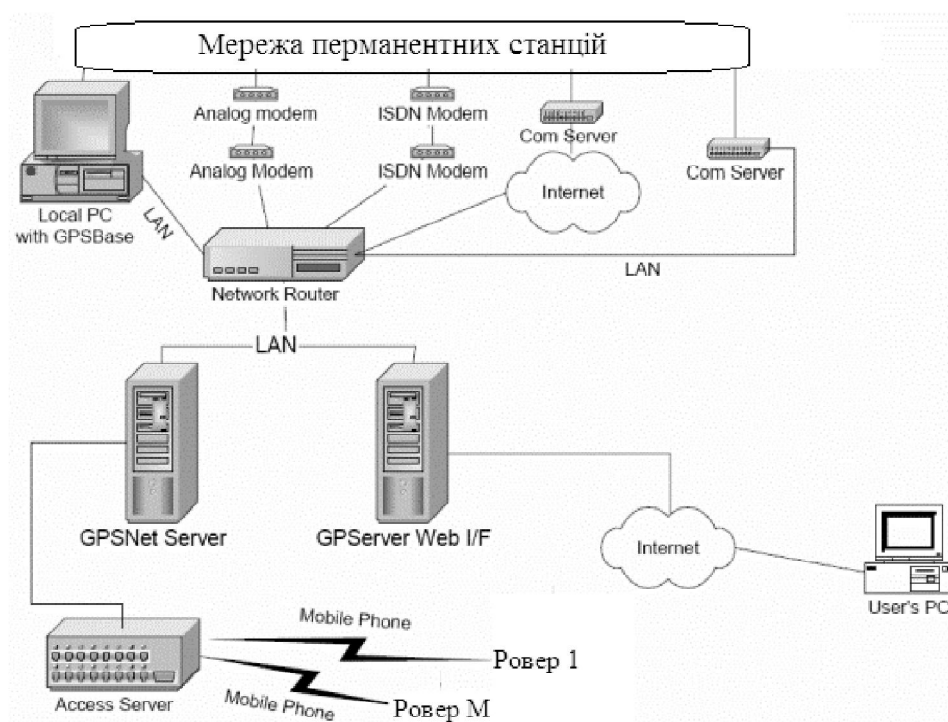


Рисунок 3 – Схема передачі даних при застосуванні VRS-технології

Основною перевагою VRS-системи є підвищення точності (за рахунок мінімізації помилок) і швидкості (через істотне, в декілька разів, зменшення часу від моменту встановлення зв'язку з обчислювальним центром до моменту фіксації рішення) визначення координат незалежно від віддалення до базових станцій мережі. В той же час користувач має можливість працювати без встановлених власних базових станцій і на значній відстані від базової станції мережі, отримуючи сантиметрову точність. Крім того, він застрахований від можливих помилок при установці і від збоїв у роботі системи: програмне забезпечення автоматично створює віртуальну базову станцію для кожного приймача в безпосередній близькості від нього. Повідомлення з коригуючими поправками генеруються в одному з форматів RTCM, CMR/CMR+. Якість і надійність даних, що отримуються за допомогою методу VRS, в порівнянні з традиційним RTK-режимом, підвищується на 30–40 %.

В свою чергу, в основу дії системи корекції RTX CenterPoint, рис. 4, закладена запатентована Trimble технологія RTX, яка заснована на використанні ряду методик, які в сукупності дають можливість користувачеві визначити своє місцеположення в будь-якій точці земної поверхні з сантиметровою точністю без прямого використання диференціальних поправок з базової станції.

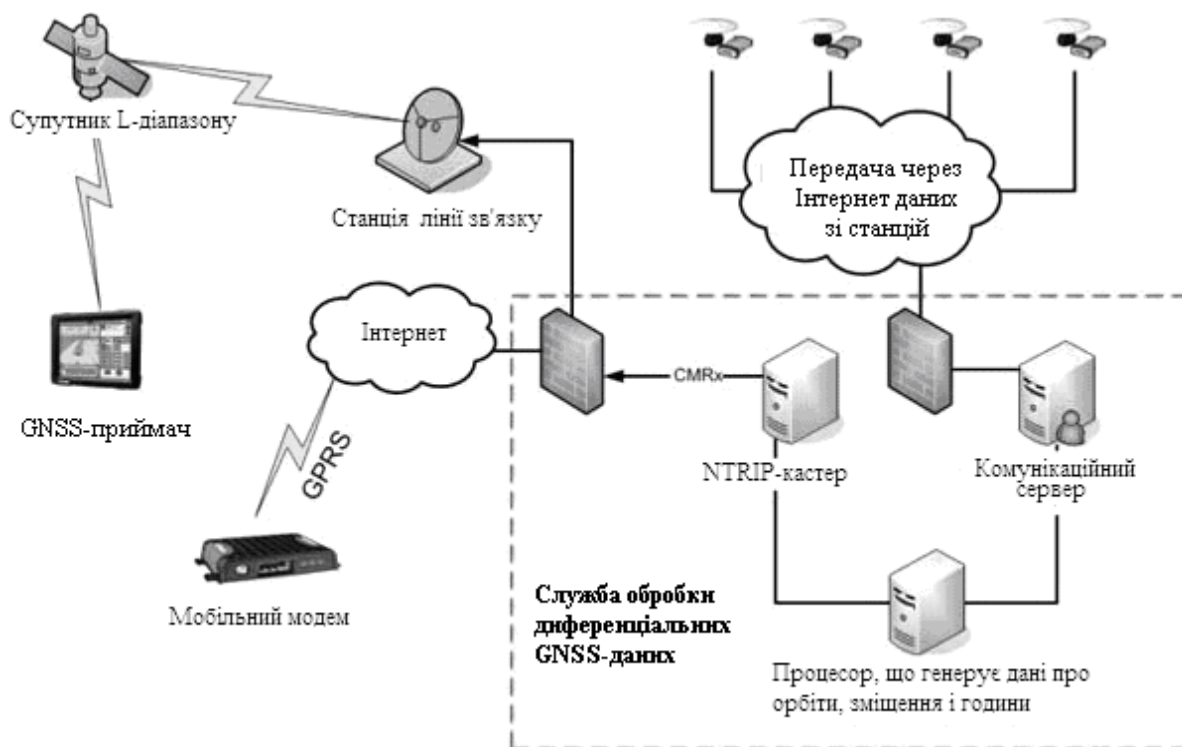


Рисунок 4 – Структурна схема системи RTX CenterPoint

Крім того, рішення RTX може бути застосовано до мульти-GNSS сузір'їв. Структурно сервіс корекції RTX складається з трьох основних частин:

- служби збору диференціальних GNSS-даних, яка представляє собою мережу моніторингових референтних станцій, розподілених по поверхні геоїда;
- служби обробки диференціальних GNSS-даних (на рис. 4 виділено пунктиром) і формування поправок для кінцевих користувачів, яка являє собою мережу операційних центрів, так само розміщених в різних точках Землі;
- служби доставки поправок до кінцевого користувача через Інтернет (по каналах радіо- чи стільникового мобільного зв'язку) або через супутниковий сигнал. В останньому випадку для передачі коригувального сигналу використовуються геостационарні супутники зв'язку дециметрового L-діапазону.

Принцип функціонування технології RTX полягає в наступному. Дані з моніторингових станцій збираються і передаються по Інтернету в операційні центри. Повні операційні центри є надлишковими з метою забезпечення стовідсоткової доступності та максимально високої надійності системи. При необхідності, джерело потоку коригувальних даних може перемикатися між операційними центрами та/або серверами обробки даних в межах цих центрів.

Зміни операційних даних обробляються детермінованим способом всіма частинами системи, включаючи приймач користувача. В операційних центрах резервні сервери зв'язку використовуються для передачі даних мережі спостереження на сервери обробки даних, мережні процесори яких генерують дані точних ефемерид орбіт, помилки годин і зміщення для будь-якої точки земної кулі.

Після обробки точні супутникові дані стискаються в повідомлення, сумісні з форматом CMRx (*Compact Measurement Record* – компактний запис вимірювань), який спеціально розроблено для компактної передачі супутникової інформації. Потім повідомлення передаються або на трансляючу станцію, або стають доступними для користувачів через Інтернет.

Варто зауважити, що супутниковий коригуючий сигнал RTX приймається власною антеною GNSS-приймача без використання будь-якого додаткового обладнання.

Основні порівняльні характеристики вищезгаданих методів, що є суттєвими для задач прецизійного водіння, зведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик високоточних методів для задач прецизійного водіння

<i>Метод</i>	<i>Точність</i>	<i>Потреба у додатковому обладнанні (базовій станції)</i>	<i>Тип каналу зв'язку</i>	<i>Радіус дії</i>	<i>Час ініціалізації</i>
DGPS	5-20 см	+	радіо	обмежений	Залежно від типу диференціальних сервісів
RTK	2,5 см	+	радіо	обмежений	< 1 хв
VRS	2,5 см	-	Інтернет	необмежений	< 1 хв
RTX	3,8 см	-	Інтернет	необмежений	30 хв

Досліджені методи склали основу запропонованої програмно-технічної системи, призначеної для розв'язання задач прецизійного землеробства (рис. 5), до якої входять навігаційний та інформаційно-аналітичний модулі, інтегруючою основою яких є геоінформаційне забезпечення, що базується на цифровій картографічній основі сільгоспугідь, єдиних класифікаторах інформації, форматах і узгоджених структурах баз даних. Ключовими елементами системи є:

- ГІС-модуль з функціями диспетчеризації сільгосптехніки і управління агротехнологічними операціями (оранка, внесення добрив, посів, боротьба зі шкідниками, збирання врожаю тощо);

- модуль моніторингу, що використовує бортове навігаційне обладнання, яке встановлюється на машино-тракторних агрегатах, з підтримкою диференціального і більш точних режимів, та приймально-передавальне обладнання для обміну даними за наявними каналами безпроводного зв'язку з подальшим зберіганням телеметричної інформації на сервері бази даних;

- модуль паралельного водіння, що забезпечує на полях сантиметрову точність водіння сільськогосподарської техніки, яка включає в себе інтегроване з датчиками і агрегатами бортове навігаційне обладнання з підтримкою режиму RTK на основі базової RTK-станції для генерації фазових поправок.

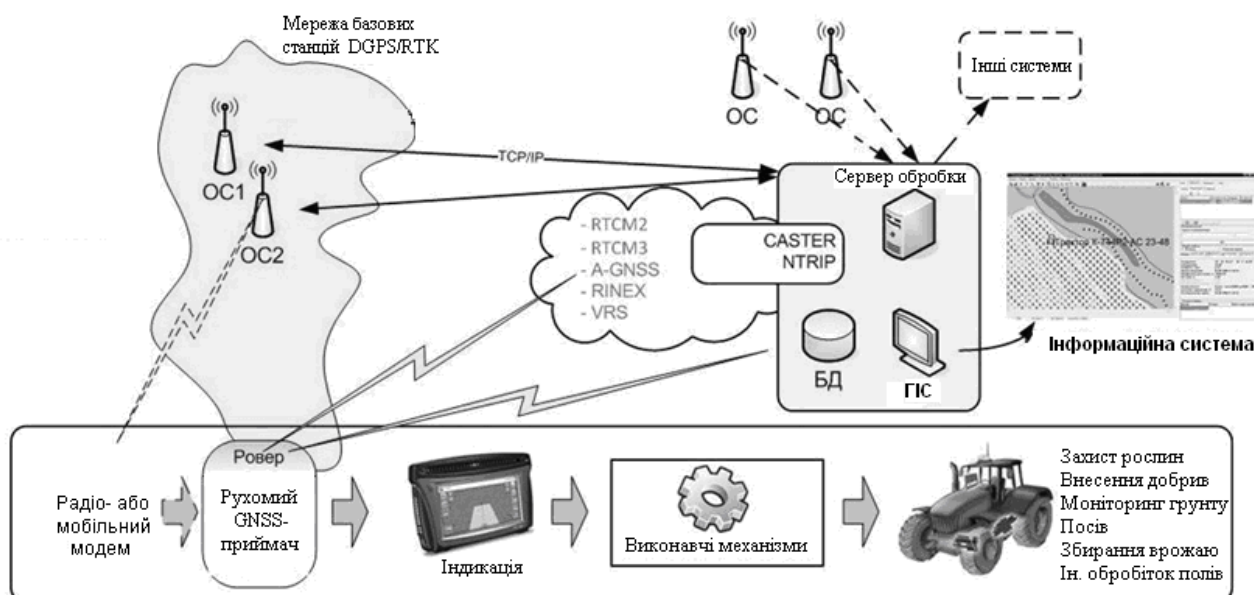


Рисунок 5 – Схема роботи програмно-технічної системи для розв'язання задач прецизійного землеробства: напрямки обміну інформацією між основними елементами

Функціонал системи розрахований на розв'язання таких основних задач з використанням розробленого програмного забезпечення:

- визначення місцеположення, побудова траєкторії і контроль за швидкістю руху (простою) транспорту, сільськогосподарської техніки та механізмів при проведенні агротехнологічних операцій, розрахунок пройденої або обробленої площі;
- задання маршруту (траєкторії) руху та контроль відхилень;
- запис в оперативну пам'ять за певний проміжок часу просторових даних, технічних (для сільськогосподарської техніки – обороти двигуна, швидкість, витрати палива) і технологічних (для сільськогосподарських робіт – площа оранки, дози внесення добрив) параметрів, з функцією їх контролю.

Ключовою перевагою запропонованої системи є комплексний підхід при розробці програмного забезпечення обробки навігаційних даних та асоційованої коригувальної інформації, яке інтегрує модулі на основі чотирьох високоточних методів.

Висновки:

1. Аналіз засобів збору та передачі навігаційних даних із підвищеною точністю для геоінформаційних систем реального часу (на прикладі предметної області точкового землеробства) показав, що в світі є ряд навігаційних систем, які забезпечують визначення прецизійного місцеположення рухомих об'єктів наземного та повітряного базування, які задіяні у процесі реалізації технології точного землеробства. Але відмічені система не забезпечують бажаної точності, необхідної для технології паралельного водіння.

2. Встановлено, що диференціальні вимірювання в GPS можуть бути набагато більш точними, ніж звичайні. Це обумовлено введенням опорної (базової) станції з відомими координатами, яка обчислює поправки і передає в ефір комбіновані повідомлення, здійснюючи корекцію супутникових вимірювань. Цими повідомленнями може скористатися будь-яка кількість ведених GPS-приймачів, для усунення практично всіх помилок у своїх вимірюваннях. Аналогічна технологія підтримується програмним забезпеченням для базових станцій, які дозволяють підвищити необхідну точність позиціонування об'єктів, використовуючи в роботі сигнали двох супутникових систем GPS і ГЛОНАСС.

3. Система корекції RTX дозволяє підвищити точність визначення місцеположення в обхід наземних базових станцій, використовуючи безпосередньо коригувальні сигнали з супутників або через мережу Інтернет.

4. З урахуванням прикладних задач предметної області точкового землеробства запропоновано гнучку структуру та склад програмно-технічної системи з функцією моніторингу, яка забезпечує сантиметрову точність паралельного водіння сільськогосподарських агрегатів з використанням програмних модулів комбінованої обробки даних поточної корекції координат.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Касім М. М. Деякі аспекти цифрової обробки космічних знімків земної поверхні / М. М. Касім, С. О. Ясенев // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XI Міжнар. наук.-практ. конф. студентів та молодих учених. – Т. 2. – К. : НАУ, 2011. – С. 360.
2. Касім М. М. Можливості обробки і використання даних дистанційного зондування землі на базі ГІС / М. М. Касім, С. О. Ясенев // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих учених. – К. : НАУ, 2012. – С. 156.
3. Анісевич Л. В. Навігація і управління рухом безпілотних польових машин / Л. В. Анісевич, Д. Г. Войтюк, Ф. М. Захарін. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 96 с.
4. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях : научно-технический обзор / Т. М. Белавцева. – М. : Федеральное государственное научное учреждение (ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ»), 2009. – С. 8–15.
5. Якушев В. В. Система поддержки принятия решений в земледелии. Принципы построения и функциональные возможности / В. В. Якушев // Современная агрофизика – Высоким агротехнологиям : материалы Международной конференции. – СПб. : АФИ, 2007.
6. Касім М. М. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні / М. М. Касім, М. І. Васюхін // Енергетика і автоматика : електрон. наук. фак. вид. – К. : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2016. – № 2 (28). – С. 64–73.
7. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування / [Б. Гоффман-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. з англ. за ред. Я. С. Яцків]. – Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2005. – 443 с.
8. Методи та засоби побудови динамічних сценаріїв у навігаційних геоінформаційних системах / [О. В. Палагін, М. І. Васюхін, А. М. Касім та ін.] // Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем : збірник матеріалів наук.-практ. конф. (29 січня 2015 року, м. Львів). – Львів : АСВ, 2015. – С. 185–200.
9. К вопросу управления подвижными средствами / [И. М. Скубилин, А. Н. Ткаченко, А. М. Касим и др.] // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика. – ПАРУСА-2013 : сборник трудов II Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Геленджик : Издательство Южного федерального университета, 2013. – Т. 1. – С. 91–105.
10. Касім М. М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства / М. М. Касім, А. М. Касім // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016 : збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 червня 2016). – Немішаєве : НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 58–60.
11. Кравчук В. І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин : монографія / В. І. Кравчук. – К. : НАУ, 2005. – 208 с.
12. Проблеми побудови системи прецизійного землеробства на Україні / [М. І. Васюхін, О. М. Ткаченко, А. М. Касім, Ю. Ю. Іваник] // Проблеми інформаційних технологій. – 2014. – № 1 (015). – С. 112–117.

13. Методы формирования динамических сценариев в системах прецизионного вождения / [М. И. Васюхин, А. М. Касим, В. В. Долынный, Ю. Ю. Иваник] // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2015. – № 2 (13). – С. 294–300.

14. Васюхін М. І. Програма – план робіт з топографічного знімання місцевості для визначення точного місцеположення об'єктів на сільськогосподарських полях (на прикладі с. Пшеничне Васильківського р-ну київської обл.) / М. І. Васюхін, М. М. Касим, О. В. Сініцин // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016 : збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 червня 2016). – Немішаєве : НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 51–52.

15. Віват А. Й. Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK / А. Й. Віват, В. О. Літинський, В. М. Колгунов, І. Я. Покотило // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип. 74. – 2011. – С. 52–59.

16. Патент 6133000 В1 США, US6553299, US20030187560. Методи та апаратура для точного землеробства операцій з використанням реального часу кінематичних систем глобальної системи позиціонування / Рассел Дж. Келлер, Марк Е. Ніколос, Артур Ф. Ланге; патентовласник Trimble Navigation Limited; заявл. 15.07.1998; опубл. 06.03.2001; пріоритет 15.06.1998, № 09/116, 312 (США)

REFERENCES

1. Kasim, M. M., & Yasenev, S. O. (2011). Deiaiki aspekty tsyfrovoy obrobky kosmichnykh znmkiv zemnoi poverkhni. *Polit. Suchasni problemy nauky: XI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv ta molodykh uchenykh*. Kyiv: NAU, 360.

2. Kasim, M. M., & Yasenev, S. O. (2012). Mozhlyvosti obrobky i vykorystannia danykh dystantsiinoho zonduvannia zemli na bazi HIS. *Polit. Suchasni problemy nauky: XII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv ta molodykh uchenykh*. Kyiv: NAU, 156.

3. Aniskevych, L. V., Voitiuk, D. H., & Zakharin, F.M. (2012). *Navihatsiia i upravlinnia rukhom bezpilotnykh polovykh mashyn*. Nizhyn: Vydavets PP Lysenko M.M.

4. Belavtseva, T. M. (2009). *Tekhnolohyy tochnoho zemledelyia, ykh perspektivy y vozmozhnomy yspolzovaniia na melyoryrovannykh zemliakh*. Moskva: FHNU TsNTY «Melyovodynform».

5. Yakushev, V. V. (2007). Systema podderzhky pryniatyia reshenyi v zemledelyi. *Pryntsypy postroeniia y funktsyonalnye vozmozhnomy. Sovremennaia ahrofyzyka – vysokym ahrotekhnolohiyam: materyaly Mezhdunar. konf.* – SPb.: AFY.

6. Kasim, M. M., & Vasiukhin, M. I. (2016). Osnovni tendentsii rozvytku heoinformatsiinykh navihatsiinykh system pretsyziinoho zemlerobstva v Ukraini. *Enerhetyka i avtomatyka*, 2 (28), 64–73.

7. Hoffman-Vellenhof, B., Legat, K., & Vizer, M. (2005). *Navihatsiia. Osnovy vyznachennia mistsepolozhennia ta skerovuvannia*. Lviv: Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka.

8. Palahin, O. V., Vasiukhin, M. I., Kasim, A. M., Ivanyk, Yu. Yu., Dolynnyi, V. V. (2015). Metody ta zasoby pobudovy dynamichnykh stsenariiv u navihatsiinykh heoinformatsiinykh systemakh. *Perspektivy rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnia viiskamy ta heoinformatsiinykh system: nauk.-prakt. konf.* – Lviv: ASV, 185–200.

9. Yvanyk, Yu. Yu., Kasim, A. M., Tkachenko, A. N., Skubyl'n Y. M. (2013). K voprosu upravleniya podvyzhyimyy sredstvamy. *Problemy avtomatyzatsyy. Rehyonalnoe upravlenye. Sviaz y avtomatyka. – PARUSA-2013: II Vserossyiskaia nauchn. konf. molodykh uchenykh, aspyrantov y studentov*. Helendzhik: Yzdatelstvo Yuzhnogo federalnogo unyversyteta, 91–105.

10. Kasim, M. M., Kasim, A. M. (2016). Alhorytmichni metody pidvyshchennia tochnosti vyznachennia prostorovo-chasovykh koordynat mobilnykh ahrehativ v systemakh tsyfrovoho zemlerobstva. *Hlobalni ta rehionalni problemy informatyzatsii v suspilstvi ta pryrodokorystuvanni: IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Nemishaieva: NMTs «Nemishaieva», 58–60.

11. Kravchuk, V. I. (2005). *Teoretychni osnovy adaptatsii silskohospodarskykh mashyn*. Kyiv: NAU.
12. Vasiukhin, M. I., Tkachenko, O. M., Kasim, A. M., Ivanyk, Yu. Yu. (2014). Problemy pobudovy systemy pretsyziinoho zemlerobstva na Ukraini. *Problemy informatsiinykh tekhnolohii*, 1 (015), 112–117.
13. Vasiukhyn, M. Y., Kasim, A. M., Dolinnii, V. V., Yvanyk, Yu. Yu. (2015). Metodi formyrovannya dynamycheskykh stsenaryev v systemakh pretsyzyonnoho vozhdennia. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, 2 (13), 294–300.
14. Vasiukhin, M. I., Kasim, M. M., Sinitsyn, O. V. (2016). Prohrama – plan robit z topohrafiichnogo znimannia mistsevosti dlia vyznachennia tochnoho mistsepolozhennia ob'ektiv na silskohospodarskykh poliakh (na prykladi s. Pshenychne Vasytkivskoho r-nu Kyivskoi obl.). *Hlobalni ta rehionalni problemy informatyzatsii v suspilstvi ta pryrodokorystuvanni: IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Nemishaieva: NMTs «Nemishaieva», 51–52.
15. Vivat, A. Y., Litynskyi, V. O., Kolhunov, V. M. et al. (2011). Doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat GNSS metodom u rezhymy RTK. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 74, 52–59.
16. Patent USA 6133000 B1, US6553299, US20030187560. Metody ta aparatura dlia operatsii tochnoho zemlerobstva z vykorystanniam kinematychnykh system realnoho chasu hlobalnoi systemy pozytsionuvannia / Russel Dzh. Keller, Mark E. Nikolos, Artur F. Lanhe; patentovlasnyk Trimble Navigation Limited; zaiavl. 15.07.1998; opubl. 06.03.2001; priorytet 15.06.1998, # 09/116, 312 (USA).

Касим М. М., Васюхин М. И., Касим А. М. ВЫСОКОТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗИОННОГО ВОЖДЕНИЯ
Представлены результаты теоретических исследований точности координат позиционирования подвижных объектов средствами спутниковых навигационных систем в режимах DGPS, RTK, VRS, RTX. Показано, что самую высокую точность обеспечивают методы, основанные на использовании корректирующих RTK- и RTX- сигналов, причем последний не требует наличия дополнительной базовой станции. Предложена структура и состав программно-технической системы с функцией мониторинга, которая обеспечивает сантиметровую точность параллельного вождения сельскохозяйственных агрегатов с использованием программных модулей комбинированной обработки данных текущей коррекции координат.

Ключевые слова: навигационные данные, спутники GNSS, комбинированные сообщения корректирующий сигнал, референтная станция, дифференциальные поправки, точность координат.

Kasim M. M., Vasyuhin M. I., Qasem A. M. PRECISION METHODS OF RECEIVING SATELLITE NAVIGATION DATA FOR PRECISION DRIVING PROBLEMS

The results of theoretical research of precision positioning coordinates of moving objects by means of satellite navigation systems in DGPS, RTK, VRS, RTX. It is shown that the highest accuracy provide methods based on the use of corrective RTK- and RTX- signals, the latter does not require additional base station. The structure and composition of software and technical system monitoring feature that provides centimeter precision parallel driving agricultural units using software modules combined data correction current coordinates.

Keywords: data navigation satellites GNSS, combined messages adjustment signal reference station differential corrections, accuracy coordinates.

© Касим М. М., Васюхин М. И., Касим А. М.

Статтю прийнято
 до редакції 31.03.16

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Марасанов В. В., д.т.н., профессор, профессор кафедры технической кибернетики
Херсонского национального технического университета,
E-mail: kafedra_tk@kntu.net.ua;

Шарко А. А., магистр Херсонского национального технического университета,
E-mail: kafedra_tk@kntu.net.ua

Предложено математическое обоснование обеспечения построения моделей определения координат источников акустической эмиссии и алгоритмов поиска дефектов. Показано, что параметры сигналов акустической эмиссии связаны с локальными перестройками структуры материалов и процессами движения дислокаций. Дано описание строения типовых схем расположения датчиков при контроле дефектов методом акустической эмиссии. Предложены формулы локализации источников акустической эмиссии при различных вариантах расположения датчиков на плоскости.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустическая эмиссия, координаты дефектов

Актуальность темы. Использование методов акустической эмиссии в устройствах неразрушающего контроля позволяет вести мониторинг разнообразных по форме и размерам металлических конструкций. Применение методов акустической эмиссии для неразрушающего контроля металлических конструкций в большинстве случаев сводится к определению места дефекта. Растущий дефект производит сигнал, который может быть обнаружен дистанционно и представляется возможным найти его местоположения путем обработки разницы времени прихода волны. По интенсивности актов эмиссии принимает заключение об опасности дефектов. С этих позиций тема работы приобретает актуальность.

Анализ публикаций по проблеме построения модели определения координат дефектов по источникам сигналов акустической эмиссии показывает, что вопросы зависимости параметров волн эмиссии от размеров дефектов, материалов, величины нагрузки и т.д. постоянно находятся в центре внимания [1–8].

Цель работы. Обоснование моделей и алгоритмов поиска дефектов путем определения координат источников сигналов акустической эмиссии.

Изложение основного материала. В процессе изучения механизма разрушения изделий было установлено, что по мере того, как материал упруго деформируется, часть накопленной энергии упругой деформации освобождается в виде волн напряжений, называемых акустической эмиссией. Акустическая эмиссия воспринимается от очень низких уровней деформации порядка 0,05 % до уровней высоких напряжений, вплоть до излома. Впервые существование эффекта акустической эмиссии было предсказано Кайзером в 1953 г. [9]. Было высказано предположение, что измеряя параметры, характеризующие излучение акустической волны, можно определить координаты места этого излучения и установить взаимосвязь параметров излучения с самими явлениями, протекающими при пластическом деформировании.

Разработанные методы диагностического контроля и необходимая для этих целей аппаратура предоставляют широкие возможности для неразрушающей диагностики сосудов давления, сварных и клеевых соединений, обнаружения усталостных трещин, изменения структуры материалов.

Тесная связь между процессами, происходящими внутри материала при разрушении, и наличием эффекта акустической эмиссии позволяет, регистрируя эффект акустической эмиссии, определить степень опасности происходящих в материале изменений.

Метод акустической эмиссии основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения контролируемых объектов. Это позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект. С помощью метода акустической эмиссии можно измерять уровень напряжений и деформаций материала, обнаруживать развивающиеся дефекты, определять их координаты, оценивать степень опасности при оценке состояния конструкций и сооружений. Однако эти методы не нашли пока широкого практического применения. Объясняется это их относительной новизной, наличием ряда нерешенных еще вопросов теории и практики, а также отсутствием систематизированной информации, широкому кругу специалистов, о сущности и возможностях методов, их достоинствах и недостатках, рациональных областях применения.

Акустическая эмиссия отличается от большинства методов неразрушающего контроля в трех ключевых аспектах:

- источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным;
- в отличие от других методов акустическая эмиссия обнаруживает развивающиеся наиболее опасные дефекты;
- метод является дистанционным, т. к. не требует сканирования поверхности объекта для поиска локальных дефектов, а лишь правильного размещения датчиков на поверхности объекта для осуществления локализации источника акустического сигнала.

Анализ возникновения сигналов акустической эмиссии с точки зрения математической теории упругости позволяет сделать предположение о возможности модельного представления развития дефектов.

Параметры сигналов АЭ, связанных с локальными перестройками структуры материалов, взаимосвязаны с параметрами кинетики развития дефектов и разрушения материала. Одним из источников деформационных сигналов являются процессы движения дислокаций.

Частотный спектр сигналов акустической эмиссии простирается от области слышимых частот до десятков и сотен мегагерц. Известно, что пластические и прочностные свойства материала определяются наличием в нем дислокаций. В зависимости от направления обрыва атомной плоскости к дислокациям приписывают положительный и отрицательный знак. Их взаимодействие обуславливается упругими напряжениями, вызываемыми каждой дислокацией. Ускоренное движение и аннигиляция дислокаций вызывают акустические импульсы.

В процессе деформации в условиях эксплуатации при знакопеременных нагрузках изменяется длина дислокационной петли. Уменьшение длины дислокационных петель сказывается на уменьшении затухания и увеличении скорости акустических волн [5]. Форма дислокации при малом и большом затухании среды представлена на рис. 1.

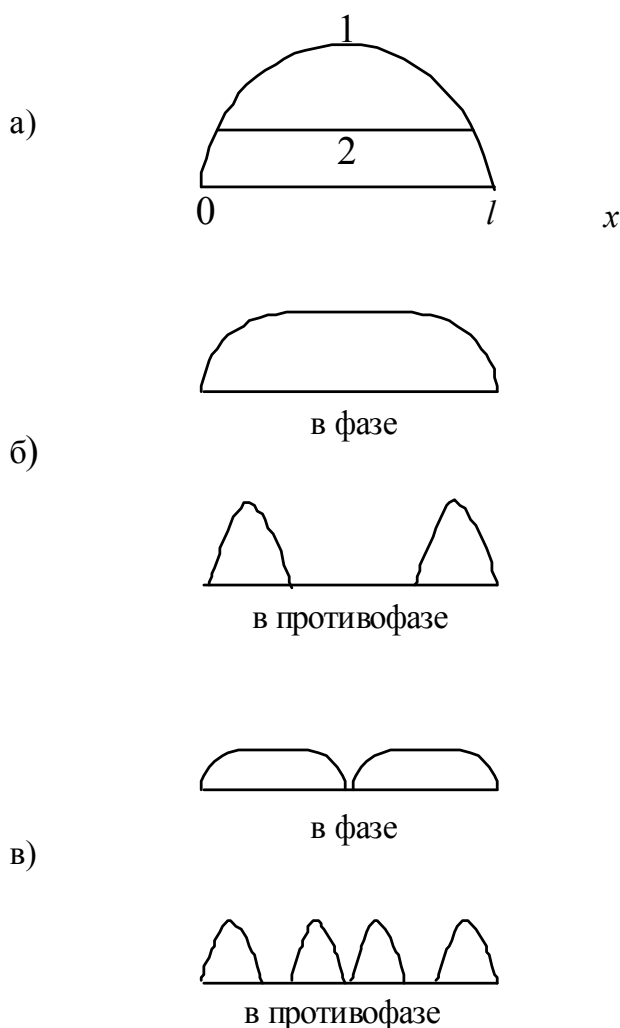


Рисунок 1 – Форма дислокации (а) при малом (1) и большом (2) затухании среды. Схема смещения дислокации под действием приложенного напряжения с двумя (б) и с тремя (в) центрами закрепления

Дислокационная петля длиной l в момент, когда приложенное напряжение равно 0, может быть представлена прямой линией, лежащей вдоль оси x от $x = 0$, до $x = l$. Под действием напряжения дислокационная петля изгибается между точками закрепления на концах (кривая 1 на рис. 1а). движение дислокации при образовании дефекта ограничивается только натяжением дислокационной линии. Точки среды, находящиеся вблизи центра закрепления дислокации имеют небольшое смещение. Поэтому они находятся в фазе с приложенным напряжением. Точки среды, находящиеся по середине дислокации отстают по фазе от приложенного напряжения на $\frac{\pi}{2}$. Это видно из рис. 1б, где представлена кривая 2, часть которой находится в фазе, а часть в противофазе с приложенным напряжением. Если длина петли l велика, то смещение вдоль большей ее части будет в противофазе.

При акустических измерениях находящееся в противофазе и находящееся в фазе смещение определяется отдельно. Смещение находящиеся в противофазе приводит к затуханию, а смещение находящееся в фазе – к изменению скорости распространения акустических волн. Если продолжать добавлять точки закрепления, то дислокационное смещение будет постоянно уменьшаться и в конце-концов составляющие смещения становятся полностью закрепленными. Уменьшение расстояния между точками

закрепления приводит к взаимодействию между ними, что и определяет обычно наблюдаемое в эксперименте изменение скорости, так как чем больше точек закрепления, тем больше сегментов, движение которых ограничено линейным натяжением.

В зависимости от конфигураций расположения группы датчиков при обнаружении развивающихся дефектов возможны следующие наиболее простые варианты их расположения на контролируемой поверхности:

- центрированного треугольника;
- ромба;
- прямоугольника;
- в виде буквы «Т»;
- равнобедренного треугольника.

Математическая модель обнаружения дефектов основывается на существовании однозначной зависимости между напряжениями в среде и смещениями при наличии развивающегося дефекта:

$$U(r,t) = f\left(\frac{1}{\sqrt{r}}, t, \Delta t, p, l, \Delta l\right),$$

где $U(r,t)$ – смещение точек среды, r – расстояние от датчика до источника сигнала, t – время зарождения сигнала, Δt – время принятия сигнала датчиком акустической эмиссии, p – скачок напряжений на границе субмикротрещин, l – размер дефекта, Δl – приращение размера дефекта в процессе развития.

Анализ экспериментального и теоретического материала обнаружил ряд трудностей и ограничений в использовании предлагаемой модели:

- интенсивность сигналов акустической эмиссии в динамическом развитии дефектов различна;
- сигналы акустической эмиссии обладают большим диапазоном изменения характерных параметров;
- значения параметров сигналов акустической эмиссии при внутренней перестройке структуры материала и его дефектности носят стохастический характер с различными законами распределения вероятностей.

Важным информативным параметром сигнала служит степень локализации источника сигнала. Степень локализации дефекта определяется измерением координат источника акустической эмиссии. В основу метода определения координат положено измерение разности времени прихода импульсов акустической эмиссии к нескольким разнесенным в пространстве точечным акустическим датчикам, регистрирующим акты акустической эмиссии. Датчики в своем расположении могут образовывать сетку, опоясывающую всю конструкцию.

Для определения координат дефектов, т. е. локализации источников акустической эмиссии датчики устанавливаются в определенной конфигурации, которая образует так называемую антенную решетку. По взаимному расположению различают зональную, линейную, плоскостную и объемную схемы локализации.

Зональная локация подразумевает такую расстановку датчиков, при которой сигнал из любой точки контроля доходит хотя бы до одного датчика. Она применяется при проведении испытаний, когда не требуется определение места расположения источников акустической эмиссии.

При линейной схеме сигнал из любой точки контроля воспринимается минимум двумя датчиками. Плоскостные схемы размещения датчиков требуют выполнения регистрации сигналов минимум тремя датчиками, объемные – четырьмя.

Алгоритмы расчета координат дефекта основаны на определении разности времени прихода фронта акустической волны к нескольким приемникам акустической эмиссии.

Наиболее точную информацию об источнике акустической эмиссии дает датчик, который является самым близким к нему.

Строение типовых схем. Объекты, для которых допустимо определение только одной координаты, т.е. таких, у которых один размер (длина) во много раз больше других размеров (ширины и толщины), являются линейными.

Для определения одной координаты достаточно измерить одну разность времени прихода, следовательно, достаточно двух приемников (рис. 2).

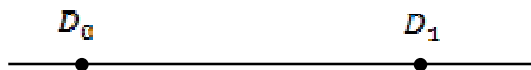


Рисунок 2 – Контроль линейного объекта

Если начало отсчета выбрать посередине между приемниками, т.е. $x_1 = -x_0$, то на счетчике разности времени прихода будет фиксироваться координата источника в масштабе с коэффициентом $2f/V$. Если частоту генератора заполняющих импульсов f подобрать численно равной $V/2$, то на счетчике разности времени прихода можно получить координату x в виде:

$$x = (x_0 + x_1 + V\Delta t)/2,$$

где x_0 и x_1 – соответственно координаты нулевого и первого приемников, а V – скорость распространения волн акустической эмиссии.

Для случая двухмерных объектов функция расстояния до источника акустической эмиссии имеет вид:

$$R(x, y) = \sqrt{(x_0 - x)^2 - (y_0 - y)^2}.$$

Следовательно, определение координат для этого случая сводится к решению уравнения следующего вида:

$$VT_0 + V\Delta t_i = \sqrt{(x - x_i)^2 - (y - y_i)^2}.$$

То есть для определения координат на плоскости необходимо измерить две независимых разности времен прихода. Для этого достаточно расположение на контролируемой поверхности трех приемников акустической эмиссии (рис. 3) $D_0(0;0), D_1(x_1; y_1), D_2(x_2; y_2)$.

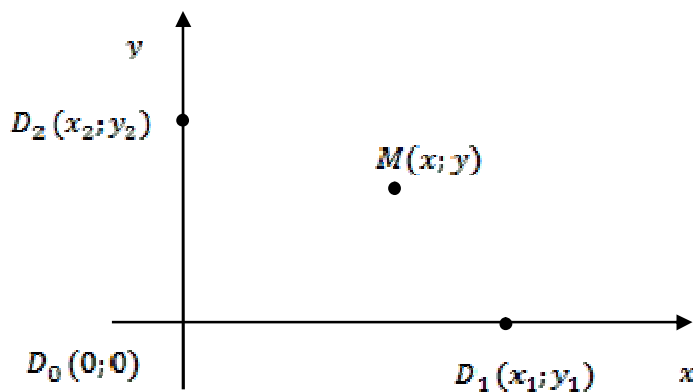


Рисунок 3 – Расположение трех приемников

Формулы для определения координат источника $M(x; y)$ находятся при использовании следующих обозначений:

$$VT_0 = R;$$

$$VT_1 = R + r_1;$$

$$VT_2 = R + r_2.$$

При расположении начала координат в точке приемника D_0 получим систему уравнений следующего вида:

$$(x - x_i)^2 - (y - y_i)^2 = (R + r_i)^2 \quad i = 0, 2.$$

Решение данной системы выглядит следующим образом:

$$x = K_1 R + A_1;$$

$$y = K_2 R + A_2;$$

$$r_1 = V\Delta t_1 = V(T_1 - T_0);$$

$$r_2 = V\Delta t_2 = V(T_2 - T_0);$$

$$K_1 = (r_1 y_2 - r_2 y_1) / (x_2 y_1 - x_1 y_2);$$

$$K_2 = (r_1 x_2 - r_2 x_1) / (x_1 y_1 - x_2 y_2);$$

$$A_1 = \frac{r_1^2 y_2 - r_2^2 y_1 + y_1 y_2 (y_2 - y_1) + x_2^2 y_2 - x_1^2 y_2}{2(x_2 y_1 - x_1 y_2)};$$

$$A_2 = \frac{r_1^2 x_2 - r_2^2 x_1 + x_1 x_2 (x_2 - x_1) + y_2^2 x_2 - y_1^2 x_2}{2(x_1 y_2 - x_2 y_1)};$$

$$R = \frac{(A_1 K_1 + A_2 K_2 \pm \sqrt{A_1^2 A_2^2 - (A_1 K_2 - A_2 K_1)^2})}{(K_1^2 K_2^2 - 1)}.$$

Представленные формулы позволяют определять координаты источника при произвольном расположении приемников.

Рассмотрим определение координат для случая симметричного расположения трех приемников:

– равнобедренный треугольник (рис. 4)

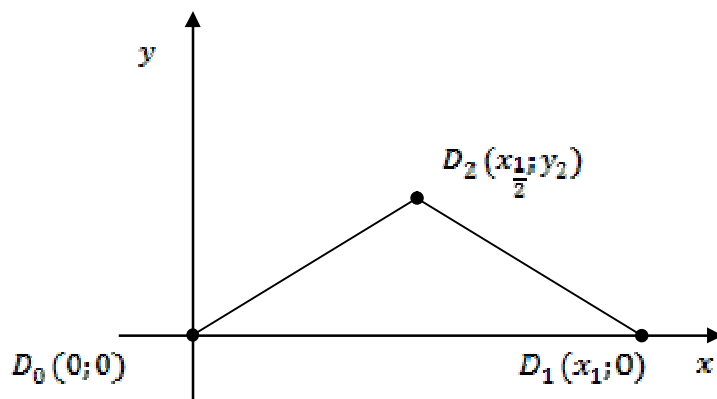


Рисунок 4 – Расположение приемников сигналов акустической эмиссии по типу равнобедренного треугольника

$$\begin{aligned}
 x &= K_1 R + A_1; \\
 y &= K_2 R + A_2; \\
 K_1 &= -r_1 / x_1; \\
 K_2 &= -r_2 / 2y_2; \\
 A_1 &= \frac{r_1^2 - x_1^2}{2x_1}; \\
 A_2 &= \frac{r_1^2 - 2r_2^2 + 2y_2^2 + 2x_1^2}{4y_2}; \\
 R_{1,2} &= \frac{(A_1 K_1 + A_2 K_2 \pm \sqrt{A_1^2 A_2^2 - (A_1 K_2 - A_2 K_1)^2})}{(K_1^2 K_2^2 - 1)};
 \end{aligned}$$

– прямоугольный треугольник (рис. 5)

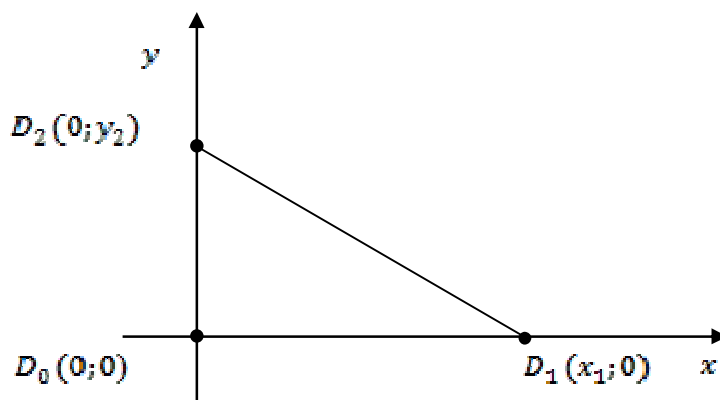


Рисунок 5 – Расположение приемников сигналов акустической эмиссии по типу прямоугольного треугольника

$$\begin{aligned}
 x &= K_1 R + A_1; \\
 y &= K_2 R + A_2; \\
 K_1 &= -r_1 / x_1; \\
 K_2 &= -r_2 / y_2; \\
 A_1 &= \frac{x_1^2 - r_1^2}{2x_1}; \\
 A_2 &= \frac{y_1^2 - r_1^2}{2y_2}; \\
 R &= \frac{(A_1 K_1 + A_2 K_2 \pm \sqrt{A_1^2 A_2^2 - (A_1 K_2 - A_2 K_1)^2})}{(K_1^2 K_2^2 - 1)};
 \end{aligned}$$

– три равноудаленных приемника сигналов акустической эмиссии на одной линии через одинаковые промежутки (рис.6)

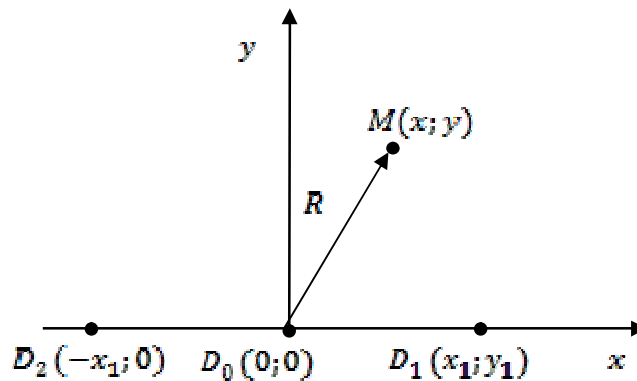


Рисунок 6 – Определение координат дефектов с помощью трех равноудаленных приемников сигналов акустической эмиссии

$$\begin{aligned}
 2R &= \frac{(r_2^2 - r_1^2 + 2x_1^2)}{r_1 - r_2}; \\
 x &= \frac{(x_1^2 - r_1(r_1 + 2R))}{2x_1} \\
 y &= \pm \sqrt{R^2 - x^2}
 \end{aligned}$$

При определении координат дефектов по трехточечной схеме необходимо измерять время распространения сигнала от приемников, образующих треугольник. Тогда источник акустической эмиссии будет находиться внутри треугольника и его координаты будут определены однозначно. Формулы для определения координат источника, становятся тем проще, чем больше координат приемников стремятся к нулю.

Выводы. Преимуществами метода акустической эмиссии перед другими методами неразрушающего контроля являются: интегральность метода, которая заключается в том, что используя один или несколько датчиков, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект целиком. В отличие от сканирующих методов неразрушающего контроля метод акустической эмиссии не требует тщательной

подготовки поверхности объекта контроля. Обнаружение регистрации развивающихся дефектов позволяет классифицировать дефекты не только по их размерам, но и по степени их опасности.

Предложенное математическое обеспечение построения моделей определения координат источников акустической эмиссии позволяет локализовать дефекты, наглядно просмотореть или накопить информацию о поведении дефекта.

Метод акустической эмиссии позволяет обнаруживать дефекты структуры материала на уровне скопления дислокаций. При этом анализируется только развивающиеся дефекты. Несмотря на то, что методы акустической эмиссии еще находятся в стадии становления и развития можно с уверенностью сказать, что появился новый мощный инструмент для определения качества материала металлоконструкций. В совокупности с другими способами методы акустической эмиссии образуют неразрывный комплекс, обладающий высокой экспрессностью и информативностью. Внедрение таких комплексных систем неразрушающего контроля в практику эксплуатации металлоконструкции гарантирует высокое качество и надежность конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jiang X. U., Xiaojun T. G., Shuchun L. I., Yunqi T. O., Yongdong J. G. (2009). Space-time evolution rules study on acoustic emission location in rock under cyclic loading. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3 (4). 422–427.
2. Неразрушающий контроль : Справочник: в 7 т. / под общ. ред. В. В. Ключева. – Т.7: в 2 кн. Кн.1: Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. – М. : Машиностроение, 2005. – 829 с.
3. Серьезнов А.Н. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев. – М. : Машиностроение. 2004. – 392 с.
4. Бунина Н. А. Исследование пластической деформации металлов методом акустической эмиссии / Н. А. Бунина. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1990. – 176 с.
5. Букетов А. В. Влияние изменения дислокационной структуры на акустические характеристики материалов / А. В. Букетов, В. Д. Нигалатий, С. А. Рожков, А. В. Шарко // Наукові нотатки. – Випуск 48. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – С. 220–224.
6. Кайно Г. Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов / Г. Кайно. – М. : Мир, 1990.
7. Полесская Л. М. Об определении координат дефектов в конструкциях с произвольной поверхностью/ Л. М. Полесская, В. В. Гричук, А. А. Балабанов, В. В. Марасанов //Дефектоскопия. – 1978. – № 7. – С. 50–56.
8. Степанов Г. В. Упругопластичное деформирование и разрушение материалов при импульсном нагружении. – К. : Наукова думка, 1991. – 292 с.
9. Keiser J. Arch // Eisenhutten. – 1953. – № 1–2. – P. 43–45.

REFERENCES

1. Jiang X. U., Xiaojun T. G., Shuchun L. I., Yunqi T. O., Yongdong J. G. (2009). Space-time evolution rules study on acoustic emission location in rock under cyclic loading. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3 (4). 422–427.
2. Klyueva V. V. (Ed.). (2005) *Nerazrushayuthiyj kontrolj : Spravochnik: v 7 t.* M. : Mashinostroenie.
3. Serjeznov A. N., Stepanova L. N., Muravjev V. V. (2004). *Diagnostika ob'jektiv transporta metodom akusticheskoyj ehmissii.* M. : Mashinostroenie.
4. Bunina N. A. (1990). *Issledovanie plasticheskoyj deformacii metallov metodom akusticheskoyj ehmissii.* L. : Izd-vo LGU.

5. Buketov A. V., Nigalatiy V. D., Rozhkov S. A., Sharko A. V. (2015). Vliyanie izmeneniya dislokacionnoy strukturi na akusticheskie kharakteristiki materialov. *Naukovi notatki*, 48, 220–224. Lucjk: LNTU.
6. Kayjno G. (1990) *Akusticheskie volnih: Ustroystva, vizualizaciya i analogovaya obrabotka signalov*. M. : Mir.
7. Polesskaya L. M., Grichuk V. V., Balabanov A. A., Marasanov V. V. (1978). Ob opredelenii koordinat defektov v konstrukciyakh s proizvoljnoy poverkhnost'yu. *Defektoskopiya*, 7, 50–56.
8. Stepanov G. V. (1991) *Uprugoplastichnoe deformirovanie i razrushenie materialov pri impulsnom nagruzhении*. K. : Naukova dumka.
9. Keiser J. (1953). *Arch. Eisenhutten*, 1–2, 43–45.

Марасанов В. В., Шарко А. О. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Запропоновано математичне забезпечення побудови моделей визначення координат джерел акустичної емісії і алгоритмів пошуку дефектів. Показано, що параметри сигналів акустичної емісії пов'язані з локальними перебудовами структури матеріалів і процесами руху дислокацій. Даний опис будови типових схем розташування датчиків при контролі дефектів методом акустичної емісії. Запропоновані формули локалізації джерел акустичної емісії при різних варіантах розташування датчиків на площині.

Ключові слова: неруйнівний контроль, акустична емісія, координати дефектів.

Marasanov V. V., Sharko A. A. MATHEMATICAL PROVIDING CONSTRUCTIONS of MODELS of DETERMINATION of CO-ORDINATES of SOURCES of ACOUSTIC EMISSION

The mathematical ground of providing of construction of models of determination of co-ordinates of sources of acoustic emission and algorithms of search of defects is offered. It is set that the parameters of signals of acoustic emission are related to local alterations of structure of materials and processes of motion of distributions. Description of structure of model layout of sensors charts is given at control of defects the method of acoustic emission. The formulas of localization of sources of acoustic emission are offered at the different variants of location of sensors on a plane.

Keywords: non-destructive control, acoustic emission, co-ordinates of defects.

© Марасанов В. В., Шарко А. О.

Статтю прийнято
до редакції 26.01.16

ПОДБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стрелковская Л. А., старший преподаватель кафедры информационных технологий, компьютерных систем и сетей Херсонской государственной морской академии, E-mail: liliya_strelkovskaya@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8050-5276

Важным аспектом эксплуатации сложных технических объектов, к которым можно отнести судовые двигатели внутреннего сгорания, является информационная поддержка процессов управления с целью выбора наиболее эффективных режимов, позволяющих поддерживать безотказность технического объекта в течение установленных сроков при сохранении технико-экономических показателей. Достижение этого возможно только при условии, если система поддержки принятия решения способна отслеживать не только заданные параметры, но и учитывать состояние технического объекта в текущий момент времени.

В представленной работе описаны критерии подбора информации для оценки технического состояния судового двигателя внутреннего сгорания, которая необходима для принятия экспертной системой решения о выборе эксплуатационного режима. Представленные критерии используются экспертами по производству судовых двигателей внутреннего сгорания, а также экспертами по их эксплуатации для параметров, которые являются источниками информации о техническом состоянии двигателя. Данные критерии применяются в технической диагностике и строго определены для всех технических систем. На примере топливной системы судового двигателя внутреннего сгорания описана процедура использования многомерного корреляционного анализа для уменьшения количества параметров, характеризующих состояние данной системы в режиме реального времени, которые необходимы для создания базы знаний экспертной системы. В результате проведенных расчетов было установлено, что между вязкостью топлива и давлением топлива перед топливным насосом высокого давления существует прямая корреляционная связь, что касается температуры топлива перед топливным насосом высокого давления, то этот параметр можно считать менее информативным. Полученные результаты подтверждены экспертами в области эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания.

Использование многомерного корреляционного анализа позволит провести выборку из большого количества параметров, характеризующих техническое состояние судового двигателя и его систем, и таким образом отобрать наиболее информативные, которые будут использованы в дальнейшей работе при создании базы знаний экспертной системы.

Ключевые слова: судовые двигатели внутреннего сгорания, экспертные системы, критерии подбора информации, многомерный корреляционный анализ.

Постановка проблемы. Безотказная работа судового двигателя внутреннего сгорания в процессе эксплуатации достигается путем оптимального сочетания мероприятий по техническому использованию и по техническому обслуживанию [1]. При этом следует учитывать, что решение по выбору того или иного эксплуатационного мероприятия принимается или очень ограниченным числом лиц, или вообще одним человеком – старшим механиком [2]. В этой связи обеспечение безотказной работы такого сложного объекта как судового двигателя внутреннего сгорания зависит от знаний и опыта одного человека, что повышает степень риска принятия неправильного решения.

Значительно снизить риск принятия неправильного решения позволяет экспертная система, которая на основе полученных исходных данных способна генерировать варианты возможных решений [3]. Судовой механик, на основе предложенных экспертной системой вариантов принимает управленческое решение по выбору эксплуатационных мероприятий по дальнейшей эксплуатации судового двигателя внутреннего сгорания.

Очевидно, что адекватность принятых экспертной системой решений в значительной степени будет зависеть от правильности выбора исходных данных, на основе которых будут вырабатываться варианты решений. При этом вполне естественно, что процедура выбора должна учитывать особенности эксплуатации двигателей в судовых условиях.

Анализ публикаций. В настоящее время существует множество средств, методов и систем получения информации о техническом состоянии судового двигателя путём контроля структурных и функциональных параметров. К неразрушающим методам контроля можно отнести: виброакустический [4], ультразвуковой [5], магнитный [6] и т.д. В основу методов комплексной оценки положены статистические методы [7], методы определения технического состояния двигателя по комплексным параметрам [8], методы диагностирования по параметрам отработавших газов [9]. Разработана методика тепловизионного диагностирования судовых дизелей [10]. В работе [11] предложена система контроля и восстановления работоспособности двигателей внутреннего сгорания с применением диагностирования по анализу смазочного масла. Автор [12] описал управление техническим состоянием цилиндропоршневой группы судовых двигателей на основе трибомониторинга отработанного цилиндрического масла. Автором использовались методы многомерной статистики и теории статистических решений для распознавания образов технического состояния деталей цилиндра – поршневой группы судовых крейцкопфных малооборотных двигателей. Однако не всегда можно своевременно выявить неисправность в связи с нечеткостью и несвоевременностью поступления объективной информации о состоянии двигателя в режиме реального времени [13]. Для решения подобных задач широкое распространение получили системы нечеткого логического вывода, в основе которых лежит теория нечетких множеств [14]. Вместе с тем необходимо совершенствование существующих и разработка новых технологий, а также практических методов, которые бы на основании большого количества измеряемых параметров могли определять техническое состояние двигателя в реальном времени.

Цель статьи проанализировать особенности подбора исходной информации для экспертной системы оценки технического состояния судового двигателя внутреннего сгорания в режиме эксплуатации.

Основная часть. Важным аспектом эксплуатации судового двигателя внутреннего сгорания, является информационная поддержка процессов управления с целью выбора наиболее эффективных эксплуатационных мероприятий, позволяющих поддерживать его безотказность в течение установленных сроков при сохранении высоких технико-экономических показателей [1]. Обеспечение безотказности судового двигателя внутреннего сгорания, в процессе его эксплуатации с использованием систем информационной поддержки возможно только при условии, если эта система способна отслеживать не только заданные параметры, что в той или иной степени присуще существующим системам автоматического управления [15], но и учитывать состояние двигателя в текущий момент времени [16].

В общем виде, разработка экспертной системы для эксплуатации судового двигателя внутреннего сгорания сводится к разработке методов и систем, позволяющих обобщить и формализовать опыт большого числа специалистов по эксплуатации, представив этот опыт в виде модели, позволяющей отображать наиболее важные с точки зрения эксплуатации свойства технического объекта. Полученные данные могут быть использованы для моделирования с целью прогнозирования различных сценариев изменения технического состояния объекта, выработке рекомендаций необходимых для принятия решения в соответствии со сложившейся ситуацией.

Объективность оценки технического состояния и правильность принятого управленческого решения о назначении эксплуатационного режима или проведения необходимого эксплуатационного мероприятия в значительной степени зависит от правильности выбора исходных параметров состояния.

Эти параметры могут быть использованы системой в качестве исходной информации, если они в достаточной степени характеризуют состояние объекта и могут быть проконтролированы в процессе эксплуатации [3]. На рис. 1 представлены

контрольные параметры одного из компонентов судового двигателя внутреннего сгорания – системы смазки.



Рисунок 1 – Контрольные параметры системы смазки

Исходя из сложившейся практики, модель принятия решения судовым механиком можно представить в следующей форме:

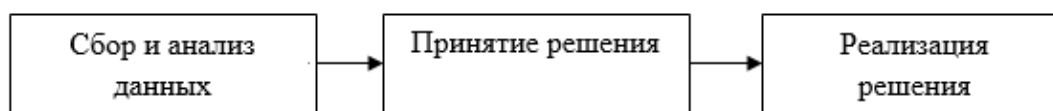


Рисунок 2 – Модель принятия решения

Сбор и анализ данных, которые служат для оценки технического состояния судового двигателя внутреннего сгорания и лежат в основе принятия решения о выборе эксплуатационного режима в текущий момент времени, является первым и самым важным этапом.

Процесс подготовки исходной информации осложняется тем, что происходит в специфических условиях:

- данные подаются в разных формах (показание приборов, результаты обмеров элементов конструкции, сигналы с датчиков и т.д.);
- большой объем поступающей информации, которую необходимо обработать;
- неполнота и противоречивость информации, поступающей из различных источников;
- ограниченное время для принятия решения;
- большой уровень ответственности судового механика за принятое решение.

На этапе сбора данных проводятся измерения структурных и функциональных параметров. При этом используются как прямые, так и косвенные методы.

Параметры состояния, которые являются источниками информации и отбираются в качестве диагностических, должны удовлетворять ряду критериев, которые достаточно хорошо разработаны в технической диагностике и в полной мере могут быть применены к судовому двигателю внутреннего сгорания. Эти критерии широко используются экспертами, как со стороны производителей самих двигателей, так и экспертами судоходных компаний, занимающихся эксплуатацией судовых двигателей внутреннего сгорания. Данные критерии применяются в технической диагностике и строго определены

для всех технических систем [17]. Очевидно, что они могут быть перенесены и на процедуру отбора параметров для функционирования экспертных систем. Критериями отбора данных для экспертной системы являются:

- информативность диагностического параметра является главным критерием, положенным в основу определения возможности применения параметра для целей диагностирования. Характеризует существование четкой взаимосвязи между значением параметра и техническим состоянием объекта:

$$I(\Pi) \approx \frac{|\overline{\Pi_1} - \overline{\Pi_2}|}{\sigma_1 + \sigma_2}. \quad (1)$$

Чем выше информативность диагностического параметра, тем на большую величину снижается неопределенность состояния объекта диагностирования при использовании данного диагностического параметра.

- доступность данного параметра для проведения измерений в процессе функционирования технического объекта (функциональные параметры) или в ходе проведения технических мероприятий (обмер, контроль структурных параметров);

- однозначность диагностического параметра означает отсутствие экстремума $d\Pi/du = 0$ в диапазоне от начального u_n до предельного u_n значений параметра технического состояния;

- воспроизводимость, т.е. отсутствие существенных различий между результатами измерений, выполняемых в отличающихся условиях;

- чувствительность K_r диагностического параметра Π , т.е. его приращение $d\Pi$ при изменении d_u параметра технического состояния будет:

$$K_r = \frac{d\Pi}{du}. \quad (2)$$

Чем больше значение этой величины, тем чувствительнее диагностический параметр к изменению структурного параметра;

- стабильность диагностического параметра определяется вариацией его значений при многократном измерении на объектах, имеющих одну и ту же величину соответствующего структурного параметра. Ее оценивают с помощью среднеквадратичного отклонения.

$$\sigma_{\Pi(u)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\Pi(u) - \overline{\Pi(u)}]^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Нестабильность диагностического параметра снижает его фактическую чувствительность.

Проведенный анализ технической документации судовых двигателей внутреннего сгорания различных типов позволяет утверждать, что основная масса контрольных параметров устанавливаемых производителями двигателей отвечает приведенным выше критериям. Более того, для разных типов двигателей (малооборотные двухтактные, высоко- и среднеоборотные четырехтактные), номенклатура параметров, контролируемых во время эксплуатации, практически одинакова. Это указывает, на единство подходов в данном вопросе и на достаточную информативность имеющегося набора параметров, по которым эксперты могут определить уровень технического состояния двигателя и назначить эксплуатационный режим или процедуру по техническому обслуживанию и ремонту.

Однако количество таких параметров достаточно велико и использование их при создании базы знаний экспертной системы приведет к ее увеличению, что не всегда

оправдано. Используя многомерный корреляционный анализ можно не только проанализировать связи между параметрами, но и сжать полученную информацию, сохранив при этом ее достоверность.

В качестве примера было рассмотрено применение многомерного корреляционного анализа к комплексным параметрам топливной системы судового двигателя внутреннего сгорания, а именно:

- вязкость тяжелого топлива;
- давление топлива перед топливным насосом высокого давления;
- температура топлива перед топливным насосом высокого давления.

Коэффициенты парной корреляции определяются по формуле [18]:

$$r_{x,y} = \frac{\sum d_x \cdot d_y}{\sqrt{\sum d_x^2 \cdot \sum d_y^2}}, \quad (4)$$

где d_x и d_y – отклонения каждого числового значения от среднего значения вариационного ряда.

Множественный коэффициент корреляции:

$$R = \sqrt{\frac{r_{x,y}^2 + r_{x,z}^2 - 2r_{x,y} \cdot r_{x,z} \cdot r_{y,z}}{1 - r_{y,z}^2}}, \quad (5)$$

где $r_{i,j}$ – коэффициенты парной корреляции.

Проверка значимости множественных коэффициентов корреляции с уровнем значимости $\alpha=0,05$:

$$F_{набл}(r_x^2) = \frac{r_x^2 / 2}{(1 - r_x^2) / (n - 3)}. \quad (6)$$

Частный коэффициент корреляции:

$$r_{xy/z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2) \cdot (1 - r_{yz}^2)}}. \quad (7)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения парной корреляции, множественной корреляции и наблюдаемые значения F – критерия

Параметры	r	R	$F_{набл.}$
xy	0,2	0,538221645	4,48603352
xz	0,45	0,841554019	26,69875376
yz	0,82	0,7670289	15,72064777

Выборка была произведена из 25 проведенных замеров. Уровень значимости $\alpha = 0,05$.

По таблице F – распределений, критическое значение F – статистик равно 3,44. Поскольку $F_{набл.}$ превышают критическое значение, то гипотеза о равенстве нулю каждого множественного коэффициента корреляции отвергается, при этом вероятность ошибки равна 0,05. Таким образом, все множественные коэффициенты корреляции не равны нулю.

Для проверки уровня значимости коэффициентов корреляции $r_{xy/z} = - 0,52192$; $r_{xz/y} = 0,15756$; $r_{yz/x} = 0,717141$, рассчитанных по формуле (7) по таблице r -статистики

было найдено значение $r_{кр}$, которое находится в диапазоне от 0,381 до 0,423. Значимыми являются два коэффициента $r_{xy/z}$ и $r_{yz/x}$.

Таким образом, можно говорить о том, что между вязкостью топлива и давлением топлива перед топливным насосом высокого давления существует прямая корреляционная связь. Что касается температуры топлива перед топливным насосом высокого давления, то это параметр можно считать менее информативным.

Аналогичным образом можно провести анализ контрольных параметров остальных компонентов СДВС.

Выводы. К основным критериям подбора информации для оценки технического состояния судового двигателя внутреннего сгорания относятся: информативность, доступность, однозначность, воспроизводимость и чувствительность. Данные критерии применяются в технической диагностике и строго определены для всех технических систем.

С целью выбора наиболее информативных параметров из большого количества характеризующих техническое состояние судового двигателя и его систем, был использован многомерный корреляционный анализ. По результатам проведенных расчетов для топливной системы была определена прямая корреляционная связь между такими параметрами как вязкость топлива и давление топлива перед топливным насосом высокого давления. Температура топлива перед топливным насосом высокого давления, оказалась менее информативным параметром и в дальнейшей работе им можно пренебречь. Аналогичным образом был проведен анализ контрольных параметров остальных компонентов СДВС.

Определенные таким образом наиболее информативные параметры будут использованы в дальнейшей работе при создании базы знаний экспертной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Г. В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок / Г. В. Захаров. – М. : Транс Лит, 2009. – 256 с.
2. Международная конвенция о подготовке и дипломированию моряков и несении вахты 1978 года с поправками. / Пер. с англ. Стрелков В. П., Курнекова Т. В., Лапченков С. И. – СПб. : ЗАО «ЦНИМФ», 2010. – 214 с.
3. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему / К. Нейлор. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
4. Попков В. И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В. И. Попков. – Ленинград : Судостроение, 1983. – 256 с.
5. Ключев В. В. Неразрушающий контроль. Том 3. Ультразвуковой контроль / В. В. Ключев. – М. : Машиностроение, 2004. – 864 с.
6. Белокур И. П. Дефектоскопия материалов и изделий / И. П. Белокур, В. А. Коваленко. – К. : Техника, 1989. – 192 с.
7. Никитин Е. А. Диагностирование дизелей / Е. А. Никитин, Л. В. Станиславский, Э. А. Улановский и др. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
8. Крашенников С. В. Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания / С. В. Крашенников // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2013. – № 2 (12). – С. 59–68.
9. Нор Д. А. Бесконтактные методы диагностики дизельного двигателя основанные на анализе формы волны выхлопных газов / Д. А. Нор, Н. Ж. Кук. // Доклад сделан в Ряде Технических документов САЕ. – 1987. – 8 с.
10. Безюков О. К. Диагностирование технического состояния судовых дизелей по инфракрасному излучению их наружных поверхностей / О.К. Безюков, А. А. Кордаков, С. В. Шаршавин. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2009. – № 2 (2) – С. 160–164.

11. Надежкин А. В. Мониторинг работающего моторного масла в системе обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей : автореф. дис. д-ра тех. наук. / А. В. Надежкин. – Владивосток, 2011.

12. Ломухин В. Б. Трибологические основы без разборного ремонта элементов судовых энергетических установок : автореф. дис. д-ра тех. наук. / В. Б. Ломухин. – Новосибирск, 2010.

13. Бабичев С. А. Система технической диагностики судовых установок на основе нечёткой логики / С. А. Бабичев, Л. А. Стрелковская // Современные энергетические установки на транспорте, технологии и оборудование для их обслуживания : материалы научно-практической конференции (01–03 октября 2014 г., г. Херсон.) – Херсон : Херсонская государственная морская академия, 2014. – 435с.

14. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ, 1999. – 320с.

15. Крутов В. И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания. – М. : Машиностроение, 1989. – 416 с.

16. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки :учебник / [Румб В. К., Яковлев Г. В., Шаров Г. И., Медведев В. В., Минасян М. А.]. – СПб. : изд. СПб ГМТУ, 2007.

17. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.

18. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.

REFERENCES

1. Zakharov G. V. (2009). *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya sudovihkh dizel'nykh ustanovok*. M. : Trans Lit.

2. *Mezhdunarodnaya konvenciya o podgotovke i diplomirovaniyu moryakov i nesenii vakhtih 1978 goda s popravkami*. (2010). SPb. : ZAO «CNIIMF».

3. Neyjlor K. (1991) *Kak postroit' svoju ehkspertnuyu sistemu* M. : Ehnergoatomizdat.

4. Popkov V. I. (1983). *Vibroakusticheskaya diagnostika v sudostroenii*. Leningrad : Sudostroenie.

5. Klyuev V. V. (2004) *Nerazrushayutij kontrolj. Tom 3. Ul'trazvukovoy kontrolj*. M. : Mashinostroenie.

6. Belokur I. P., Kovalenko V. A. (1989) *Defektoskopiya materialov i izdelij* K. : Tekhnika.

7. Nikitin E. A., Stanislavskiy L. V., Ulanovskiy Eh. A. et al. (1987) *Diagnostirovanie dizelej*. M. : Mashinostroenie.

8. Krashennikov S. V. (2013) Sovremenniye podkhody k diagnostirovaniyu dizel'nykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, № 2 (12), 59–68.

9. Hor D. A., Kuk H. Zh. (1987). Beskontaktniye metody diagnostiki dizel'nogo dvigatelya osnovanniye na analize formih volnih vikhlopnykh gazov *Doklad sdelan v Ryade Tekhnicheskikh dokumentov SAE*.

10. Bezyukov O. K., Kordakov A. A., Sharshavin S. V. (2009) Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya sudovihkh dizelej po infrakrasnomu izlucheniyu ikh naruzhnykh poverkhnostey *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova*, 2 (2), 160–164.

11. Nadezhkin A. V. (2011). Monitoring rabotayuthego motornogo masla v sisteme obespecheniya bezopasnoy resursosberegayuthej ehkspluatatsii sudovihkh dizelej : *avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk*. Vladivostok.

12. Lomukhin V. B. (2010). Tribologicheskie osnovih bez razbornogo remonta ehlementov sudovihkh ehnergeticheskikh ustanovok : avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk. Novosibirsk.
13. Babichev S. A., Strelkovskaya L. A. (2014) Sistema tekhnicheskoyj diagnostiki sudovihkh ustanovok na osnove nechyotkoyj logiki *Sovremenniye ehnergeticheskie ustanovki na transporte, tekhnologii i oborudovanie dlya ikh obsluzhivaniya : materialih nauchno-prakticheskoyj konferencii* Kherson : Khersonskaya gosudarstvennaya morskaya akademiya, 435.
14. Rotshteyjn A. P. (1999) *Intellectualniye tekhnologii identifikacii: nechetskaya logika, geneticheskie algoritmi, neyronniye seti*. Vinnica : Universum, 1999.
15. Krutov V. I. (1989) *Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie dvigateley vnutrennego sgoraniya*. M. : Mashinostroyeniye.
16. Rumb V. K., Yakovlev G. V., Sharov G. I., Medvedev V. V., Minasyan M. A. (2007). *Sudoviyeh ehnergeticheskie ustanovki. Sudoviyeh dizeljniye ehnergeticheskie ustanovki : uchebnik* SPb. : izd. SPb GMTU.
17. Birrer I. A. (1978) *Tekhnicheskaya diagnostika* M. : Mashinostroyeniye.
18. Gmurman V. E. (2003) *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* M. : Vihsshaya shkola.

Стрелковська Л. О. ПІДБІР ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Важливим аспектом експлуатації складних технічних об'єктів, до яких можна віднести суднові двигуни внутрішнього згоряння, є інформаційна підтримка процесів управління з метою вибору найбільш ефективних режимів, що дозволяють підтримувати безвідмовність технічного об'єкта протягом встановлених строків при збереженні техніко-економічних показників. Досягнення цього можливе лише за умови, якщо система підтримки прийняття рішення здатна відстежувати не тільки задані параметри, а й враховувати стан технічного об'єкта в поточний момент часу.

У представленій роботі описані критерії підбору інформації для оцінки технічного стану суднового двигуна внутрішнього згоряння, яка необхідна для прийняття експертною системою рішення про вибір експлуатаційного режиму. Представлені критерії використовуються експертами з виробництва суднових двигунів внутрішнього згоряння, а також експертами з їх експлуатації для параметрів, які є джерелами інформації про технічний стан двигуна. Дані критерії застосовуються в технічній діагностиці та строго визначені для всіх технічних систем. На прикладі паливної системи суднового двигуна внутрішнього згоряння описана процедура використання багатовимірного кореляційного аналізу для зменшення кількості параметрів, що характеризують стан даної системи в режимі реального часу, які необхідні для створення бази знань експертної системи. В результаті проведених розрахунків було встановлено, що між в'язкістю палива і тиском палива перед паливним насосом високого тиску існує прямий кореляційний зв'язок, що стосується температури палива перед паливним насосом високого тиску, то цей параметр можна вважати менш інформативним. Отримані результати підтверджені експертами в галузі експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння.

Використання багатовимірного кореляційного аналізу дозволить провести вибірку з великої кількості параметрів, що характеризують технічний стан суднового двигуна і його систем, і таким чином відібрати найбільш інформативні, які будуть використані в подальшій роботі при створенні бази знань експертної системи.

Ключові слова: суднові двигуни внутрішнього згоряння, експертні системи, критерії підбору інформації, багатовимірний кореляційний аналіз.

Strelkovskaya L. A. SELECTION OF INFORMATION FOR EXPERT SYSTEM OF THE ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF THE SHIP INTERNAL COMBUSTION ENGINE IN USE

An important aspect of the operation of complex technical facilities, which include marine engines, internal combustion, is information support management processes in order to select the most efficient mode, allowing to maintain reliability of the technical object within the deadlines while maintaining the technical and economic indicators. Achieving this is possible only provided that the decision support system is able to monitor not only the specified parameters, but also take into account the technical condition of the object at the current time.

In the present study describes the criteria for selection of information for the assessment of marine internal combustion engine technical condition, which is necessary for the adoption of the expert system decision on

the choice of operating conditions. The criteria used by the experts for the production of marine engines, internal combustion, as well as their operation experts for the parameters, which are the sources of information about the technical condition of the engine. These criteria are applied in the technical diagnosis and strictly defined for all technical systems. On an example fuel system of the internal combustion engine of the ship described procedure using multivariate correlation analysis to reduce the number of parameters characterizing the state of the system in real time that are necessary to create an expert system knowledge base. As a result of the calculations, it was found that the viscosity between the fuel and the fuel pressure before the high pressure fuel pump there is a direct correlation with regard to the fuel temperature high pressure fuel pump, this option can be considered less informative. These results were confirmed in the field of ship internal combustion engine experts.

Using multivariate correlation analysis allow for a sample of the large number of parameters describing the technical condition of the ship's engine and its systems, and thus to select the most informative, which will be used in future work to create a knowledge base of the expert system.

Keywords: *marine internal combustion engines, expert systems, data selection criteria, multivariate correlation analysis.*

© Стрелковська Л. О.

Статтю прийнято
до редакції 18.05.16

УДК 681.518

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

Ткач В. А., старший преподаватель кафедры основ конструирования Херсонского национального технического университета;

Каштальян П. В., аспирант кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии;

Рожков С. А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии

Система управления в интеллектуальных интерфейсах рассматривается как управляемая динамическая система, оптимальное управление которой достигается путем минимизации времени переходного процесса. Управление в системе определяется чувствительностью функции цели по траектории анализа изображения.

Ключевые слова: интерфейс, генерация эталона, распознавание, оптимальное управление.

Введение. Для эффективного управления сложными технологическими комплексами необходимо разрабатывать новые модели и методы повышения эффективности отображения информации в интеллектуальных системах, таких, как технология анализа информации (изображения), разработка критериев оценивания информативности изображений и расстояния между образами при идентификации изображения. Применение известных систем преобразований обеспечивает получение полезной информации о свойствах изображаемых объектов и позволяет решать задачи распознавания образов, обработки информации и анализа данных связаны с визуальной информацией [3, 110].

Процесс обработки информации в современных системах управления может определяться, как процесс получения требуемых данных. При этом интерфейсы современных SCADA-систем (SCADA (от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных; программный пакет, предназначенный для разработки и/или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления) позволяют оператору автоматизированного рабочего места (АРМ) осуществлять управляющие действия для обслуживаемой им системы за достаточно короткий интервал времени.

Актуальность исследований. Информационная нагрузка на оператора распределяется неравномерно, большую часть информации оператор получает визуально, при этом для эффективного управления может использоваться большое количество различных алгоритмов управления.

Целью исследования является анализ и разработка системы управления генерацией.

Результаты исследований. В задаче создания интеллектуального интерфейса важно определить понятие информативности изображения, которое в данном случае связано с понятием полезности. Под информативностью изображений, по Шеннону [6, 10], следует понимать снятую неопределенность наших знаний о графическом объекте, сцене. Предполагаемая сцена-замысел, задуманная оператором, т.е. сцена, которую предстоит синтезировать, должна пройти несколько промежуточных этапов перед тем, как достигнуть стадии изображения, а затем снова превратиться в сцену, но уже в сознании наблюдателя.

В зависимости от методов создания, множество изображений можно классифицировать по типам базовых элементов, из которых они состоят: точки, линии,

многоугольники и т.д. При построении изображения оператор располагает элементарными объектами (параллелепипеды, цилиндры, конусы и т. д.), которые он комбинирует для описания требуемого объекта. Элементарные объекты могут примыкать один к другому или проникать друг в друга, а можно использовать также их «негативы» для получения отверстий разной формы.

Если в задаче оптимизации целевая функция и левые части ограничений определены не на всем n -мерном линейном арифметическом пространстве, непосредственное использование приемов решения общей задачи нелинейного программирования в данном случае невозможно.

Алгоритм построения изображения можно формировать как гипотезу об узнавании, основываясь на анализе устройства объекта, и формируем его на основе логического и текстуального описания объекта. При этом минимальное описание дает четкую узнаваемость объекта. Рассматривая описание сложного объекта как совокупность более простых геометрических объектов, то геометрическое согласование объектов в процедуре распознавания позволяет использовать задачу геометрического программирования.

В задаче оптимизации процедуры распознавания [11]:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{x}^* \rightarrow \min f(\mathbf{x}) \\ y = \text{const} \end{array} \right\}. \quad (1)$$

с функцией цели в виде полинома и неотрицательными весовыми коэффициентами:

$$\left. \begin{array}{l} f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^m C_i \prod_{j=1}^n x_j^{a_{ij}} \\ C_j \geq 0 \quad j = \overline{1..n} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

условие оптимальности имеет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{0} \\ f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^m C_i \prod_{j=1}^n x_j^{a_{ij}} \\ C_j \geq 0 \quad j = \overline{1..n} \end{array} \right\}. \quad (3)$$

Если в оптимуме сумма весов равна 1, можем записать систему из $n+1$ уравнения для m переменных:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m W_i = 1 \\ \sum_{i=1}^m a_{i1} W_i = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m a_{in} W_i = 0 \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Данная система уравнений позволяет найти только связь между весами. Оценивая сложность фрагмента изображения по количеству вершин скелетного графа k_i изображения и по связанным с вершиной количеством точек s_i и учитывая взаимные связи между точками связанными с различными вершинами получаем вид функции цели. Таким образом, находим минимально сложное изображение при заданных информативностях фрагментов:

$$\left. \begin{aligned} f(\mathbf{s}) &= \sum_{i=1}^m I_i \prod_{j=1}^n s_j^{k_{ij}} \\ I_j &\geq 0 \quad j = \overline{1..n} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

где k_i – вершины скелетного графа, s_i количеством точек связанных с вершинами.

Тогда:

$$\prod_{j=1}^n s_j^{k_{ij}} = P_i, \quad (6)$$

$$W_i = \frac{I_i P_i(\mathbf{x}^*)}{f^*} \quad j = \overline{1..m}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{I_i P_i(\mathbf{x}^*)}{f^*} = \sum_{i=1}^m W_i = 1.$$

Необходимые условия оптимума можно показать в виде:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m W_i &= 1 \\ \sum_{i=1}^m k_{i1} W_i &= 0 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^m k_{in} W_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$f^* = \min f(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{I_i}{W_i} \right)^{W_i}.$$

Вместо задачи поиска точки оптимума здесь важнее найти распределение весов фрагментов кадра изображения (интерфейса):

$$W_1, \dots, W_m, \quad i = \overline{1..m}, \quad (9)$$

что позволяет распределить ресурс управления системы при генерации кадра изображения (интерфейса).

Таким образом, при построении кадра изображения интерфейса как совокупности графических объектов при использовании методов геометрического программирования, возможно достаточно легко оценить информативность кадра.

Задача максимальной информативности кадра при использовании позиномиальных оценок информативности фрагментов или соответствующих рисков решается как оптимальное распределение весов, что позволяет построить алгоритм синтеза изображений для кадра интерфейса.

В случае, когда взаимные деформации элементов сцены в трехмерном пространстве не допускаются, сцену можно рассматривать как твердое тело [3, 12], при этом движениям плоскости соответствует евклидова подгруппа, которая содержит только преобразования сдвига и поворота:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \mathbf{t}, \quad (10)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix}$ – матрица поворота на угол ϕ и $\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix}$ – вектор сдвига.

При замене матрицы вращения на общую невырожденную матрицу $\mathbf{A}$ получаем:

$$\begin{aligned} x' &= ax + by + c, \\ y' &= dx + ey + f. \end{aligned}$$

В матричном виде:

$$\mathbf{x}' = \mathbf{Ax} + \mathbf{c}, \quad \mathbf{x}' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Вычислить параметры обратного преобразования $\begin{matrix} x = Ax' + By' + C, \\ y = Dx' + Ey' + F \end{matrix}$ можно, решив систему (1):

$$\begin{aligned} A &= \frac{e}{\det \mathbf{A}}, \quad B = \frac{-b}{\det \mathbf{A}}, \quad C = \frac{(bf - ec)}{\det \mathbf{A}}, \\ D &= \frac{-d}{\det \mathbf{A}}, \quad E = \frac{a}{\det \mathbf{A}}, \quad F = \frac{(cd - af)}{\det \mathbf{A}}. \end{aligned} \quad (12)$$

В случае, когда при получении алфавита образов V для набора типовых сцен S функционалом цели является время на принятие решения, задача сводится к определению оптимума времени T_{np} , т.е. на поиск условий, при которых время на принятие решения будет минимальным:

$$T_{np} \rightarrow \min,$$

$$\begin{aligned} s_{ij} &\in S, \quad i = 1, \dots, I; \quad j = 1, \dots, J, \\ v_{kl} &\in V, \quad k = 1, \dots, K; \quad l = 1, \dots, L, \end{aligned}$$

где s_{ij} – типовая сцена, v_{kl} – элементы изображения, n – множество типовых сцен.

При предъявлении изображения возможны его искажения (рис. 1).

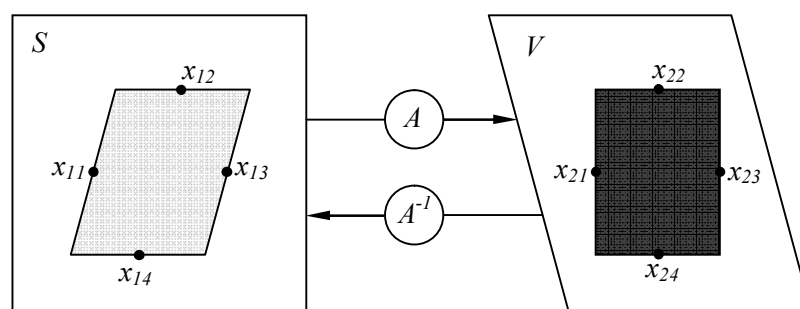


Рисунок 1 – Предполагаемая аффинность искажения

Каждой точке x_{ij} пространства можно поставить в соответствие точку $f(x_{ij})$, имеющую те же координаты относительно «новой» системы координат, что и x_{ij} в исходной, поэтому можно предполагать аффинность этих искажений [3, 7, 10].

В этом случае для плоских изображений существование обратной матрицы A^{-1} , которая обеспечивает устранение возмущений и определяет близость элементов s_{ij} и v_{kl} . Если изображение плоское, то необходимо решение системы четырех уравнений:

$$\vec{x}_1 = A^{-1} \vec{x}_1^* \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x}_{11} &= a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} \\ \tilde{x}_{12} &= a_{12}x_{11} + a_{22}x_{12} \\ \tilde{x}_{21} &= a_{11}x_{21} + a_{12}x_{22} \\ \tilde{x}_{22} &= a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} \end{aligned} \right\},$$

что в решении дает:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = A^{-1}.$$

Все изображение при этом может быть откорректировано матрицей A^{-1} . В случае, когда возникает ошибка между анализируемым изображением и преобразованным сигналом:

$$\vec{\varepsilon} = \vec{x} - A^{-1} \vec{\tilde{x}}, \quad (14)$$

где ε – мера близости изображений.

Следовательно, можно выбрать среднееквадратическое расстояние:

$$|\vec{\varepsilon}|^2 = D.$$

Тогда задача о максимальном быстродействии может быть представлена как $A^{-1*} \rightarrow \min T$, т.е. при заданных ограничениях достаточно решение системы (13) для всего изображения.

В случае, когда каждый отдельно рассматриваемый кадр изображения имеет различные элементы, требующие принятия частных решений, то целесообразно рассматривать задачу минимизации рисков при принятии частных решений.

Задача определения среднего минимального риска может быть представлена как:

$$\bar{C} \rightarrow \min,$$

$$A = A^{-1*}.$$

Если изображение имеет n – фрагментов, где каждому n_i соответствует вероятность P_i и штраф C_i , причем последовательность анализа новой, неизвестной сцены базируется на движении к фрагментам с максимальной дисперсией или отклонением (15) [1, 9], а в известной сцене – к фрагментам с минимальным штрафом (16), то:

$$\nabla \sigma^2 \rightarrow 0 \quad (15)$$

$$\nabla \bar{C} \rightarrow 0 \quad (16)$$

Если источник изображения формирует (генерирует) образы $\vec{I}_0$ с определенными вероятностями, то приемник изображения выдвигает гипотезы $\vec{I}_n$ из заданного алфавита с соответствующими вероятностями. Степень достоверности гипотезы $\vec{I}_n$ определяется расстоянием между образом, реализованным источником и гипотезой приемника [4, 5, 7]. Задачи оптимального управления могут быть связаны моделями систем, показанных на рис. 2, 3.

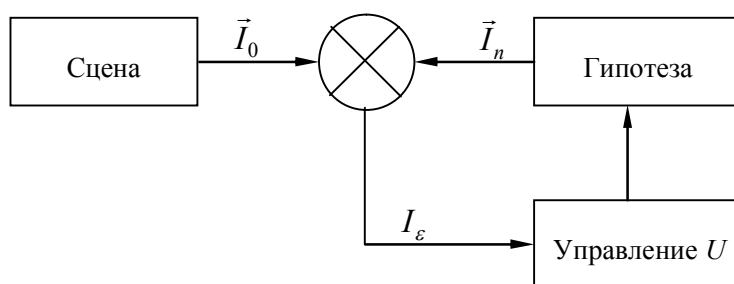


Рисунок 2 – Модель оптимальной системы компенсации

В этом случае качество исходного изображения определяется скоростью сходимости управления u и формированием (генерированием) гипотезы [11].

При этом следует учитывать, что:

1. Отклонение изображений и модели должно оцениваться по критерию – сильному оптимуму, что позволит получить лучшее решение:

$$I = \max |X - \tilde{X}|;$$

2. Предполагаем определение области размещения фрагмента – по дисперсии или (и) логически.

3. Проверка близости изображения и гипотеза выполняется при существовании аффинного преобразования [1, 10, 11].

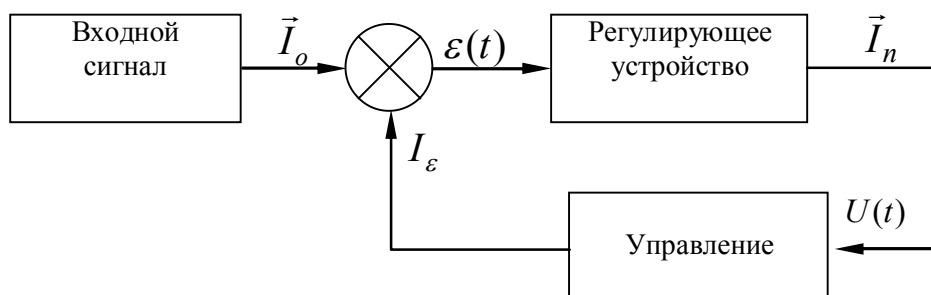


Рисунок 3 – Модель системы взаимодействия с обратной связью

Изображение представляется в виде матрицы, сравнивается с требуемым значением a_{ij} и выявляющиеся при этом отклонения ε преобразуется в управляющее воздействие $U(t)$, которое формируется как функция отклонения ε , и влияя на объект, стремится уменьшить или устранить это отклонение.

При получении изображения – информации, его анализ (восприятие) выполняется фрагментарно, т.е. для сложных изображений в начальный момент времени информации, поступающей на монитор, больше, чем может воспринимать оператор $I_s > I_e$, где I_s – количество информации, которое возможно воспринять в начальный момент времени, I_e – количество информации воспринимаемое в единицу времени.

Предполагая, что ошибка восприятия информации экспоненциально убывает по времени восстановления изображения:

$$\varepsilon(t) = \vec{\varepsilon}_0 e^{-\alpha t},$$

что ведет к линейной связи:

$$\frac{d\vec{\varepsilon}}{dt} = A_\varepsilon \vec{\varepsilon} + B_\varepsilon \vec{u}.$$

Таким образом, получаем динамическую модель управления:

$$\dot{\vec{x}} = A\vec{x} + B\vec{u} ,$$

в которой время принятия решения должно быть минимальным $T \rightarrow \min$, а управление и состояние системы в произвольный момент времени $\vec{u}^*, \vec{x}^* \rightarrow \min T$. И следовательно, $\vec{x}(t_0) = \vec{x}_0$.

Рассматривая эту модель, как управляемую динамическую систему, возможно определить оптимальное управление в смысле минимизации времени переходного процесса. В данном случае целевой функционал можно записать как:

$$J(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) = T = \int_0^T dt . \quad (17)$$

Используя принцип максимума Понтрягина [6], управляемость системы и вид функционала цели гарантирует применимость принципа максимума. Функция Гамильтона в данном случае имеет вид:

$$H(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda, t) = \lambda_0 + \langle \lambda, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \rangle ,$$

при этом условие стационарности по управлению не могут быть выполнены в виду линейности функции Гамильтона по управлению:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = B\lambda \neq 0.$$

Если ввести ограничение на управление $a_i \leq u \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$, и учитывая, что в задаче линейного программирования оптимум лежит на границе, можем найти последовательность управлений U_j , каждый из элементов которой принадлежит границам управления и обеспечивает условие стационарности.

Аналогично удовлетворяется собственно принцип максимума:

$$\mathbf{u}^* \rightarrow \max H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}, \lambda^*, t) = \max \{ \lambda_0 + \langle \lambda, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \rangle \} = 0 , \quad (18)$$

как линейная задача на множестве граничных управлений U_j .

Таким образом, для получения оптимального быстрогодействия необходимо задействовать весь ресурс управления. В этом случае следует учитывать, что управление будет иметь $n+1$ интервал знакопостоянства, или в нашем случае – интервал концентрации внимания. С другой стороны, необходимо выполнение условия стационарности по управлению:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = \vec{0}.$$

Введя в функционал цели затраты на управление, и учитывая его неотрицательность, получим:

$$J = T + \int_0^T u^2 dt . \quad (19)$$

Тогда функция Гамильтона приобретает вид:

$$H = \lambda_0 + u^2 + \langle \lambda, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \rangle . \quad (20)$$

В свою очередь, условие стационарности:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = 2\bar{\mathbf{u}} + \langle \lambda^T B \rangle = \bar{\mathbf{0}}, \quad (21)$$

где X – траектория движения. Так как $\lambda = \frac{\partial J}{\partial X}$, то $\mathbf{u}^* = B\bar{\lambda}$.

Таким образом, получаем управление, определяемое чувствительностью функции цели по траектории анализа изображения.

Выводы. Задача восприятия изображения может быть рассмотрена как задача оптимального управления с функционалом цели, зависящим от времени и затрат управления на анализ изображения.

При представлении изображения для анализа, коррекцию возмущений целесообразно выполнить в виде аффинного преобразования, что позволяет значительно сократить объем вычислений.

При анализе системы управления необходимо учитывать изменения полосы частот, которые занимает анализируемое изображение и сжатое изображение, что позволяет распределить время генерации фрагментов изображения.

Восприятие оператора может быть аппроксимировано линейным приближением с порядком матрицы объекта, равным количеству фрагментов изображения.

Управление в данной задаче подчиняется правилу о n -интервалах и зависит от распределения чувствительности функции цели к траектории анализа изображения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражник Д. А. Информационная модель инвариантной системы распознавания / Д. А. Бражник, Ф. Б. Рогальский, В. А. Ткач // Проблемы информационных технологий. – 2009. – №1 (005). – С. 31–37.
2. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М. : Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.
3. Грузман И. С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых, Г. И. Перетягин и др. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
4. Гренандер У. Лекции по теории образов / У. Гренандер: в 3-х т. – Т. 1. Синтез образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича, Т. Дадашева. – М. : Мир, 1979. – 384 с.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов / У. Гренандер: в 3-х т. – Т. 2. Анализ образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича. – М. : Мир, 1981. – 448 с.
6. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А. А. – М. : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.
7. Мартинес Ф. Синтез изображений. Принципы, аппаратное и программное обеспечение / Ф. Мартинес – М. : Радио и связь, 1990. – 192 с.
8. Местецкий Л. М. Скелет многосвязной многоугольной фигуры / Л. М. Местецкий. – Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, 2005. – С. 114–121.
9. Порев В. Н. Компьютерная графика / В. Н. Порев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 432 с.
10. Потапов А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания. – С-Пб. : Политехника. 2007. – 548 с.
11. Ткач В. А. Особенности построения систем управления в интеллектуальных интерфейсах / В. А. Ткач, С. А. Рожков // Проблемы информационных технологий. – 2012. – № 1 (011). – С. 157–160.
12. Ткач В. А. Использование информационных технологий при создании интеллектуальных интерфейсов / В. А. Ткач, П. В. Каштальян, С. А. Рожков // Вестник ХНТУ. – № 3 (54). – 2015. – С. 299–302.

13. Kumar R., Chen W.-Ch., Rockett P. Bayesian labelling of image corner features using a grey-level corner model with a bootstrapped modular neural network // Proc. 5th Int. Conf. on Artificial Neural Networks. 1997. V. 440. P. 82–87.

REFERENCES

1. Brazhnik D. A. (2009) *Informacionnaya modelj invariantnoy sistemih raspoznavaniya* / D. A. Brazhnik, F. B. Rogaljskiy, V. A. Tkach // *Problemi informacionnihkhn tekhnologiyj*. 1 (005). S. 31–37.
2. Vatolin D. (2003) *Metodih szhatiya dannihkhn. Ustroyjstvo arkhivatorov, szhatie izobrazhenij i video* D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin. M. : Dialog-MIFI.
3. Gruzman I. S. (2002) *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionnihkhn sistemakh: uchebnoe posobie* / I. S. Gruzman, V. S. Kirichuk, V. P. Kosihkhn, G. I. Peretyagin i dr. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU.
4. Grenander U. (1979) *Lekcii po teorii obrazov* / U. Grenander: v 3-kh t. – T. 1. Sintez obrazov; pod red. Zhuravleva, per.s angl. I. Gurevicha, T. Dadasheva. – M. : Mir.
5. Grenander U. (1981) *Lekcii po teorii obrazov* / U. Grenander: v 3-kh t. – T. 2. Analiz obrazov; pod red. Zhuravleva, per.s angl. I. Gurevicha. – M. : Mir.
6. Krasovskiy A. A. (1987). *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya* / Pod. red. Krasovskogo A. A. M. : Gl. red. fiz.-mat. lit.
7. Martines F. (1990) *Sintez izobrazhenij. Principih, apparatnoe i programmnoe obespechenie* M. : Radio i svyazj.
8. Mesteckiy L. M. (2005) *Skelet mnogosvyaznoy mnogougolnoy figurih* Novosibirsk : IVMiMG SO RAN, 114–121.
9. Porev V. N. (2002) *Kompjyuternaya grafika* SPb. : BKhV-Peterburg.
10. Potapov A. S. (2007) *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriyatie: obthiyj podkhod na osnove principa minimalnoy dlinih opisaniya*. S-Pb. : Politekhnik.
11. Tkach V. A. (2012) *Osobennosti postroeniya sistem upravleniya v intellektualnihkhn interfejjsakh* / V. A. Tkach, S. A. Rozhkov *Problemi informacionnihkhn tekhnologiyj*. 1 (011). 157–160.
12. Tkach V. A. (2015) *Ispoljzovanie informacionnihkhn tekhnologiyj pri sozdanii intellektualnihkhn interfejjsov* / V. A. Tkach, P. V. Kashtaljan, S. A. Rozhkov *Vestnik KhNTU*. – № 3 (54). 299–302.
13. Kumar R., Chen W.-Ch., Rockett P. (1997) Bayesian labelling of image corner features using a grey-level corner model with a bootstrapped modular neural network *Proc. 5th Int. Conf. on Artificial Neural Networks*. V. 440. 82–87.

Ткач В. О., Каштальян П. В., Рожков С. О. СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ В СУЧАСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ

Система керування в інтелектуальних інтерфейсах розглядається як керована динамічна система, оптимальне керування якої досягається шляхом мінімізації часу перехідного процесу. Керування в системі визначається чутливістю функції мети по траєкторії аналізу зображення.

Ключові слова: інтерфейс, генерація еталона, розпознавание, оптимальне управління.

Tkach V. A., Kashtalyan P. V., Rozhkov S. A. SYSTEMS OF MONITORING AND CONTROL IN MODERN INTELLECTUAL INTERFACES

The control system of intelligent interfaces is considered as controlled dynamical systems, optimal control is achieved by minimizing the time of transition. Control the system is determined by the sensitivity of the objective function along the path of image analysis.

© Ткач В. О., Каштальян П. В., Рожков С. О.

Статтю прийнято
до редакції 04.05.16

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Акімов О. В., 124
Алексенко В. Л., 137

Б

Баглюк Г. А., 252
Бень А. П., 4, 124
Берестовий А. М., 11
Богдан Ю. О., 100
Брайло М. В., 137
Букетов А. В., 146, 252

В

Васюхін М. І., 282, 299
Вільський Г. Б., 19
Воронов І. В., 201

Г

Гнатов А. В., 124
Гогоренко О. А., 54
Годованюк С. П., 26
Горобець В. Г., 100
Гюлев Н. У., 66

Д

Давідіч Н. В., 291

Є

Євдокимова В. А., 75

З

Зінченко С. Г., 11
Зінченко Д. О., 146

І

Івченко Т. І., 124
Ісаєв Є. А., 157
Іваник Ю. Ю., 282
Іванов І. Є., 165

Калінчак В. В., 174
Карамушка М. В., 35
Касім А. М., 299
Касім М. М., 299
Каштальян П. В., 329
Клевцов К. М., 146
Корзун В. В., 185
Коробанов Ю. М., 196
Коробко В. В., 201
Коршиков Р. Ю., 196
Коршиков Ю. С., 196
Куш Є. І., 209

Л

Лобода П. І., 111
Лошкарьов О. Г., 44

М

Маменко П. П., 185
Марасанов В. В., 310
Мініцький А. В., 111
Михайлик В. Д., 124
Московко О. О., 201
Мошенцев Ю. Л., 54

Н

Наговський Д. А., 146
Настасенко В. О., 217
Нігалатій В. Д., 252

П

Паламарчук І. В., 4
Проценко В. О., 228

Р

Рожков С. О., 329

Санько Я. В., 244
Селіванов С. Є., 174
Сердюк М. В., 137
Сініцин О. В., 282
Скирденко О. І., 252
Скрипін В. С., 209
Сметанкін С. О., 252
Соколов А. Є., 90
Соколова Н. А., 118
Соколова О. В., 90
Сосновський Л. О., 111
Софронков О. Н., 174
Стовба Т. А., 44
Стрелковська Л. О., 320

Т

Ткач В. А., 329
Троханяк В. І., 100

Ф

Федоренко А. В., 174
Филипчук О. М., 262

Х

Хаєт Л. Г., 75
Ходаков В. Є., 118

Ч

Чередниченко О. К., 274
Черненко О. С., 174
Чернецька І. Є., 157

Ш

Шарко А. О., 310
Шарко О. В., 252

Я

Якимчук Г. С., 118

С

Самарін О. Є., 238

К

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

До друку приймаються статті з результатами власних оригінальних досліджень, що мають наукову і практичну значущість і не публікувалися досі. До друку **не приймаються суто оглядові статті**. Відповідальність за зміст статті несе автор.

Згідно з вимогами п. 3 Постанови Президії Вищої Атестаційної Комісії України № 7-05/1 від 15.01.2003 р., наукові статті, що надаються до друку, повинні містити наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

Обсяг статей – до 10 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути не більше 30% обсягу основної частини.

Оформлення статті. На першій сторінці рукопису зазначається код УДК, назва роботи, прізвище, ініціали та науковий ступінь (звання) автора(ів).

Код УДК – по лівому краю, розмір шрифту – 10.

Назва – по центру друкованими літерами (шрифт жирний, розмір шрифту – 14).

Інформація про автора(ів): прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, повна назва установи або громадської організації, посада, держава, ORCID автора – курсивом, по лівому краю, розміром шрифту 12.

Текст надається у форматі редактора MS Word шрифтом Times New Roman, розмір шрифту – 12, інтервал – 1.

Параметри сторінки (опція меню ФАЙЛ, Параметри сторінки):

розмір паперу – А4: 210*297 мм;

орієнтація аркуша – книжна (альбомна не допускається);

поля – 2 см;

палітурка – 0 см;

колонтигули – 1,3 см;

абзацний відступ – 1,25 см, вирівнювання за шириною, сторінки без нумерації.

Формули повинні бути набрані за допомогою вбудованого редактора формул Equation Editor. Всі формули вставляються в таблицю з неокресленим контуром, що складається з двох колонок: у першій знаходиться формула без абзацу і вирівняна по центру, у другій – номер формули (якщо такий є) теж без абзацу і з вирівнюванням по центру. Межа між колонками таблиці встановлюється на позначці 14 см.

Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Параметри в редакторі формул повинні в точності відповідати наведеним нижче. Розміри (опція меню редактора Equation Editor: РОЗМІР, Визначити ...):

- Звичайний 12 пт.
- Крупний індекс 7 пт.
- Дрібний індекс 5 пт.
- Крупний символ 18 пт.
- Дрібний символ 12 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими, бажано прозорими, і вставлені у файл і роздруковку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi.

Структура статті: вступ (постановка задачі або проблеми); рішення задачі (мета, задачі, об'єкти, предмети, методи дослідження); основні результати та висновки з перспективами; список використаних літературних джерел. Основні розділи можуть мати назви, відмінні від приведених вище найменувань.

Список використаної літератури подається загальним списком у кінці рукопису (послідовність – у порядку згадування по тексту) згідно зі встановленими вимогами стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. У списку повинно бути не менше 10 джерел, у списку посилань неприпустимо використання ГОСТів та загальнонаціональних стандартів, відсоткове співвідношення самоцититування – не більше 30% (тобто якщо Ви використали 10 посилань, з них може бути не більше 3 на роботи автора).

До статті також наводиться перелік літератури латиницею (*References*), для його оформлення використовувати АРА-стиль. Список літератури транслітерується або перекладається англійською мовою. Транслітерувати інформацію необхідно відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (транслітерацію української мови можна здійснити за посиланням <http://translit.kh.ua> [обрати стандарт: Паспортний (КМУ 2010)]). Транслітерувати джерела, яки пишуться латиницею не потрібно.

Структуровані анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 слів надаються: на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

Документи, що подаються до редакції.

Для публікації автор повинен надати до відділу технічної інформації ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft Word;
- файл кожного рисунка, включеного в статтю, окремо;

– рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

– структурована анотація та ключові слова українською, англійською і російською мовами, включаючи назву статті та прізвища авторів трьома мовами – на окремій сторінці;

– зовнішня рецензія професора, доктора наук (редакційна колегія залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію);

– ліцензійний договір;

– відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail, наукові інтереси авторів, ORCID автора(ів)) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямом журналу. Рукописи авторам не повертаються.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Бень А. П., Паламарчук І. В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ВИСОКОТОЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РУХОМ МОРСЬКИХ СУДЕН	4
<i>Берестовой А. М., Зинченко С. Г.</i> ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОРСКОГО ПОРТА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЕГО ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ	11
<i>Вильский Г. Б.</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ РИСКИ СУДОХОДСТВА В ДИАГРАММЕ ИСИКАВЫ	19
<i>Годованюк С. П., Селиванов С. Е.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА КАЗЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ «МОРСКАЯ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА»	26
<i>Карамушка М. В.</i> ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ РАЗВИТИЯ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ	35
<i>Лошкарев А. Г., Стовба Т. А.</i> «ТРИ КИТА» МИРОВОГО СУДОХОДСТВА XX ВЕКА	44
<i>Мошеницев Ю. Л., Гогоренко А. А.</i> СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	54

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

<i>Гюлев Н. У.</i> ОРОЖНІЙ ЗАТОР ЯК ФАКТОР НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ВОДІЯ	66
<i>Евдокимова В. А., Хаєт Л. Г.</i> МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СТРУКТУРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	75
<i>Соколов А. Е., Соколова О. В.</i> ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	90

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Горобец В. Г., Богдан Ю. А., Троханяк В. И. 100
КОМПЬЮТЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО
ТЕПЛООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ КОМПАКТНЫХ ПОПЕРЕЧНО
ОБТЕКАЕМЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ

Миницкий А. В., Сосновский Л. А., Лобода П. И. 111
РЕЗЕРВЫ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА

Ходаков В. Е., Соколова Н. А., Якимчук Г. С. 118
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ НЕГАТИВНЫХ
ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Акимов А. В., Михайлик В. Д., Бень А. П., Ивченко Т. И., Гнатов А. В. 124
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
ДЛЯ РЕМОНТА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК НА ТРАНСПОРТЕ

Алексенко В. Л., Браило Н. В., Сердюк Н. В. 137
ЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ОТ ОКИСЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ
ПОД ТЕРМООБРАБОТКУ И ОБРАБОТКУ ДАВЛЕНИЕМ

Букетов А. В., Зінченко Д. О., Клевцов К. М., Бень А. П., Наговський Д. А. 146
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ
СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТИВ ІЗ
ПОЛІПШЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Исаев Е. А., Чернецкая И. Е. 157
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ БАРАБАННЫМ ОКОМКОВАТЕЛЕМ

Іванов І. Є. 165
ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІЇ ТЯЖІННЯ НА ПОКАЗНИКИ
КІЛЬКОСТІ ПАСАЖИРОМІСЦЬ

**Калинчак В. В., Черненко А. С., Софронков А. Н., Селиванов С. Е.,
Федоренко А. В.** 174
ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ РЕЖИМЫ БЕСПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ
ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Корзун В. В., Маменко П. П. 185
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ СУДОВЫХ АНТЕНН И ЕГО ВЛИЯНИЕ
НА ЗДОРОВЬЕ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА

Коробанов Ю. Н., Коришиков Р. Ю., Коришиков Ю. С. 196
АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ В СУДОВЫХ ПЕРЕРЫВИСТЫХ СВЯЗЯХ

Коробко В. В., Московко О. О., Воронов І. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ТУРБІН В ТЕРМОАКУСТИЧНИХ ТЕПЛОВИХ МАШИНАХ	201
Куш Є. І., Скрипін В. С. ЩОДО ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПОСТІЙНУ СКЛАДОВУ ЗАГАЛЬНИХ ВИТРАТ	209
Настасенко В. А. СТРОГОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАЛИЧИЯ МАССЫ У ФОТОНА	217
Проценко В. О. СТРУКТУРНІ ТА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ І ГАЛЬМ ІЗ КОНІЧНИМИ ФРИКЦІЙНИМИ ПОВЕРХНЯМИ ТА КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	228
Самарін О. Є. ДЕМПФУВАННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ	238
Санько Я. В. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ПОТРЕБИ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ	244
Сметанкін С. О., Нігалатій В. Д., Букетов А. В., Шарко О. В., Скирденко О. І., Баглюк Г. А. РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ	252
Филиппчук А. Н. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ	262
Чередниченко А. К. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ СБРОСНОГО ТЕПЛА	274
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
Васюхін М. І., Сініцин О. В., Іваник Ю. Ю. АЛГОРИТМІЧНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СЦЕНАРІЇВ ГІС РЕАЛЬНОГО ЧАСУ У WEB- СЕРЕДОВИЩІ	282
Давідіч Н. В. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРОЕКТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	291

<i>Касім М. М., Васюхін М. І., Касім А. М.</i> ВИСОКОТОЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗІЙНОГО ВОДІННЯ	299
<i>Марасанов В. В., Шарко А. А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ	310
<i>Стрелковская Л. А.</i> ПОДБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	320
<i>Ткач В. А. , Каиштальян П. В. , Рожков С. А.</i> СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ	329
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	338
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	339

Для нотаток:

Для нотаток:

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (14), 2016

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*
Технічний редактор *О. Ю. Клементьєва*
Коректор *Т. О. Радул*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Підписано до друку 26.12.2016. Формат 84×108/32.
Папір офсетний.
Ум. др. арк. 21,75 Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20