

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дунайський інститут Національного університету
«Одеська морська академія»

НАЙДЬОНОВ АНДРІЙ ІГОРОВИЧ



УДК 621.436:629.122:662.61

**МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАСОБІВ
РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА
ДОПОМОГОЮ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дунайському інституті Національного університету «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
ЧИМШИР Валентин Іванович,
Національний університет “Одеська морська академія”, директор Дунайського інституту,
професор кафедри «Суднових енергетичних установок і систем».

Офіційні опоненти: **КУЛИК Микола Сергійович**, доктор технічних наук, професор, декан аерокосмічного факультету Національного авіаційного університету;

КУЛАГІН Дмитро Олександрович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри електропостачання промислових підприємств Національного університету «Запорізька політехніка».

Захист дисертації відбудеться «27» квітня 2021 року о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.110.01 у Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 04211, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 2 та на сайті <https://duit.edu.ua/research-activities/specialized-scientific-councils/d-26-110-01>

Автореферат розісланий 25 березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої
ради Д 26.110.01



О.М. КОЛОМІЕЦЬ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Робоча група з внутрішнього водного транспорту Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй (ЄЕК ООН) 16 березня 2006 прийняла Резолюцію № 61, додатком до якої є "Рекомендації, що стосуються узгоджених на європейському рівні технічних приписів, застосованих до суден внутрішнього плавання".

На основі Рекомендацій, розроблених і прийнятих в рамках ЄЕК ООН, Постановою Шістдесят восьмої сесії Дунайської Комісії (ДК) від 15 травня 2007 року (док. ДК / СЕС 68/7) були прийняті "Рекомендації, що стосуються технічних приписів для суден внутрішнього плавання" в якості мінімальних технічних приписів для суден країн-членів ДК, що плавають по Дунаю, з урахуванням раніше прийнятих ДК рекомендацій за окремими технічними питаннями. Цією Постановою країнам-членам ДК рекомендовано ввести їх в дію в якнайкоротший термін і проінформувати про це ДК.

З огляду на те, що на сьогодні середній вік суден українського Дунайського пароплавства 38 років, і беручи до уваги їх частку в флоті що працюють в басейні річки Дунай, слід очікувати, що велика частина суден під українським прапором може виявитися в групі поза стандартних, якщо не будуть вжиті необхідні заходи для відновлення або модифікації флоту. Основними напрямками досліджень можна вважати пошук конструктивних змін або нових рішень, пов'язаних із судновими технічними засобами або рішеннями, пов'язаними з модифікацією палива та застосуванням нових його типів.

Одним з ефективних маловитратних і простих способів зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами суднових дизелів є застосування присадки води до палива у вигляді емульсії. Одним з ефективних маловитратних і простих способів зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами суднових дизелів є застосування присадки води до палива у вигляді емульсії.

Значний внесок в цій галузі зроблений вітчизняними і зарубіжними вченими А.А. Теплицким, А.В. Савченко, А.О. Прохоренко, А.П. Марченко, В.В. Солодовниковим, М.С. Куликом, І.В. Парсадановим, І.М. Карягіним, М.О. Диким, Abuzaid M., Armas O., Hountalas D., Kadodta T., Leug P., Maria R.B., Morozumi Y., Yoshimoto Y. і багатьма іншими, але окремі питання підвищення екологічних показників експлуатації засобів річкового транспорту залишилися на цей час невизначеними.

Вищенаведене вимагає вирішення актуального наукового завдання, яке полягає в розробленні моделей та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота спрямована на реалізацію Закону України про Транспорт (№ 4709-VI від 17.05.2012), Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова Кабінету міністрів України від 7.10.2009, № 1307),

Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки (наказ Міністерства інфраструктури України від 26.06.2013, № 426), Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту (Розпорядження Кабінету міністрів України від 11.10.2017, № 747-р).

Модифікація палива є однією з тем науково-дослідної роботи кафедри суднових енергетичних установок і систем в межах комплексної теми «Розробка концепції безпечної експлуатації суднових систем та обладнання» за державним реєстраційним номером 0118U007602.

Передбачається, що застосування модифікованого палива здатне поліпшити екологічні показники транспорту внутрішніх водних шляхів із мінімальними змінами в конструкції як двигунів так і суден.

Метою і завданням досліджень є теоретичне та практичне обґрунтування доцільності застосування гомогенізованого дизельного палива для покращення екологічних та надійнісних показників ефективності експлуатації засобів річкового транспорту.

Поставлена мета досягається через вирішення таких часткових **завдань**:

- проведення аналізу та виявлення особливо важливих системних властивостей які впливають на ефективність експлуатації річкового транспорту;
- розроблення моделей та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації;
- обґрунтування особливостей використання гомогенізованого палива на борту річкового судна та підвищення надійності експлуатації двигуна;
- проведення досліджень щодо ефективності розроблених науково-технічних рекомендації.

Об'єкт дослідження - процес експлуатації засобів річкового транспорту

Предмет дослідження - моделі та методи покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

Методи дослідження

У роботі поєднані теоретичні, чисельні та експериментальні методи дослідження.

Теоретичні методи використовувалися під час розрахунку динаміки зростання зародка парогазового утворення в краплі гомогенізованого палива, що виконувалися за допомогою чисельного моделювання на комп'ютері.

Експериментальні методи використовувалися для перевірки адекватності та достовірності математичних моделей, а також для визначення закономірностей перебігу процесів випаровування краплі чистого палива та гомогенізованого палива на нагрітому донишку поршня, що проводилися на дослідній установці.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

- удосконалено модель підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива, яка відрізняється від відомих проведенням оптимізації системних властивостей експлуатації, що дозволяє підвищити екологічні та надійнісні показники

експлуатації засобів річкового транспорту в умовах посилення міжнародних вимог до скорочення шкідливих викидів в атмосферу та підвищення безпеці експлуатації;

- удосконалено метод підвищення паливної економічності та поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації, який відрізняється від відомих проведенням порівняльних випробувань дизеля на різних видах палива, що дозволяє більш точно визначити екологічні показники експлуатації, за рахунок визначення складу відпрацьованих газів та оцінювання впливу дисперсності гомогенізованого палива на динаміку зростання парогазового утворення за різних умов експлуатації засобів річкового транспорту;

- удосконалено процедура підвищення комплексного показника надійності експлуатації засобів річкового транспорту, яка відрізняється від відомих визначенням умов міцності головного дизельного двигуна по щільності розподілу ймовірностей випадкових величин навантаження і несучої здатності, що дозволяє підвищити експлуатаційні показники довговічності та безвідмовності за рахунок використання моделі «навантаження - несуча здатність».

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що на основі виконаних досліджень розроблено та впроваджено:

Порівняльні випробування двигуна на чистому та гомогенізованому дизельному паливі показали ефективність використання отриманого гомогенізованого палива в суднових дизелях без внесення змін у конструкцію двигунів.

Впроваджено систему при переведенні двигуна з безводного дизельного на гомогенізоване паливо з водою, виготовлене на дослідній установці.

Результати досліджень свідчать про те, що покращились екологічні показники ефективності експлуатації, а саме: зменшилась концентрація оксидів азоту на 32 %; зменшилась концентрація оксиду вуглецю на 34%; зменшення температури випускних газів на 2,2 %; зменшення димності на 36 %; збільшення питомої ефективної витрати палива лише на 13 %.

Також за результатами досліджень спостерігається підвищення надійності експлуатації, а саме: підвищення довговічності до 10–15 %; підвищення безвідмовності до 5-7 %.

Впровадження отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи були впроваджені в судноплавній компанії Приватне акціонерне товариство “Українське Дунайське пароплавство” на теплоході «Прага» та у відокремленому структурному підрозділі ПрАТ “Українське Дунайське пароплавство” на судні «Задонск», що дозволило підвищити екологічні та надійнісні показники експлуатації суден.

Результати дослідження дисертаційної роботи також було впроваджено у навчальному процесі Дунайського інституту НУ “ОМА” при проведенні лекційних та практичних занять з дисциплін “Суднові допоміжні установки і системи та їх експлуатація” і “Суднові двигуни внутрішнього згоряння” та у

навчальному процесі Херсонської державної морської академії при проведенні лекційних та практичних занять.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень і рекомендацій. Наукові положення та результати, що отримані в дисертаційному дослідженні достовірні, оскільки базуються на проведенню інформаційного пошуку, розробленій математичній моделі, збігу аналітичних та експериментальних значень досліджених параметрів, а також актах впровадження на енергетичних установках річкових суден.

Особистий внесок автора. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: [1] – аналіз використання різноманітних видів палива на річних суднах, перспектива застосування гомогенізованого палива, запропоновано принципову схему підготовки удосконаленого палива в суднових умовах, запропоновано удосконалення методики діагностування індикаторного процесу; [2] – наведено результати моделювання впливу на коефіцієнт димності відпрацьованих газів на деяких режимах роботи дизеля, обґрунтовано працездатність стенду та запропоновано шляхи зниження коефіцієнту димності; [3] – досліджено вплив динамічних режимів роботи дизеля на основні компоненти токсичних викидів, розроблено модель підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива; [4] – модель пристрою формування оптимального пуску щодо викидів та показано зниження токсичних компонентів відпрацьованих газів, коефіцієнта димності і оксидів азоту; [5] – автором обґрунтовано процедура підвищення комплексного показника надійності експлуатації засобів річкового транспорту.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і наукові результати дослідження доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на міжнародних науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях основними з яких є:

міжнародні – “Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту” (Ізмаїл, 2017-2019); «Сучасні тенденції розвитку морської галузі, безпеки судноплавства, підготовка моряків у відповідності до національних та міжнародних вимог» (Україна, Маріуполь, 2018); “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО – 2019” (Херсон, 2019); «The Third International scientific congress of scientists of Europe. Proceedings of the III International Scientific Forum of Scientists "East–West" (Austria, Vienna, 2019); «Innovative approaches for the development of competencies of specialists under conditions of professional development» (Україна, Ізмаїл, 2019); «Професійне навчання персоналу – європейський вибір» (Україна, Київ – Ізмаїл, 2019); «Стратегічний потенціал державного та територіального розвитку» (Україна, Маріуполь, 2019).

Публікації. Основні результати дисертації висвітлено у 5 наукових працях, з них: 4 – у фахових виданнях України (категорії Б), 1 – у науковому виданні ЄС.

Додатково результати досліджень висвітлені у фахових виданнях інших країн у 6 наукових працях (у тому числі 1 у міжнародній наукометричній базі Scopus), а також апробовані та опубліковані у 10 збірниках і матеріалах науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 199 сторінок, з них 160 сторінок основного тексту, 33 рисунки, 8 таблиць, бібліографія з 172 найменувань на 19 сторінках.

У додатку А наведені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, показано зв'язок дисертації з науковими планами і темами. Висвітлено особистий внесок здобувача і наведено відомості про апробацію результатів та кількість публікацій.

У **першому розділі** аналіз екологічної безпеки експлуатації установок річкового судна було проаналізовано та виявлено особливо важливі показники, які впливають на екологічність річкового судна; основні напрямки комплексного поліпшення екологічних показників річкового судна; вплив властивостей гомогенного палива на екологічні показники річкового судна.

Також виконаний аналіз міжнародних і вітчизняних нормативних документів в галузі контролю забруднень атмосферного повітря судновими дизелями.

На основі проведеного аналізу основних можливих заходів щодо зниження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів (Рис. 1) річкових суден показано, що переважна більшість відомих технологій пов'язана з ускладненням конструкції дизеля, підвищенням його вартості і збільшенням витрат на обслуговування і експлуатацію. Позначено, що найбільш простим і ефективним способом зменшення концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах дизелів суден внутрішніх водних шляхів є використання водопаливної емульсії.

Структурно-логічна схема проведених досліджень наведено на рис. 1.

У **другому розділі** дослідження процесу гомогенізації дизельного палива були розглянуто роботи в галузі вивчення процесу гомогенізованого палива в дизелі річкового судна; модель парогазового утворення в краплі емульсій палива; досліджено вплив дисперсності гомогенізованого палива на динаміку зростання парогазового утворення при різних умовах; розроблення моделі та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

Модель покращення системних властивостей експлуатації засобів річкового транспорту повинна встановити алгоритмічну залежність вихідного

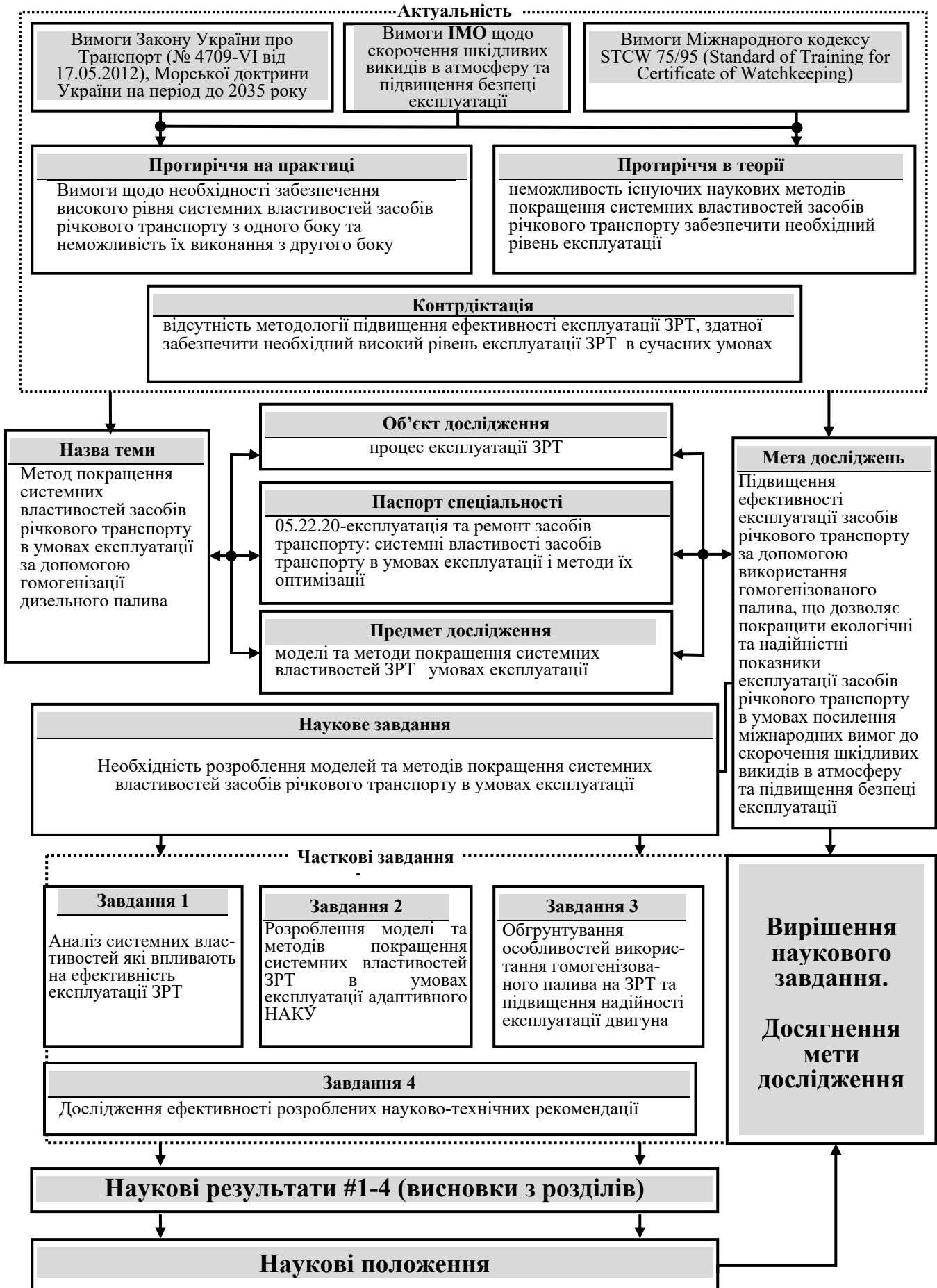


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема проведених досліджень

ефекту системи, який визначений цільовою функцією $F(T)$ та її показниками якості α в залежності від сукупності параметрів Y

$$Y=Y(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4), \quad Y \in Z=\{F(T), \alpha \in G\}, \quad (1)$$

де \bar{A}_1 – параметри викидів; \bar{A}_2 – параметри двигунів засобів річкового транспорту; \bar{A}_3 – параметри системи технічної експлуатації засобів річкового транспорту; \bar{A}_4 – параметри ресурсних витрат на експлуатацію засобів річкового транспорту.

До низки найбільш важливих показників якості системи, які створюють сукупність

$$G = \{P_{\text{ЕК}}, Q_{\text{ЗРТ}}, R_{\text{ЗРТ}}\}$$

відносять: екологічні показники $P_{\text{ЕК}}$ експлуатації засобів річкового транспорту; надійність експлуатації засобів річкового транспорту $Q_{\text{ЗРТ}}$; ресурси, які використовуються при експлуатації засобів річкового транспорту $R_{\text{ЗРТ}}$.

Бажано, що всі показники ефективності експлуатації засобів річкового транспорту повинні сприймати свої найкращі значення.

При заданих параметрах викидів, параметрів двигунів засобів річкового транспорту, параметрів системи технічної експлуатації засобів річкового транспорту, параметрів ресурсних витрат на експлуатацію засобів річкового транспорту необхідно мінімізувати екологічні показники $P_{\text{ЕК}}$ експлуатації засобів річкового транспорту за критерієм

$$G = P_{\text{ЕК}} \rightarrow \min,$$

при таких обмеженнях

$$R_{\text{ЗРТ}} \leq R_{\text{ЗРТ}} \text{ зад}, \quad Q_{\text{ЗРТ}} \geq \underline{Q}_{\text{ЗРТ}} \text{ зад}, \quad \bar{A}_1 = (b, T_{\text{Г}}, N, NO_x, CO, CH), \\ \bar{A}_2 = (J_{\text{м}}, Д, П, Е, Р, T_{\text{пал}}), \quad (2)$$

де b – питома ефективна витрата палива; $T_{\text{Г}}$ – температура відпрацьованих газів; N – димність відпрацьованих газів за шкалою Hartrige; NO_x – концентрація оксидів азоту; CO – концентрація оксиду вуглецю; CH – концентрація вуглеводнів; $J_{\text{м}}$ – тягова характеристика; $Д$ – довговічність двигуна; $T_{\text{пал}}$ – тип палива, яке використовується; $П$ – потужність; $Е$ – економічність (витрата палива); $Р$ – ресурс двигуна до капітального ремонту.

В ході випаровування крапель ВПЕ, на відміну від процесу випаровування крапель безводного палива, має місце явище, що отримало назву “мікровибухи”. Це відбувається в момент, коли тиск парів води всередині краплі емульсії перевищить тиск створюване силами поверхневого натягу на межі пар-рідина.

Для розрахунку динаміки розвитку парогазового утворення, що знаходиться в краплі гомогенного палива прийmemo фізичну модель в наступному вигляді. Модель рівняння парогазового утворення розташованого всередині частинки води, яка знаходиться в краплі палива (1) записуємо в такому вигляді:

$$\left[R \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{d\tau} \right)^2 \right] \cdot \rho - \left[\Delta P(T) - \left(\frac{2\sigma_{ч.в.}}{R_{н.у.}} + \frac{2\sigma_{ч.в.}}{R_{ч.в.}} + \frac{2\sigma_{к.п.}}{R_{к.п.}} \right) \right] = -P_a \quad (3)$$

де R – поточний радіус газової бульбашки; $R_{н.у.}$ – поточний радіус парогазового утворення; $R_{ч.в.}$ – поточний радіус частинки води; $R_{к.п.}$ – поточний радіус краплі палива; τ – час; ρ – щільність рідини, в якій знаходиться парогазове утворення; $\Delta P(T)$ – різниця тисків на межі поділу рідкої і газоподібної фази; $\sigma_{ч.в.}$, $\sigma_{к.п.}$ – коефіцієнти поверхневого натягу на кордонах парогазового утворення, частинки води, краплі палива; P_a – тиск газового середовища.

Фізичний сенс рівняння полягає в рівновазі всіх діючих на парогазове утворення тисків в будь-який заданий проміжок часу. Ліва частина виразу є сумою рівнодіючого тиску і динамічного тиску а права частина рівняння є тиск парогазової суміші в бульбашці врівноваженої силою поверхневого натягу на межі розділу середовищ.

Було проведено чисельні дослідження та в результаті встановлено, що після втрати стійкості, з плином часу, швидкість росту парогазового утворення різко збільшується. При досягненні критичного розміру бульбашки відбувається розрив оболонки і викид парів води за межі краплі.

На рис. 2. та рис. 3. наведено графіки зміни радіуса парогазового утворення гомогенізованого палива при різних зовнішніх умовах.

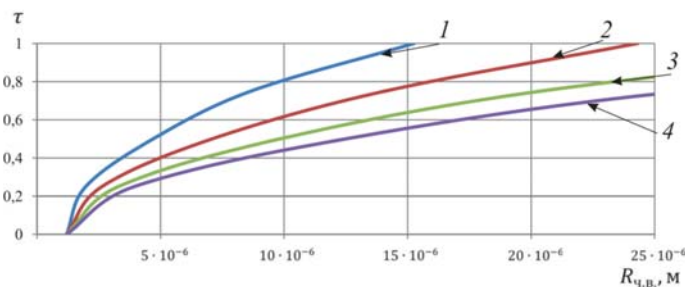


Рисунок 2 – Динаміка зміни радіуса парогазового утворення за різної температури зовнішнього середовища:
1) $T = 293$ К; 2) $T = 373$ К; 3) $T = 473$ К; 4) $T = 573$ К

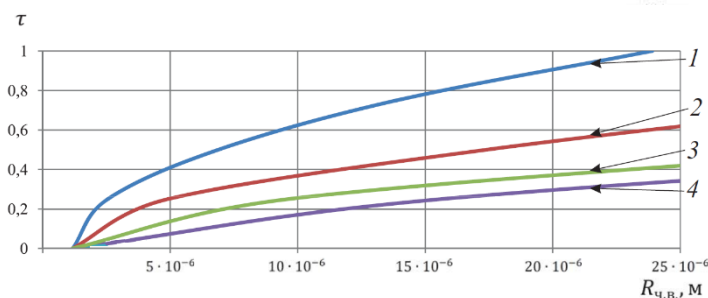


Рисунок 3 – Залежність швидкості росту парогазового утворення від зовнішнього тиску:
1) $P_a = 1,3$ МПа; 2) $P_a = 1,6$ МПа; 3) $P_a = 1,8$ МПа; 4) $P_a = 1,9$ МПа.

З наведених результатів чисельного моделювання видно, що при підвищенні дисперсності розпилювання гомогенізованого палива, швидкість росту парогазового утворення в краплях буде зменшуватися, а з підвищенням температури і тиску навколишнього середовища - збільшуватися.

У **третьому розділі** дослідження впливу гомогенізованого палива на дизель річкового судна було розглянуто основні характеристики гомогенізованого палива та їхній вплив на робочий процес дизеля річкового судна; розроблено метод обробки палива на основі мембранного диспергатора; експериментально досліджено процес випаровування крапель гомогенного палива на донишку поршня.

Переважає більшість дослідників вважають, що явища, які відбуваються в камері згоряння дизеля, можна представити у вигляді комплексу факторів, що впливають на фізичні і хімічні процеси.

Фізичні властивості гомогенного палива (в'язкість, щільність, температура спалаху і застигання та ін.) Визначаються тими ж показниками, що і властивості безводного палива. Однак існують характеристики, які властиві тільки модифікованому паливу. До них відносяться: дисперсність, гетерогенність, концентрація дисперсної фази, стійкість.

Хімічну роль води пояснюють каталітичною дією водяної пари. У полум'ї, вода частково розкладається на водень, кисень і гідроксильну групу і діє на процес окислення окису вуглецю як каталізатор.

Враховуючи дані, що ми отримали, теоретично і експериментально було сформовано та випробувано мембранний гомогенізатор (Рис.4.) для виготовлення гомогенного палива з водою.



a)

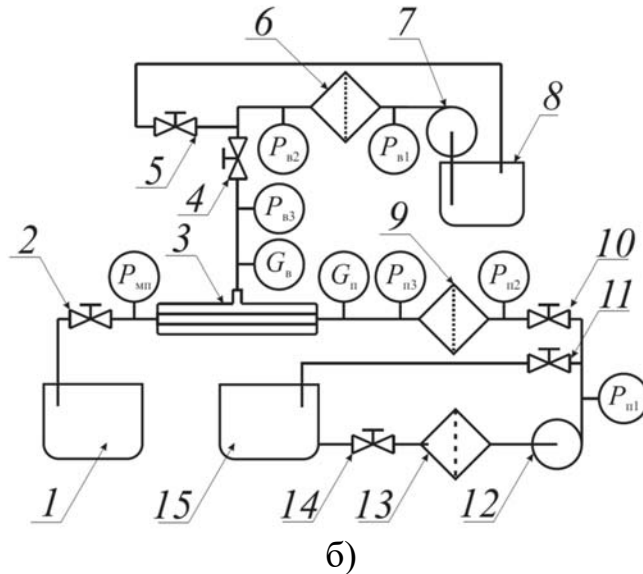


Рисунок 4 – Експериментальна установка (а) та концептуальна модель (б) для отримання гомогенізованого палива:

- 1) бак гомогенізованого палива; 2, 4, 5, 10, 11, 14) вентиль; 3) мембранний диспергатор;
 б) фільтр тонкого очищення води; 7) відцентровий насос води; 8) бак з дистиллятом; 9) фільтр тонкого очищення палива; 12) відцентровий насос палива; 13) фільтр грубої очистки палива;
 14) бак палива; P_B – тиск води; $P_П$ – тиск палива; $P_{мп}$ – тиск модифікованого палива;
 G_B – витрата води; $G_П$ – витрата палива

Новий спосіб реалізований на установці, яка була розроблена в ДІ НУ«ОМА». За допомогою спеціальних мембран виходить гомогенізоване паливо, яке містить частинки води діаметром (0,5-1,3) мкм.

За результатами аналізу, проведеного у попередніх розділах була розроблена модель підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива (рис.5).

В блок-схемі алгоритму моделі підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива виділено чотири основних блоки, які логічно пов'язані між собою: вихідні дані (рівень А); розрахунок екологічних та експлуатаційних параметрів (рівень В); оптимізаційний блок (рівень С); визначення головних результатів (рівень D).

Входом і процесом роботи програми рівня А - формування і введення основних вихідних даних для роботи системи служать: конструктивні параметри ТЗ, що визначаються заводом-виробником, деякі параметри двигуна, модифікація ТЗ та інші характеристики відповідного ТЗ; нормативні параметри ТЗ.

Блок В утворює у загальному вигляді розрахунок показників експлуатації ЗРТ.

Блок С утворює у загальному вигляді оптимізаційний блок, який спрямований на покращення паливної економічності та екологічну безпеку транспортних засобів.

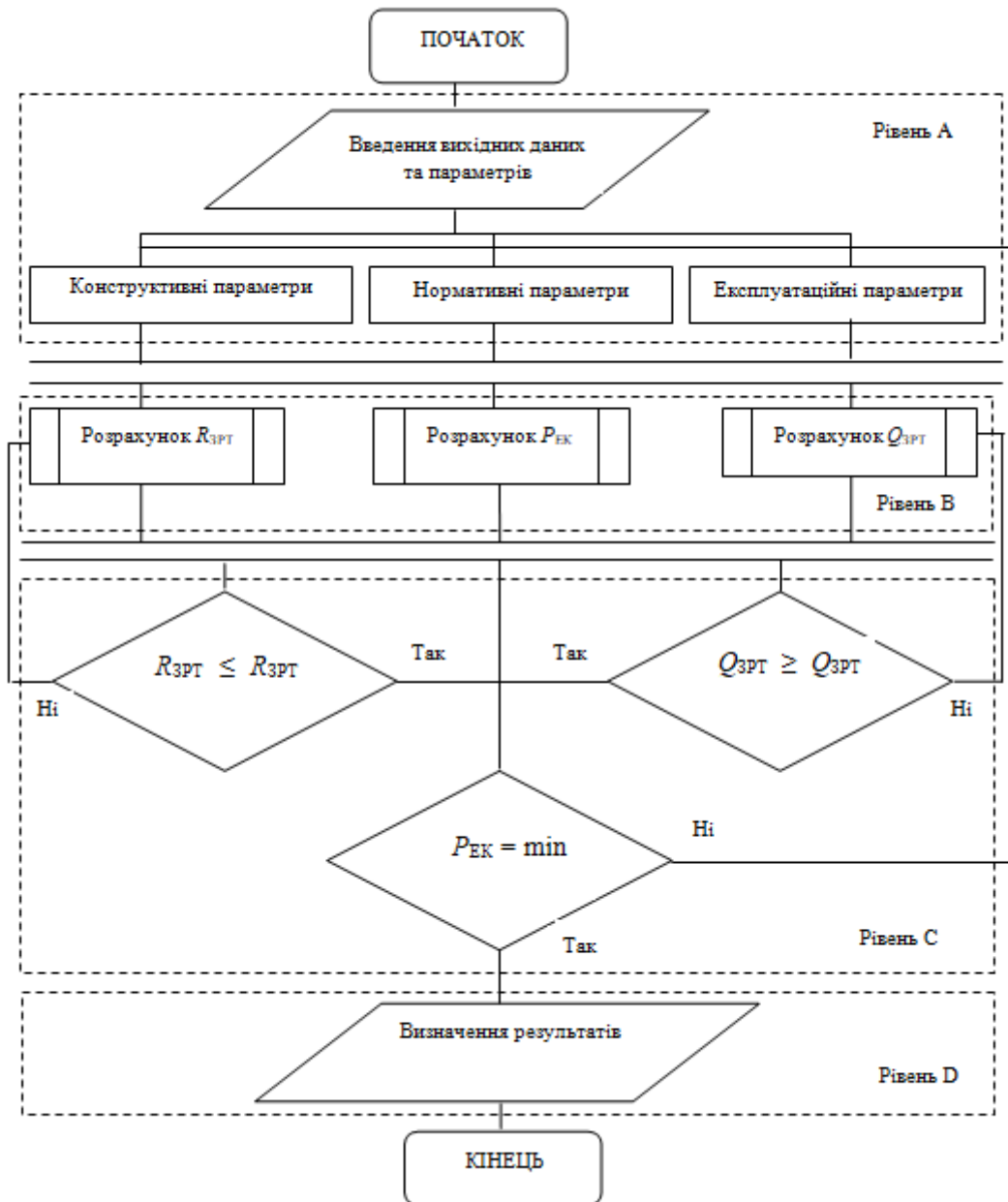


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму моделі підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива

Блок D утворює у загальному вигляді розрахунок екологічних та надійнісних показників: розрахунок витрати палива та мастильних матеріалів; розрахунок викидів за основними типами шкідливих речовин (оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, тверді частинки); розрахунок відходів та розрахунок довговічності та безвідмовності.

Таким чином, отримані в процесі експериментальних досліджень результати, підтверджують адекватність прийнятої для проведення чисельних досліджень фізичну модель.

У **четвертому розділі** дослідження впливу гомогенізованого палива на екологічні показники дизеля річкового судна було розроблено концептуальну

модель використання гомогенізованого палива на борту річкового судна; досліджено екологічні показники роботи дизельного двигуна річкового судна на гомогенізованому паливі з різною дисперсністю та концентрацією; досліджено робочий процес дизеля за допомогою характеристик тепловиділення.

Було розроблено концептуальну модель використання гомогенізованого палива на борту річкового судна (рис. 6.) з мінімальними змінами в конструкції.

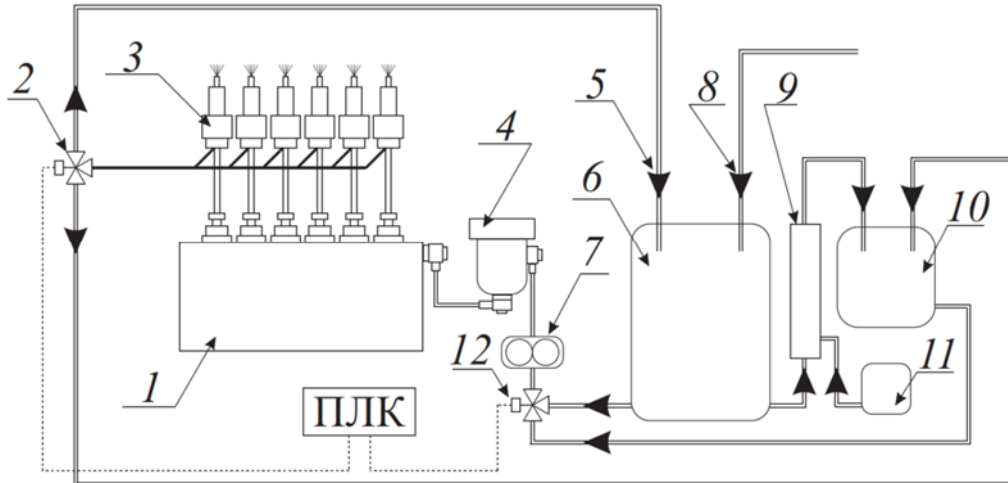


Рисунок 6 – Схема використання гомогенізованого палива на борту річкового судна:

- 1) паливний насос високого тиску; 2) триходовий електромагнітний клапан; 3) паливні форсунки; 4) паливний фільтр; 5) злив циркуляційного палива; 6) розхідна цистерна;
- 7) паливний насос; 8) паливо з танку запасу; 9) гомогенізатор; 10) додаткова цистерна для гомогенізованого палива; 11) додатковий танк для дистилляту; 12) триходовий електромагнітний клапан; ПЛК - програмований логічний контролер

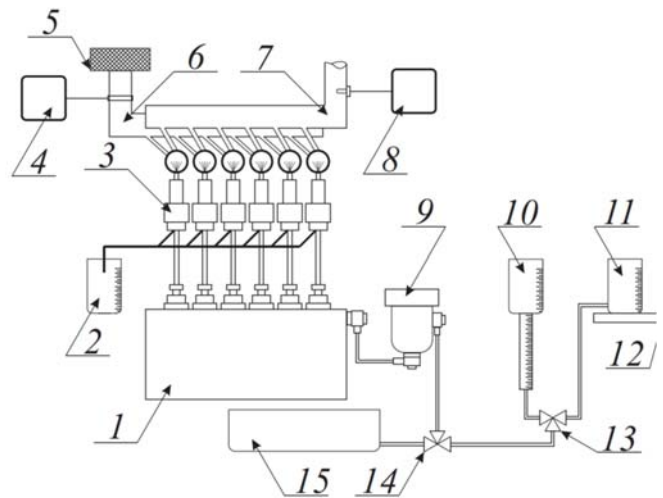
Стандартна паливна система судна складається з розхідної цистерни 6 ($V = 1 \text{ м}^3$) з якої паливо насосом 7 через фільтр 4 подається на паливний насос високого тиску 1 ($P < 5 \text{ бар}$) і з нього на форсунки 3 або на рециркуляцію 5 до цистерни 6. Система може бути дооблаштована додатковою цистерною 10 ($V = 0,5 \text{ м}^3$) для модифікованого палива яке поступає в нього через мембранний гомогенізатор 9 ($Q \leq 0,04 \text{ м}^3 \cdot \text{год}$) з розхідної цистерни 6 в яку паливо подається з танку запасу 8. На сталому режимі роботи головного двигуна судна ПЛК перемикає триходовий клапан 12 з цистерни 6 на цистерну 10, тоді ГД починає працювати на модифікованому паливі.

Проведено порівняльні випробування роботи дизельного двигуна на різних видах дизельного палива при роботі на безводному та гомогенному паливі різної концентрації та дисперсності, що проводилися на річковому штовхачі т/х «ЗАДОНСК» (Рис.7) (тип «ЗАПОРОЖЬЕ»), яке належить ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство», яке знаходилось в відокремленому госпрозрахунковому структурному підрозділі (ВГСП) «Ізмаїльська база технічного обслуговування флоту» ПрАТ «УДП».

Дослідницьку роботу проводили із дотриманням вимог ДСТУ ІСО 3046-1:2004 (ISO 3046-1-2002 IDT), ДСТУ ISO 11614:2009.



а)



б)

Рисунок 7 – Загальний вигляд (а) на судні т/х «ЗАДОНСК» та принципова схема (б) експериментальної установки

- 1) паливний насос високого тиску; 2) ємність для невитраченого (відсічного) палива;
- 3) паливні форсунки; 4) датчик моменту витрати повітря; 5) повітряний фільтр;
- 6) повітряний ресивер; 7) газовий колектор; 8) димомір; 9) паливний фільтр;
- 10, 11) мірні ємності; 12) ваги; 13, 14) 3-ходові клапани; 15) витратний бак.

Випробування (рис.8) проводилися на дизельному дистилатному паливі ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови» марки ДП-Л-Євро5-в0 з температурою спалаху за стандартом не нижче 55°C , а саме (67°C).

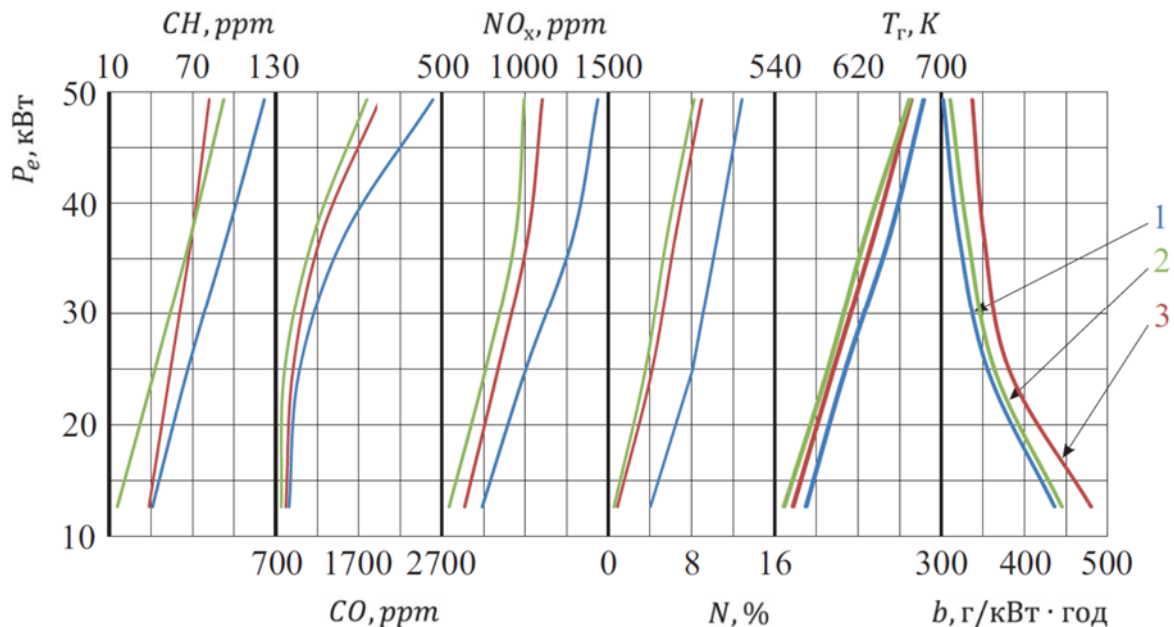


Рисунок 8 – Навантажувальні характеристики дизеля D234V06 (ЧН 12,8/14,4)

при частоті обертання колінчастого вала, що становить 1500 об / хв

- 1) дизельне паливо; 2) гомогенне палива з вмістом води 5%, $d_w = (10-15)$ мкм;
- 3) гомогенне палива з вмістом води 15%, $d_w = (10-15)$ мкм

З наведеного помітно:

– при переведенні дизеля з безводного палива на гомогенізоване паливо з $d_w=10-15$ мкм, на номінальному режимі, концентрація оксидів азоту зменшилася в 1,3 рази, димність відпрацьованих газів змінилася з 12 до 7,5 %. Питома ефективна витрата палива збільшилася на 41 г / (кВт · год),.

– при переведенні дизеля з безводного палива на отриману на дослідній установці гомогенізоване паливо з $d_w < 3$ мкм, на номінальному режимі, концентрація NO_x скоротилася в 1,4 рази, димність зменшилася з 12 до 7 % . Питома ефективна витрата палива збільшилася всього на 20 г / (кВт · год), що знаходиться в межах помилки вимірювань.

Таким чином, в результаті, зменшення розмірів частинок води в гомогенізованому паливі і більш рівномірному розподілу часток по середині краплі палива відбувається оптимізація процесу використання теплоти по куту ПКВ. Це сприяє скороченню витрати палива при одночасному зменшенні викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами.

Після перетворень в роботі отримано остаточне рівняння для визначення відносної швидкості згоряння за кутом повороту колінчастого валу.

$$\frac{dx}{d\phi} = \frac{c_V k_3 \varepsilon_x \frac{dp}{d\phi} + \left(1 + \frac{c_V}{R}\right) p k_4 b - \frac{\delta Q_w}{d\phi}}{\left[Q_H - \frac{(u - c_V T)}{1 - \xi_w}\right] b_{\text{ц}}} \quad (4)$$

де x – швидкість згоряння палива; ϕ – кут повороту колінчастого валу, 1° ПКВ; c_V – справжня питома ізохронна теплоємність газу, кДж / (кг · К); ε_x – поточна ступінь стиснення; p – тиск газу, кПа; R – питома газова стала $R = 0,28699$ кДж / (кг · К); Q_w – теплота, що підводиться до газу від стінок, кДж; Q_H – питома теплота згоряння палива, кДж/кг; u – питома внутрішня енергія газу, кДж / кг; T – температура газу, К; $b_{\text{ц}}$ – циклова подача палива, кг.

Математичним моделюванням було виявлено, що в результаті зменшення розмірів частинок води в гомогенному паливі і більш рівномірному розподілу часток у внутрішній краплі відбувається поліпшення процесу використання енергії горіння. Це сприяє скороченню витрати палива при одночасному зменшенні викидів з відпрацьованими газами.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню наукового завдання, пов'язаного з розробленням моделей та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

В процесі комплексного теоретичного і експериментального дослідження зроблено наступні висновки, а саме:

1. В результаті огляду опублікованих робіт відзначено, що ефективність застосування ВПЕ з метою зниження концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах підвищується зі зменшенням її дисперсності і

збільшенням кількості води в емульсії. Однак при цьому неминуче збільшується питома витрата палива.

2. Відмінною особливістю процесу випаровування краплі ВПЕ від процесу випаровування краплі безводного палива є наявність “мікрровибухів”. Динаміка “мікрровибухів” визначається швидкістю росту парогазового утворення, що знаходиться всередині краплі емульсії.

3. Розроблено математичну модель процесу зростання парогазового утворення в краплі ВПЕ, що знаходиться в нагрітому газівому середовищі.

4. Виконано чисельне дослідження цього процесу при різних зовнішніх умовах. Встановлено, що зі зменшенням дисперсності води в емульсії і при підвищенні тонкощі розпилювання швидкість росту парогазового утворення знижується, з підвищенням температури і тиску навколишнього середовища – збільшується.

5. На експериментальній установці вивчені особливості процесів випаровування крапель безводного палива і емульсії дизельне палива з водою в нагрітому повітряному середовищі. Досліди підтвердили адекватність розробленої математичної моделі.

6. Виготовлена і випробувана дослідна установка для отримання мікрогетерогенної водопаливної емульсії.

7. Розроблено та виготовлено експериментальну установку для проведення стендових випробувань дизеля на безводному паливі і водопаливній емульсії. Розроблено програму та методику випробувань, виконаний аналіз похибок вимірювань.

8. Проведено порівняльні випробування дизеля на безводному дизельному паливі, грубій і мікрогетерогенній водопаливній емульсії. Випробування проводилися за гвинтовими і навантажувальними характеристиками.

За результатами випробувань відзначено, що на номінальному режимі, при переведенні дизеля з безводного палива на грубу емульсію, концентрація оксидів азоту зменшилася в 1,3 рази, а питома ефективна витрата палива збільшився на 43 г / (кВт · год). При переведенні дизеля на мікрогетерогенну емульсію, приготувану на дослідній установці, в порівнянні з безводним дизельним паливом, концентрація оксидів азоту зменшилася в 1,4 рази, а питома ефективна витрата палива всього на (4-5) г / (кВт · год).

9. Результати досліджень свідчать про те, що покращились екологічні показники ефективності експлуатації, а саме: зменшилась концентрація оксидів азоту на 32 %; зменшилась концентрація оксиду вуглецю на 34%; зменшення температури випускних газів на 2,2 %; зменшення димності на 36 %; збільшення питомої ефективної витрати палива лише на 13 %.

Також за результатами досліджень спостерігається підвищення надійності експлуатації, а саме: підвищення довговічності до 10–15 %; підвищення безвідмовності до 5-7 %.

10. Проведено чисельне дослідження характеристики тепловиділення при роботі на безводному паливі і емульгованому паливі різної дисперсності. Порівняльний аналіз показав, що при роботі на мікрогетерогенній емульсії на

початку процесу згоряння визначальний вплив мають процеси мікро- і макросумішоутворення, а на заключній стадії збільшується роль хімічної і каталітичної дії парів води на горіння палива.

11. Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень підтвердили ефективність використання мікрогетерогенної емульсії, для зниження викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами в судових дизельних енергетичних установках.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Данилян А.Г., Чимшир В.И., Найденов А.И. Перспективы перевода судов речного флота на водотопливную эмульсию. *Вісник Одеського національного морського університету № 2 (44)*, 2015. С. 121-127 (наукове фахове видання України, категорія «Б»).

2. Данилян А.Г., Чимшир В.И., Власов И.В., Найденов А.И. Новые направления глубокой утилизации тепла судовых дизелей. *Вісник Одеського національного морського університету № 3 (49)*, 2016. С. 91-103. (наукове фахове видання України, категорія «Б»).

3. Горбань А.В., Довгаль І.І., Крижановська С. І., Найденов А.І. Особенности прогнозирования stanu судового обладнання річкового та морського транспорту. *Водний транспорт. 3(31)*. 2020. С.55–66 (наукове фахове видання України, категорія «Б»).

4. Бажак О.В., Найденов А.І. Розроблення методів поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації. *Slovak international scientific journal. Vol.1. No.49*, 2021. P.13-20 (наукове видання країни ЄС).

5. Найденов А.І., Смирнова І.М., Бліндарук О.М., Кравчук Ю.О. Методи підвищення паливної економічності та поліпшення екологічних показників засобів річкового транспорту в умовах експлуатації. *Водний транспорт. 1(32)*. 2021. С.86–97 (наукове фахове видання України, категорія «Б»).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Найденов А.И. Анализ эмульгаторов кавитационного типа / Найденов А.И. // Матеріали VI всеукраїнської науково-практичної конференції «Новітні напрямки переоснащення, експлуатації та ремонту судових систем», 10 грудня 2015 р. - Ізмаїл: ІФ ОНМА, 2015. - С. 89-92.

7. Найденов А.И. Экспериментальное исследование влияния комбинированного топлива на экономические и экологические характеристики дизеля / Найденов А.И., Тарковский Е.А. // Матеріали VII всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», 8 грудня 2016 р. - Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2016. - С. 127-130.

8. Шаркевич М.С. Комбинированные силовые установки / Шаркевич М.С., Найденов А.И. // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції

«Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», 7 грудня 2017 р. - Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2017. - С. 269-273.

9. Разінкін Р.О. Ресурсозберігаюча експлуатація суднових дизелів на основі трибомоніторингу моторного мастила / Разінкін Р.О., Найдьонов А.І.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку морської галузі, безпека судноплавства, підготовка моряків у відповідності до національних і міжнародних вимог», 25 травня 2018 р. - Маріуполь: АМІ НУ «ОМА», 2018. - С. 229-232.

10. Лещев В.О. Моделювання датчика частоти обертання з пружинами змінної жорсткості / Лещев В.О., Найдьонов А.І.// Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», 6-7 грудня 2018 р. - Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2018. - С. 121-124.

11. Razinkin R. Shipboard diesel engines resources – saving operation based on lubrication oil tribomonitoring / Razinkin R., Naydyonov A. // The third international scientific congress of scientists of Europe, 11th January 2019 - Vienna, Austria: “SOLUTION”, 2019. – 572-576 p.

12. Лещев В.А. Исследование влияния вида пружины датчика частоты вращения дизеля на токсичные компоненты ОГ при переходных процессах / Лещев В.А., Найденов А.И. // Матеріали Х міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2020», 12-13 вересня 2019 р. – Херсон: ХДМА.-2019. – С.46-48

13. Лещев В.О. Моделювання різних типів пружин датчика частоти обертання дизеля при перехідних процесах та вплив на токсичні компоненти ВГ / Лещев В.О., Найдьонов А.І. // Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної конференції «Стратегічний потенціал державного та територіального розвитку», 9-10 жовтня 2019 р. – Маріуполь - Кривий Ріг.- 2019. – С.369-371

14. Лещев В.О. Использование неявного решателя для моделирования динамических процессов токсичных выбросов отработанных газов на примере компоненты диоксидов азота / Лещев В.О., Найдьонов А.І.// Матеріали Х міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», 12-14 грудня 2019 р. - Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2019. - С. 132-134.

15. Лещев В.О. Візуальне моделювання впливу в'язкого тертя на критичні частоти крутильних коливань гребного валу судна / Лещев В.О., Найдьонов А.І. // Матеріали ХІ міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», 3-4 грудня 2020 р. – Ізмаїл. – 2020. -С. 68-72.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

16. Лещев В.А., Найденов А.И. Имитационное моделирование датчика частоты вращения с пружинами переменной жесткости. Научный взгляд в будущее. – Выпуск 12. Том 1. – Одесса: Куприенко СВ, 2019 – С.9-17.

17. Igor Z. Maslov, Valentin I. Chimshir, Iryna M. Smyrnova, Andrii I. Naydyonov. New Technological Scheme for Dredging Process. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-2, December, 2019. P. 185-190. (наукометрична база Scopus)

18. Данилян А.Г., Чимшир В.И., Разинкин Р.А., Найденов А.И. Совершенствование систем технического диагностирования малооборотных судовых дизелей. «Молодой учёный». № 2 (82. Технические науки). ООО «Издательство Молодой ученый». Казань, 2015 г. С. 138-142.

19. Лецев В.А., Найденов А.И. Влияния переходных процессов на величину коэффициента дымности отработанных газов дизеля. Научный взгляд в будущее. – Выпуск 13. Том 1. – Одесса: Куприенко СВ, 2019 – С.34-45..

20. Лецев В.А., Найденов А.И. Уменьшение выброса токсичных компонентов отработанных газов при пуске дизеля устройством формирования оптимального пуска. Modern Science: scientific publications journal. – № 07, Vol. I, (July) / Scientific-information publishing center «Strategic Studies Institute»; Editor-in-chief – A.N. Zotin. – Moscow, 2019. С.233–239..

21. Лихогляд К.А., Маслов І.З., Разінкін Р.О., Найдьонов А.І. Устрій судових котельних установок та їхня безпечна експлуатація. Навчальний посібник з дисципліни «Суднові парові котли» за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт». Одеса: НУ «ОМА», 2018. 166 с.

АНОТАЦІЯ

Найдьонов А.І. Метод оптимізації системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації за допомогою гомогенізації дизельного палива. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2021.

У дисертації розв’язується актуальне наукове завдання, яке полягає в розробленні моделей та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

Метою є теоретичне та практичне обґрунтування доцільності застосування гомогенізованого дизельного палива для покращення екологічних та надійнісних показників ефективності експлуатації засобів річкового транспорту.

Поставлена мета досягається за допомогою вирішення таких часткових завдань: аналіз та виявлення особливо важливих системних властивостей які впливають на ефективність експлуатації річкового транспорту; розроблення моделі та методів покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації; обґрунтування особливості використання гомогенізованого палива на борту річкового судна та підвищення надійності експлуатації двигуна; дослідження ефективності розроблених науково-технічних рекомендацій.

Об'єктом дослідження є процес експлуатації засобів річкового транспорту.

Предметом дослідження є моделі та методи покращення системних властивостей засобів річкового транспорту в умовах експлуатації.

У першому розділі роботи проведений аналіз сучасного стану використання різноманітних видів палива на річних суднах, перспектива застосування гомогенізованого палива, запропоновано принципову схему підготовки удосконаленого палива в суднових умовах, запропоновано удосконалення методики діагностування індикаторного процесу.

У другому розділі автором наведено результати моделювання впливу на коефіцієнт димності відпрацьованих газів на деяких режимах роботи дизеля, обґрунтовано працездатність стенду та запропоновано шляхи зниження коефіцієнту димності, обґрунтовано процедура підвищення комплексного показника надійності експлуатації засобів річкового транспорту.

У третьому розділі обґрунтовано методи, що забезпечують аналіз випаровування емульгованого та гомогенного палив на донишку поршня, сформовано та випробувано мембранний диспергатор для виготовлення емульсій палива і води, удосконалено модель підвищення ефективності експлуатації засобів річкового транспорту на основі використання гомогенізованого палива.

У четвертому розділі проведено дослідження енергетичних, екологічних та надійнісних характеристик дизеля на засобах річкового транспорту при роботі на безводному паливі і водопаливній емульсії.

Результати досліджень свідчать про те, що покращились екологічні показники ефективності експлуатації, а саме: зменшилась концентрація оксидів азоту на 32 %; зменшилась концентрація оксиду вуглецю на 34%; - зменшення температури випускних газів на 2,2 %; зменшення димності на 36 %; збільшення питомої ефективної витрати палива лише на 13 %.

Також за результатами досліджень спостерігається підвищення надійності експлуатації, а саме: підвищення довговічності до 10–15 %; підвищення безвідмовності до 5-7 %.

Ключові слова: дизельне паливо, екологічні показники, емульгатор, емульговане паливо, парогазове утворення, річковий транспорт, комплексний показник надійності.

SUMMARY

Naydyonov Andrii. Improving the environmental performance of river vessel by means of homogenizing diesel fuel. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.20 – operation and repair of transport vessels / State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2021.

The dissertation research is aimed at solving the scientific and applied problem - improving the environmental indicators of river transport.

Technologies have been developed to provide analysis of evaporation of emulsified and homogeneous fuels on piston head.

A membrane dispersant for making emulsions of fuel and water has been formed and tested.

Researches carried out on the energy and environmental characteristics of a diesel engine on a river pusher when operating on anhydrous fuel and a water-fuel emulsion.

The introduction of the results of the dissertation research on sea and river vessels indicates about significant improvements in the environmental friendliness of river transport, namely a decrease in the concentration of nitrogen oxides by 29%, carbon monoxide by 35%; exhaust gas temperatures by 2.2%; smokiness by 38%.

Key words: diesel fuel, environmental indices, emulsifier, emulsified fuel, steam-gas formation, river transport.

АННОТАЦИЯ

Найдёнов А.И. Метод оптимизации системных свойств средств речного транспорта в условиях эксплуатации средством гомогенизации дизельного топлива. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта / Государственный университет инфраструктуры и технологий. – Киев, 2021.

Диссертационное исследование направлено на решение научно-прикладной проблемы - улучшение экологических показателей речного транспорта.

Разработаны технологии, обеспечивающие анализ испарения эмульгированного и гомогенного топлив на доньшке поршня.

Сформирован и испытан мембранный диспергатор для изготовления эмульсий топлива и воды.

Проведены исследования энергетических и экологических характеристик дизеля на речном толкателе при работе на безводном топливе и водотопливной эмульсии.

Внедрение результатов диссертационного исследования на морских и речных судах свидетельствует о значительных повышениях экологичности речного транспорта, а именно уменьшении концентрации оксидов азота на 29%, оксида углерода на 35%; температуры выпускных газов на 2,2%; дымности на 38%.

Ключевые слова: дизельное топливо, экологические показатели, эмульгатор, эмульгированное топливо, парогазовое образование, речной транспорт.

Підп. до друку 23.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,19
Тираж 100 прим. Зам. № ІД-35.

Виготовлено копіцентром Дунайського інституту
Національного університету «Одеська морська академія»
68600, м. Ізмаїл, Фанагорійська вул., 9
Тел. (0484) 771-61-01