

Яремчук С.О., Маслов І.З.

МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОРСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ: МЕТОД ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЯ В СЕУ

Важливим напрямом розвитку водного транспорту України є підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом мультидисциплінарного підходу, який поєднує знання, навички, та методи фізики, інформаційних технологій, основи наукових досліджень, та фахових дисциплін морської інженерії. Для зменшення викидів судових енергетичних установок (СЕУ) застосовується біодизель (БД), який суттєво зменшує шкідливий вплив на довкілля, однак чинить специфічний вплив на СЕУ. Метою роботи є розвиток фахових компетентностей морських інженерів щодо ефективного використання біодизеля в СЕУ шляхом мультидисциплінарного підходу. Проведено ряд фізичних експериментів вимірювання в'язкості БД методом Стокса. Запропонована програма на Python використана для автоматизації розрахунків динамічної та кінематичної в'язкості БД. Виконано критичний аналіз публікацій. Систематизовано позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, визначені основні проблеми, запропонована матриця відповідності складових БД, їх негативного впливу, та основних несправностей СЕУ і паливної апаратури. Запропоновано фаховий метод ефективного використання БД в СЕУ. Метод може бути використаний в підготовці судових механіків, та дозволить застосовувати БД в СЕУ з високою ефективністю. Мультидисциплінарний підхід розвиває у здобувачів уміння: проводити експерименти, розвивати навички спостереження, обирати методи та засоби обчислення експериментальних даних, застосовувати інноваційні підходи до розв'язання складних професійних задач; шукати та аналізувати інформацію, осмислювати та піддавати критичному аналізу основні поняття, принципи, теорії і методи сучасної морської інженерії; обґрунтовувати власну точку зору; навчатися впродовж усього життя.

Ключові слова: біопаливо, біодизель, в'язкість, суднова енергетична установка, паливна арматура.

1. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Значне зростання обсягів експорту морським та річковим транспортом має вкрай важливе значення для відновлення економіки України, та створює суттєвий позитивний вплив на її фінансову систему. У 2022 році порти забезпечили 54% обсягів експорту з України [1]. Для розвитку морської та річкової галузі потрібно залучення інвестицій у судноплавство, суднобудування та судноремонт, підвищення привабливості морських та річкових портів. Не менш важливим напрямом розвитку є підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом застосування мультидисциплінарного підходу, який передбачає застосування теоретичних знань та практичних навичок з декількох дисциплін для вирішення фахової задачі.

В нашому контексті під мультидисциплінарним підходом ми розуміємо поєднання знань, навичок, та методів дисциплін «Фізика», «Інформаційні технології», «Основи наукових досліджень», та фахових дисциплін сфери морської інженерії. Методи фізики передбачають проведення фізичних експериментів та спостереження. ІТ-методи необхідні для автоматизації

інженерних розрахунків. Методи аналізу та синтезу потрібні для розробки нового або вдосконалення існуючого методу вирішення інженерної задачі.

Дослідна робота здобувачів вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт є невід'ємною частиною процесу отримання знань та розумінь фізичних понять, законів, теорій, явищ та процесів, що застосовуються в галузі морської інженерії, та лежать в основі як побудови нових, так і в експлуатації діючих суднових систем. Невід'ємною складовою підготовки є набуття умінь та навичок з проведення фізичного експерименту, спостереження, безпечного користування інструментами, приладами та лабораторними установками. На ефективність роботи двигуна суттєвий вплив чинять такі характеристики палива як: *кінематична в'язкість* (внутрішнє тертя), густина, фракційний та хімічний склад. В'язкість впливає на якість розпилу, величину циклової подачі і на повноту згоряння палива. Морським інженерам, а особливо судновим механікам, необхідно спостерігати та зрозуміти явище в'язкості на молекулярному рівні. Тому пропонується провести ряд фізичних експериментів, які ґрунтуються на законах молекулярної фізики, гідростатики та гідродинаміки, та описані у ґрунтовному навчальному посібнику [2].

Багаторазові фізичні експерименти потребують розрахунків значень фізичних величин та їх похибок із встановленою точністю. Розрахунки доцільно проводити із застосуванням сучасних мов програмування, що значно спрощує, прискорює та уніфікує процеси обчислення. Однією із простих сучасних мов для обчислень є *Python* – інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією [3]. *Python* отримав широке поширення завдяки тому, що лаконічний програмний код легко читати і писати. Вагомою перевагою *Python* є наявність багатоцільових стандартних бібліотек, та численних бібліотек сторонніх виробників, що надає потужні можливості. Тому для обчислень ми пропонуємо застосувати *Python*.

Аналіз – це розкладання складного явища, об'єкту чи процесу на більш прості елементарні складові, і виділення окремих сторін, властивостей та зв'язків [4]. Аналіз спрямований на виявлення внутрішніх можливостей розвитку об'єкта. Проте аналіз не є кінцевою метою наукового дослідження. Синтез поєднує компоненти складного явища, виходить за рамки попереднього досвіду, розширює результати аналізу та створює нові знання. Використання аналізу та синтезу необхідні морським інженерам для підвищення ефективності експлуатації СЕУ на різних видах палива.

Наразі як у всьому світі, так і в Україні, стоїть гостра проблема зменшення викидів шкідливих газів у навколишній повітряний простір. Для зменшення викидів суднових енергетичних установок (СЕУ) застосовуються різні види палива та енергії. Це енергія вітру, сонця та морських хвиль, нафтовий (LPG) та природний газ (LNG), водень, метанол, аміак, біодизель (БД) тощо [5], що суттєво зменшує шкідливий вплив на довкілля, однак чинить специфічний вплив на СЕУ. При застосуванні БД в СЕУ виникає низка проблем, пов'язаних з його фізичними властивостями, які призводять до зниження ефективності та потужності суднового двигуна внутрішнього згоряння (СДВЗ), та зменшення ресурсу паливної апаратури. Для дослідження фізичних властивостей БД, аналізу впливу БД на СЕУ, та синтезу методу ефективного використання БД пропонується застосувати мультидисциплінарний підхід.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спираються автори.

Проблеми, що виникають при застосуванні БД в СЕУ, були розглянуті в роботах [6-9]. В роботі [6] було встановлено, що при експлуатації СДВЗ на БД відбувається суттєве скорочення викидів SO_2 в порівнянні з дизельним паливом (ДП). Вміст сірки в БД складає не більше 0,0015%, тому у відпрацьованих газах її практично немає. В роботі [7] були розглянуті сировина, особливості виробництва, екологічні властивості БД, деякі аспекти позитивного та негативного впливу БД на СЕУ, а також області застосування БД на флоті. В роботі [8] розглянуті принципи маркування БД, вплив БД на живі організми, аналіз деяких проблем застосування в СЕУ, та напрями їх вирішення. Для визначення вмісту БД в паливній суміші використовують наступні позначення: 100% БД маркують як В100; 20% БД, 80% ДП маркують

як В20; 5% БД, 95% ДП маркують як В5; 2% БД, 98% ДП маркують як В2. На рис. 1 показаний В100, виготовлений із соєвих бобів.



Рисунок 1. В100, виготовлений із соєвих бобів

Аналіз робіт [6-8] дозволив визначити властивості БД, що створюють значний вплив на СЕУ та навколишнє середовище. Це хороші змащувальні властивості; присутністю кисню, завдяки чому відбувається більш повне згоряння палива; нейтральність щодо викидів CO_2 ; в'язкість, що становить 1,9-7,2 $\text{мм}^2/\text{с}$, та погіршує процеси розпилювання та згоряння; збільшення емісії NO_x , що спостерігається при роботі дизеля на низьких швидкостях з високим навантаженням або обертовим моментом; висока гігроскопічність, що може призвести до корозії паливної апаратури і виникнення відкладень біологічного походження в паливній системі, до утворення шламу, закупорки фільтрів і трубопроводів; присутність залишкового метанолу, що значно знижує температуру спалаху, та негативно впливає на паливні насоси, еластomers і сальникові ущільнення. Для нормальної роботи дизеля паливо повинно мати цетанове число не менше 40. БД має високе цетанове число (від 47 до 51) і температуру займання вище 150°C . Теплотворна здатність БД становить близько 37,27 МДж/кг, що на 13% нижче, ніж у ДП, тому при роботі двигуна на БД спостерігається зниження потужності БД хімічно і корозійно-активна рідина. При тривалому контакті БД розм'якшує і розкладає натуральну гуму, нітрil, синтетичний каучук, еластomers, деякі клеї, фарби і покриття. Це призводить до його просочування через ущільнювальні сполуки і шланги. Результатом можливих протікань може бути спалах палива при потраплянні на нагрітий двигун, поломка паливного насоса і засмічення фільтра. Обладнання зі свинцю, міді, латуні, бронзи, та цинку слід захищати від тривалого контакту з БД, а краще замінити на обладнання з нержавіючої сталі або алюмінію.

В даний час БД застосовують на суднах замість ДП або в суміші з ним у різних пропорціях. Перспективним сегментом флоту для застосування БД є судна внутрішнього і прибережних районів плавання різного призначення із середньо- і високооборотними дизельними двигунами: пасажирські і круїзні судна, яхти, муніципальний водний транспорт, катери берегової охорони, баржі, дослідницькі судна річкового та озерного районів плавання [7]. Ціна БД залежить від регіону виробника, сировини, технології виробництва, та інших факторів. У деяких країнах БД дешевше звичайного ДП. В99 і В100 зазвичай коштують дещо дорожче, ніж ДП, за винятком випадків, коли місцеві органи влади надають виробникам податкові пільги або субсидії. Наприклад, у жовтні 2016 року у США В20 був на 2 центи дешевший, ніж ДП [8].

У роботах [6-8] описані деякі проблеми використання БД. Перша проблема полягає в тому, що при низьких температурах БД втрачає рухливість, стає гелеподібним, починає кристалізуватися, що призводить до забивання фільтрів, трубопроводів, утруднення

перекачування насосами, утворення лакових відкладень на паливних форсунках, корозії і заклинювання внутрішніх компонентів системи впрыску палива, утворення шламу і осаду, підвищеного зносу картеру, що викликає зниження міжремонтного ресурсу двигуна. Наступна проблема виникає, коли БД містить деяку кількість води, яка може бути результатом конденсації в танках зберігання. Вода знижує температуру згоряння палива, викликає дим, ускладнює запуск і знижує потужність СДВЗ, викликає корозію компонентів паливної системи (насоси, паливопроводу тощо). Для подолання цих проблем в роботі [8] запропоновано: застосування присадок, використання суміші БД з іншими рідкими паливами та додаткова обробка БД перед його подачею в СЕУ.

В роботі [9] показана світова динаміка використання біопалива в двигунах; визначено фізичні та теплотворні властивості гірчичної та ріжикової олій, дизельних сумішевих палив; наведені результати порівняльних експериментальних досліджень роботи дизеля при його роботі на мінеральному дизельному паливі і дизельних сумішевих паливах.

Аналіз робіт [6-9] дозволив визначити деякі аспекти впливу БД на СЕУ та пов'язані з цим впливом несправності, однак для більш ефективного використання необхідно систематизувати зв'язки між складовими БД, їх негативним впливом, та наслідковими несправностями СЕУ для синтезу методу ефективного використання БД в СЕУ.

Проведений аналіз дозволяє встановити необхідність підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом мультидисциплінарного підходу, який передбачає поєднання експериментального дослідження в'язкості палива, автоматизації розрахунків на Python, методів аналізу впливу БД на СЕУ, та синтезу фахового методу ефективного використання БД, що є актуальною науково-технічною та педагогічною задачею, і обумовлює мету дослідження.

Метою роботи є підвищення рівня підготовки та розвиток фахових компетентностей морських інженерів щодо ефективного використання БД в СЕУ шляхом мультидисциплінарного підходу.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати наступні задачі:

1. Провести фізичні експерименти з дослідження та вимірювання в'язкості сумішей БД та ДП, та автоматизувати розрахунки на Python;
2. Проаналізувати позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, систематизувати наслідкові несправності, запропонувати метод ефективного використання БД в СЕУ;
3. Виконати аналіз отриманих результатів, визначити дискусійні питання, висновки та напрямки подальших досліджень.

3. Основний матеріал

Опис фізичного експерименту та автоматизація розрахунків на Python. В'язкість - властивість рідини чинити опір відносному переміщенню шарів. При переміщенні шарів рідини, шар, який рухається повільніше «гальмує» шар, що рухається швидше, і навпаки. В'язкість обумовлена наявністю між молекулами рідини сил взаємодії, які при переміщенні однієї частини рідини відносно іншої стримують рух шарів. Для вимірювання в'язкості (віскозиметрії) в системах автоматичного контролю в'язкості палива дизельних двигунів та генераторів застосовують віскозиметри.

У віскозиметрії існує ряд експериментальних методів абсолютного та відносного вимірювання, заснованих на різних принципах та умовах застосування. Методи відносного вимірювання в'язкості використовують калібрувальну рідину з відомими значеннями в'язкості. Серед методів абсолютного вимірювання в'язкості виділяється своєю простотою метод Стокса. Метою фізичного експерименту є визначення динамічної та кінематичної в'язкості БД. Прилади та інструменти: віскозиметр Стокса – висока циліндрична скляна посудина з рідиною (рис. 2), штангенциркуль, мікрометр, секундомір, лінійка, металеві кульки, мірна посудина, вага. На посудину зверху та знизу прикріплені мітки, відстань між якими можна змінювати та вимірювати. Рівень рідини має бути вищим за верхню мітку на 10 ± 5 см для встановлення сталої швидкості руху кульки.

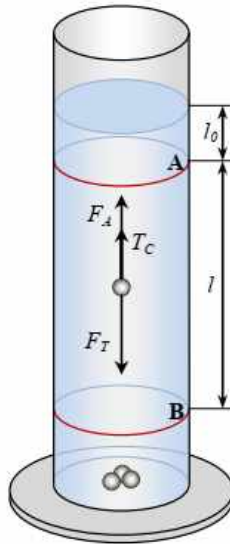


Рисунок 2. Віскозиметр Стокса та сили, які діють на кульку

На кульку, яку опускають в рідину, діють три сили (рис. 2): 1) сила тяжіння $F_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g$, де r – радіус кульки, кульки ρ_k – густина кульки, g – прискорення вільного падіння; 2) сила Архімеда $F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g$, де ρ_p – густина рідини; 3) сила внутрішнього опору, обумовлена силами взаємодії молекул шарів рідини, визначена Стоксом $F_C = 6\pi\mu r v$, де v – стала швидкість руху кульки в рідині. Після досягнення кулькою деякої швидкості сила Архімеда та сила опору врівноважують силу тяжіння $F_A + F_C = F_T$, отже

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g + 6\pi\mu r v = F_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g \quad (1)$$

Після заміни в (1) $r=d/2$, $v=h/t$, де d – діаметр кульки, h – відстань між мітками, яку проходить кулька із незмінною швидкістю, t – час, за який кулька долає відстань h , отримуємо формулу для визначення динамічної в'язкості:

$$\mu = \frac{g(\rho_k - \rho_p)d^2 t}{8h} \quad (2)$$

Одиниці вимірювання $[\mu] = [\text{Па} \cdot \text{с}]$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості визначають за формулою

$$\nu = \frac{\mu}{\rho_p} \quad (3)$$

Одиниці вимірювання $[\nu] = [\text{м}^2/\text{с}]$, 1 Ст (Стокс) = $1 \text{ см}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, 1 сСт (сантиСтокс) = $1 \text{ мм}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ Ст} = 10^6 \text{ сСт}$.

Методика фізичного експерименту для визначення μ та ν містить наступні кроки:

Крок 1. У досліді використати сталеві кульки з густиною $\rho_k = 7800 \text{ кг/м}^3$, ДП з кінематичною в'язкістю $\nu = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t = 20^\circ\text{C}$, рослинне масло (РМ) з кінематичною в'язкістю $\nu = 60,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t = 20^\circ\text{C}$.

Крок 2. БД отримувати способом суміші ДП та РМ у різних пропорціях (50%ДП+50%РМ, 80%ДП+20%РМ, 20%ДП+80%РМ). Масу кожної рідини в суміші визначати зважуванням, об'єм кожної рідини в суміші визначати за допомогою мірної посудини. За формулою $\rho_c = m / v$ визначити густину суміші, отримані дані записати в таблицю.

Крок 3. Відібрати не менше десяти кульок, штангенциркулем або мікрометром виміряти діаметр кожної кульки, дані записати в таблицю.

Крок 4. Опустити одну кульку в посудину якомога ближче до осі посудини, секундоміром виміряти час руху кульки між мітками, лінійкою виміряти відстань між мітками, дані записати в таблицю.

Крок 5. Повторити крок 3 не менше десяти разів, дані записати в таблицю.

Крок 6. За формулою (2) розрахувати коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

Крок 7. За формулою (3) розрахувати коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини.

За цією методикою курсанти Дунайського інституту НУ «Одеська морська академія» в лабораторії фізики провели ряд дослідів із встановлення в'язкості БД (рис. 3).



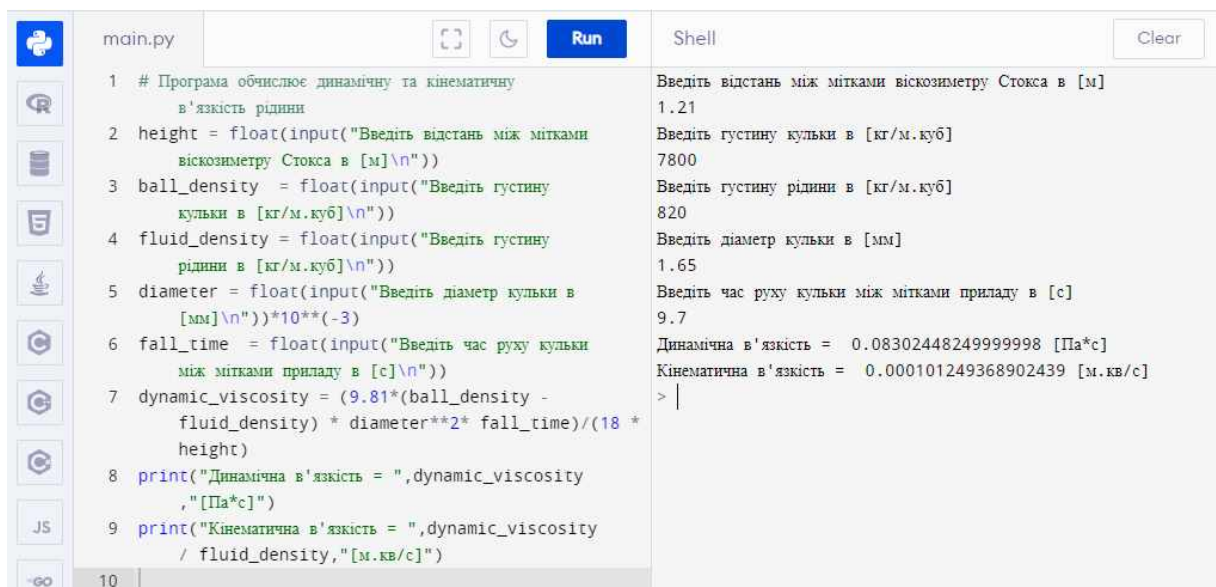
Рисунок 3. Курсанти досліджують в'язкість БД методом Стокса

Візуальне спостереження відіграє важливу роль у розумінні фізичних явищ та процесів. Під час дослідів курсанти досліджували і спостерігали в'язкість ДП, РМ, в'язкість їх сумішей у різних пропорціях, та вимірювали час руху металевої кульки у цих рідинах, що дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвивати знання та уміння здобувачів з дисципліни «Фізика».

Експериментальні дані потребують розрахунків. Для швидкого обчислення динамічної та кінематичної в'язкості було розроблено простий та лаконічний програмний код на Python:

```
# Програма обчислює динамічну та кінематичну в'язкість рідини
height = float(input("Введіть відстань між мітками віскозиметру Стокса в [м]\n"))
ball_density = float(input("Введіть густину кульки в [кг/м.куб]\n"))
fluid_density = float(input("Введіть густину рідини в [кг/м.куб]\n"))
diameter = float(input("Введіть діаметр кульки в [мм]\n"))*10**(-3)
fall_time = float(input("Введіть час руху кульки між мітками приладу в [с]\n"))
dynamic_viscosity = (9.81*(ball_density - fluid_density) * diameter**2* fall_time)/(18 *
height)
print("Динамічна в'язкість = ",dynamic_viscosity,"[Па*с]")
print("Кінематична в'язкість = ",dynamic_viscosity / fluid_density,"[м.кв/с]")
```

Для вивчення програмних команд обчислення, вводу та виводу даних, що були застосовані в коді, достатньо одного лабораторного заняття з інформаційних технологій. Для виконання коду достатньо в будь-якому браузері відкрити онлайн інтерпретатор *Python* [3], написати код в лівій частині вікна, натиснути екранну кнопку *Run*, і в правій частині вікна отримати розраховані з високою точністю значення в'язкості (рис. 4).



```

main.py
1 # Програма обчислює динамічну та кінематичну
  в'язкість рідини
2 height = float(input("Введіть відстань між мітками
  віскозиметру Стокса в [м]\n"))
3 ball_density = float(input("Введіть густину
  кульки в [кг/м.куб]\n"))
4 fluid_density = float(input("Введіть густину
  рідини в [кг/м.куб]\n"))
5 diameter = float(input("Введіть діаметр кульки в
  [мм]\n"))*10**(-3)
6 fall_time = float(input("Введіть час руху кульки
  між мітками приладу в [с]\n"))
7 dynamic_viscosity = (9.81*(ball_density -
  fluid_density) * diameter**2* fall_time)/(18 *
  height)
8 print("Динамічна в'язкість = ",dynamic_viscosity
  ,"[Па*с]")
9 print("Кінематична в'язкість = ",dynamic_viscosity
  / fluid_density,"[м.кв/с]")
10

Shell
Введіть відстань між мітками віскозиметру Стокса в [м]
1.21
Введіть густину кульки в [кг/м.куб]
7800
Введіть густину рідини в [кг/м.куб]
820
Введіть діаметр кульки в [мм]
1.65
Введіть час руху кульки між мітками приладу в [с]
9.7
Динамічна в'язкість = 0.08302448249999998 [Па*с]
Кінематична в'язкість = 0.000101249368902439 [м.кв/с]
>

```

Рисунок 4. Вікно онлайн інтерпретатора *Python*

Для розрахунків середніх значень динамічної в'язкості $\mu_{сер}$, та середньоквадратичної похибки S_μ в серії дослідів, достатньо додати кілька рядків коду в програму. Це дасть змогу отримати значення в'язкості у вигляді $\mu = (\mu_{сер} \pm 2 \cdot S_\mu)$ [Па·с], знайдене з надійністю 95%. Запропонований метод використання онлайн інтерпретатора *Python* (*Python online interpreter method*) був використаний курсантами для розрахунків в'язкості сумішей БД. Цей метод простий та ефективний, не потребує встановлення *Python* на комп'ютер, не вимагає жодних затрат, не має обмежень щодо часу та тривалості використання, що дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвивати знання та уміння здобувачів з дисципліни «Інформаційні технології». Педагогічна практика використання запропонованого методу демонструє велику зацікавленість курсантів в застосуванні потужної, багатоцільової та популярної мови програмування до вирішення навчальних, дослідницьких та фахових задач.

Систематизація впливу БД на СЕУ

Важлива перевага застосування БД полягає в тому, що при його застосуванні в СДВЗ не виникає необхідність модифікації двигуна. БД може бути використаний у всіх типах дизельних двигунів, встановлених як на водних, так і наземних видах транспорту.

Позитивний вплив БД на СЕУ. БД володіє відмінними змащувальними властивостями, що подовжує термін служби рухомих деталей двигуна, і двигуна в цілому. Хороші змащувальні властивості пояснюються хімічним складом БД, і присутністю в паливі кисню. Під час роботи двигуна на БД одночасно проводиться змащення його рухомих деталей, внаслідок чого термін служби суднового двигуна і паливного насоса збільшується в середньому на 60%. В'язкість БД складає 1,9-6,0 мм²/с, і є дещо вищою, ніж у ДП. Вища в'язкість призводить до зменшення протікань палива в паливній апаратурі. Показники води, осаду (норма 0,05%), в'язкості і кислотне число (0,8), є критеріями якості палива після його зберігання.

Для нормальної роботи дизеля паливо має мати цетанове число не менше 40. БД має мінімальне значення 47. Більш високе значення забезпечує задовільні робочі характеристики двигуна при холодному запуску і зменшення утворення білого диму. При роботі двигуна на БД знижуються викиди диму, твердих частинок, та вуглекислого газу. Це пояснюється наявністю кисню в паливі, завдяки чому відбувається більш повне згоряння палива і зменшується кількість незгорілих частинок. БД нейтральний щодо викидів CO₂, оскільки його виділяється при згорянні палива стільки ж, скільки поглинає рослинна сировина в процесі фотосинтезу. БД не є токсичним для живої природи. При недовгому впливі паливо не складає

жодної загрози для людей і тварин. При потраплянні у воду в разі протікань або розливів БД розкладається на 90% за 3 тижні без шкоди для навколишнього середовища.

Негативний вплив БД на СЕУ. БД має високу гігроскопічність і активно абсорбує вологу, тому є сприятливим середовищем для розмноження мікроорганізмів, які можуть призвести до корозії паливної апаратури і виникнення відкладень біологічного походження в паливній системі і, як наслідок, до утворення шламу, закупорки фільтрів і трубопроводів.

Присутність залишкового метанолу в БД навіть у незначних кількостях значно знижує температуру спалаху, негативно впливає на паливні насоси, еластomers і сальникові ущільнення, погіршує якість процесу згоряння в дизелі. Більш висока в'язкість БД може призводити до погіршення процесу згоряння, утворення відкладень, розбризкування палива при подачі в двигун, потрапляння його в масло для змащення двигуна. З високою щільністю і в'язкістю БД пов'язано також збільшення емісії NOx [4]. Збільшення виходу оксидів азоту при роботі двигуна на БД спостерігається при роботі дизеля на низьких швидкостях, але з високим навантаженням або обертальним моментом.

Температура помутніння для БД вища, ніж для ДП. При низьких температурах паливо втрачає рухливість, стає желеподібним, починає кристалізуватися, що призводить до забивання фільтрів, трубопроводів, та утруднення перекачування палива насосами. Тривала робота двигуна на БД призводить до утворення лакових відкладень на паливних форсунках, корозії і заклинювання внутрішніх компонентів системи впрыску палива, збою в роботі подавального насоса через попадання води, утворення шламу і осаду, підвищеного зносу картеру, що викликає зниження міжремонтного ресурсу двигуна. Теплота згоряння БД дещо нижча, ніж у ДП, тому при роботі двигуна на БД спостерігається зниження потужності.

Підвищений вміст жирних кислот в БД може бути обумовлений порушенням технології виробництва палива або процесом розкладання палива, що викликано окисленням. Використання палива з високим кислотним числом може призвести до прискореного утворення відкладень у двигуні, у паливній системі та цистернах, може викликати забивання фільтрів та зменшення терміну служби паливних насосів. Втрата стабільності БД внаслідок окислення або при тривалому зберіганні може призвести до збільшення кислотного числа, в'язкості та утворення смоло видних відкладень і осаду, що також призводить до забивання фільтрів.

БД хімічно і корозійна активна рідина. БД може розчиняти відкладення в паливній системі та апаратурі, в паливних цистернах. Розчинені відкладення викликають погіршення фільтруючих властивостей матеріалів, їх розбухання і протікання палива, можуть забивати фільтри. При тривалому контакті БД може розм'якшувати і розкласти натуральну гуму, нітрil, синтетичний каучук, еластomers, деякі клеї і пластики, що призводить до його просочування через ущільнювальні сполуки і шланги. Результатом можливих протікань може бути спалах палива при потраплянні на нагрітий двигун, поломка паливного насоса і засмічення фільтра, оскільки несумісні з БД матеріали розкладаються і кришаться. БД також може розчиняти деякі типи фарб і покриттів при тривалому контакті. При тривалому контакті з'єднання зі свинцю, міді, латуні, бронзи, цинку слід захищати від контакту з БД, а краще замінити на обладнання з нержавіючої і вуглецевої сталі або алюмінію.

Систематизація проблем застосування БД в СЕУ. При використанні БД в СЕУ судові механіки стикають з рядом проблем

Проблема 1. Низькотемпературне гелеперетворення палива відбувається тому, що при охолодженні БД до певної температури, деякі молекули поєднуються і затвердівають, тобто утворюються кристали. Паливо робиться каламутним. Внаслідок подальшого охолодження процес продовжується, кристалів стає більше і вони збільшуються в розмірах. У разі подальшого охолодження БД перетворюється на гель, а потім остаточно затвердіває. Температура, при якій чистий БД (В100) починає перетворюватися на гель, залежить від природи та хімічного складу сировини. Наприклад, БД, вироблене з яловичого жиру, має схильність до гелеперетворення при температурі близько 16°C, а БД, вироблене з пальмової

олії має схильність до гелеперетворення при 13°C. Зрозуміло, що використання палива в ДВЗ в такому стані неможливо.

Проблема 2. Наявність води в паливі. Ця проблема виникає, коли БД містить певну кількість води. БД гігроскопічна речовина, завдяки хімічним властивостям це паливо вбирає воду. БД також може містити воду внаслідок конденсації в танках. Вода ускладнює запуск і знижує потужність ДВЗ, зменшує теплоту згоряння палива, та викликає дим. Вода викликає корозію компонентів паливної системи. Це насоси, паливопроводи тощо. Мікроорганізми, наявні у воді, обумовлюють гниття і вихід з ладу фільтрів. Великі частинки потрапляють всередину паливного насоса, а це призводить до виходу його з ладу. При низькій температурі вода замерзає, утворюються кристали льоду, внаслідок чого зароджується та прискорюється процес гелеперетворення БД. Крім того, вода, потрапляючи на поршні двигуна, викликає точкову корозію в цих поршнях двигуна.

Проблема 3. Зношення двигуна. Змащувальна здатність палива відіграє важливу роль у зношенні двигуна. БД набагато краще змащує двигун порівняно з дизельним паливом через наявність складних ефірів. Випробування показали, що додавання невеликої кількості БД до дизельного палива може значно підвищити змащувальну здатність палива в короткостроковій перспективі. Однак при зберіганні протягом двох-чотирьох років БД втрачає свої чудові мастильні властивості. Це пов'язано з посиленням корозії через окислення ненасичених молекул, або підвищений вміст води через поглинання вологи.

Проблема 4. Засмічення паливного фільтру і системи впрыску. Однією з основних проблем, пов'язаних з БД, є його в'язкість. В'язкість дизельного палива (ДП) становить 2,5-3,2 сСт при 40 °С, а в'язкість БД, отриманого із соєвої олії, становить від 4,2 до 4,6 сСт. В'язкість ДП повинна бути досить високою, щоб забезпечити достатнє змащування для рухомих частин двигуна, і в той же час достатньою для того, щоб паливо нормально текло при робочій температурі. Підвищена в'язкість сприяє засміченню паливного фільтру і системи впрыску двигуна. Щоб знизити в'язкість БД, на етапі виробництва його молекули розщеплюються на більш дрібні молекули складних ефірів шляхом переетерифікації. Однак після переетерифікації в'язкість БД залишається вищою, ніж у дизельного палива, і при низьких температурах спричинює повільне проходження через паливний фільтр.

Проблема 5. Зниження ефективності та потужності двигуна. БД має більш високу питому витрату палива на гальмування порівняно з ДП, що означає, що для того ж крутячого моменту потрібна більша витрата БД. Однак встановлено, що суміш В20 забезпечує максимальне збільшення теплового ККД, найменше споживання енергії, і більш низькі викиди шкідливих речовин.

У табл. 1 показано матрицю, яка визначає взаємозв'язки між складовими БД, їх негативним впливом, та наслідковими несправностями СЕУ і паливної апаратури.

Таблиця 1. Матриця відповідності складових, негативного впливу та несправностей СЕУ та паливної апаратури при роботі на БД

Складові біопалива	Негативний вплив	Несправність
Метилові ефіри жирних кислот	Викликає висихання, затвердіння і руйнування гумових виробів, попадання в моторне масло	Протікання палива. Більш часта заміна моторного масла
Вільний метанол	Корозія деталей з алюмінію і цинку. Низька температура займання в закритій ємності	Корозія паливної апаратури
Вільна вода в паливі	Перетворення метилових ефірів рослинного масла в жирні кислоти. Корозія. Збільшення електропровідності палива, розвиток мікроорганізмів	Засмічення фільтру Корозія паливної апаратури

Вільний гліцерин Моно- і дигліцериди	Корозія деталей з кольорових металів. Утворення осаду на рухомих частинах і лакованому покритті	Засмічення фільтрів. Засмічення сопел паливних форсунок
Вільні жирні кислоти Високомолекулярні органічні кислоти	Утворення електроліту і прискорення корозії деталей з цинку. Утворення солей органічних кислот. Утворення органічних сполук	Корозія паливної апаратури. Засмічення фільтру. Відкладення осаду на деталях
Збільшення густини палива	Збільшення тиску вприску	Зменшення ресурсу паливної апаратури
Більша в'язкість при низькій температурі	Більш жорсткі умови роботи ТНВД. Підвищене зношення деталей.	Погіршення показників вприску палива. Необхідність використання депресорних присадок
Тверді частинки	Погіршення змащувальних властивостей палива	Зменшення ресурсу паливної апаратури
Мурав'їна та оцтова кислота	Корозія всіх металевих частин	Корозія паливної апаратури
Продукти полімеризації	Відкладення осадів, особливо в сумішевих паливах	Засмічення фільтру
Фосфор	Отруєння нейтралізаторів і каталізаторів системи випуску дизеля, зниження рівня екологічної безпеки відпрацьованих газів дизеля	Вихід з ладу системи випуску дизеля

На основі аналізу негативного впливу складових БД на СЕУ, проблемних аспектів його використання та наслідкових несправностей СЕУ і паливної арматури запропоновано метод ефективного використання БД в СЕУ. Метод містить низку рекомендованих дій.

Дія 1. Рекомендується видаляти воду з цистерн перед заповненням БД. Для мінімізації конденсації вологи при зберіганні рекомендується тримати паливні ємності максимально заповненими, осушувати і мити їх до і після зберігання БД. Паливні цистерни повинні бути герметичними, щоб запобігти потраплянню води. Через велику гігроскопічність БД необхідно здійснювати контроль вмісту води, щоб уникнути небезпеки від розвитку мікроорганізмів, утворення окислів, і корозії деталей паливної апаратури.

Дія 2. При переході на БД рекомендується попередньо видалити відкладення в паливній системі та арматурі. При використанні сумішей з високим вмістом БД рекомендується використовувати фільтри, що стійкі до впливу БД. При використанні БД окремо і в сумішах з ДТ з високою концентрацією, цистерни, трубопроводи та інші елементи паливної системи, що контактують з ним, повинні мати захисне покриття.

Дія 3. Рекомендується регулярно чистити зливні труби, щоб запобігти корозії при використанні сумішей ДП при концентрації БД більше 20%. Необхідно регулярно контролювати наявність мікроорганізмів у паливі. Для запобігання розмноження мікроорганізмів у БД необхідно додавати сучасні антимікробні присадки.

Дія 4. Для отримання однорідної паливної суміші БД і ДП рекомендується застосовувати метод проточної гомогенізації. Використання БД в невеликих кількостях (до 2%) в якості присадки до ДП з низьким (0,5%) і ультра низьким (0,05%) вмістом сірки покращує його мастильні властивості і зменшує знос паливної апаратури.

Дія 5. Для запобігання низькотемпературного гелеперетворення БД рекомендуються депресорні присадки, які суттєво знижують температуру гелеперетворення, підвищують цетанове число і температуру займання.

Дія 6. Рекомендується трьох етапний підігрів БД для зниження його в'язкості. Спочатку БД подається в бустерну систему підігріву палива, і підігрівається до 50°C. Потім БД подається в сепаратор, підігрівається до 70°C, відокремлюється вода. Далі БД подається в сервіс-танк, а далі в суперхітер для підігріву до 80°C. Потім БД подається на дуплексний фільтр, після чого в паливний насос високого тиску. Для поліпшення якості розпорошення БД необхідно наблизити його фізичні властивості до властивостей ДП, або модернізувати систему вприску палива.

Дія 7. Перед початком роботи на БД рекомендується регулярно контролювати рівень масла в двигуні. Підвищення рівня може викликати знос картера і необхідність заміни масла. Слід регулярно відбирати проби масла для визначення його стану в двигуні, раціонального терміну служби та інтервалу між замінами.

Дія 8. Перед початком експлуатації двигуна на БД рекомендується промити фільтри для очищення палива. Через підвищену агресивність БД рекомендується замінити паливні шланги і прокладки на виготовлені з матеріалу, стійкого до впливу БД. Потрібно також ретельно видаляти БД з лакофарбових покриття деталей. Через можливе розрідження БД у деяких випадках потрібна частіша заміна моторного масла.

Дія 9. Для зниження викидів оксидів азоту з вихлопними газами рекомендують зменшення кута випередження вприску палива на 1... 5°. Можливо деяке збільшення рівня шуму і димності при холодному пуску.

Дія 10. Рівень емісії NO_x зменшується при роботі двигуна на малих навантаженнях і малих значеннях обертових моментів. Рекомендується регулювати подачу палива в двигун при переході на БД відповідно до рекомендацій виробників двигунів. При поверненні дизеля до роботи на 100% ДП не рекомендується змінювати характеристики двигуна для компенсації втрат енергії.

Дія 11. Слід регулярно відбирати проби палива для перевірки його якості, і використовувати БД з відповідними, або наближеними до світових стандартів характеристикам. Виробники двигунів повинні надавати вимоги до якості БД, якщо передбачено його застосування.

Дія 12. Не рекомендується тривалий час зберігати БД під впливом високих або низьких температур. Термін зберігання паливних сумішей ДП і БД залежить від концентрації БД. Рекомендується зберігати БД при температурі 4,5... 7° С, залежно від сировини температура може бути вища. Цистерни з паливом повинні мати ізоляцію і підігріватися. Дані про використання В100 в транспортних засобах показують, що він може зберігатися 2-4 місяці без втрати стабільності. Тиждень зберігання палива при температурі 43°C еквівалентний місяцю зберігання при температурі 21° С. У середньому рекомендується зберігати В100 до 6 місяців. Сонячне світло може прискорити процес втрати стабільності, тому не рекомендується в теплу пору року зберігати паливо під прямими сонячними променями. Паливо необхідно зберігати в чистих і сухих ємностях у темному приміщенні.

Дія 13. Такі метали, як мідь, латунь, бронза, свинець, олово і цинк також можуть призводити до зростання швидкості процесу розкладання, і до утворення значної кількості відкладень. Не рекомендується зберігати В100 тривалий час у системах, що містять ці матеріали.

Дія 14. Не рекомендується використовувати в паливних системах каучукові та натуральні гумові матеріали. Необхідно запобігати контакту палива з даними матеріалами. Добре сумісні з В100 тефлон, вітон, фторовані пластики і нейлон, якими слід замінювати несумісні з БД елементи паливної системи.

Дія 15. Не рекомендується тривалий час зберігати тканини, змочені в БД, вони розкладаються з виділенням теплоти, що може призвести до самозаймання.

Метод дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвиток фахових компетентностей суднових механіків з дисциплін «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ», «Безпечне управління СЕУ».

Висновки. З метою підвищення рівня підготовки та розвитку фахових компетентностей морських інженерів в області застосування БД в СЕУ застосовано мультидисциплінарний підхід, який передбачає розвиток знань та умінь з дисциплін: «Фізика», «Інформаційні технології», «Технологія використання робочих речовин», «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ».

З метою розуміння майбутніми морськими інженерами явища в'язкості на молекулярному рівні, за описаною методикою проведено ряд фізичних експериментів з вимірювання в'язкості сумішей ДП та РМ методом Стокса. Під час дослідження курсанти безпосередньо спостерігали та порівнювали в'язкість чистих рідин ДП і РМ, в'язкість сумішей БД у різних пропорціях, що дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності здобувачів з дисципліни «Фізика».

Авторами запропонована програма на Python, яка використана для автоматизації розрахунків динамічної та кінематичної в'язкості сумішей БД, що дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності здобувачів з дисципліни «Інформаційні технології».

Виконано критичний аналіз публікацій стосовно фізичних властивостей, позитивного впливу та проблем застосування БД в СЕУ. Систематизовано позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, визначені основні проблеми застосування БД в СЕУ, запропонована матриця відповідності складових БД, їх негативного впливу, та наслідкових несправностей СЕУ і паливної апаратури, основні з яких: засмічення фільтру, засмічення сопел паливних форсунок, погіршення показників вприску палива, корозія паливної апаратури, відкладення осаду на деталях.

Запропоновано метод ефективного використання БД в СЕУ з п'ятнадцяти рекомендованих дій, основні з яких: підігрівати БД для зниження його в'язкості, наблизити його фізичні властивості до властивостей ДП, або модернізувати систему вприску палива; осушувати і мити герметичні ємності до і після зберігання БД; зберігати БД в чистих і сухих ємностях у темному приміщенні без впливу високих або низьких температур, без впливу елементів з міді, латуні, бронзи, свинцю, олова, цинку, каучуку та натуральної гуми; контролювати вміст води та наявність мікроорганізмів в паливі; застосовувати антимікробні і депресорні присадки; видаляти відкладення в паливній системі та арматурі; регулярно чистити зливні труби; промивати фільтри; використовувати цистерни, трубопроводи тощо із захисним покриттям, фільтри, паливні шланги і прокладки стійкі до впливу БД; несумісні з БД елементи паливної системи замінювати на тефлон, вітон, фторовані пластики і нейлон; для отримання однорідної паливної суміші БД і ДП застосовувати метод проточної гомогенізації. Метод дозволить застосовувати БД в СЕУ з високою ефективністю, що не поступається показникам роботи СДВЗ на дизельному паливі, однак значно покращує екологічні показники двигуна. Метод дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності суднових механіків з дисциплін «Технологія використання робочих речовин», «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ».

Використання мультидисциплінарного підходу до підготовки суднових механіків дозволяє здобувачам розвивати вкрай потрібні для успішної реалізації у сучасному динамічному світі, компетентності. Це здатність: проводити експерименти, розвивати навички спостереження, обирати методи та засоби обчислення експериментальних даних, застосовувати інноваційні підходи до розв'язання складних професійних задач у сфері морської інженерії; шукати та аналізувати інформацію, осмислювати та піддавати критичному аналізу основні поняття, принципи, теорії і методи сучасної морської інженерії; обґрунтовувати власну точку зору; здійснювати навчання впродовж усього життя.

Залишається дискусійним питання стосовно суперечливих публікацій щодо впливу БД на характеристики двигуна. Ефективність СДВЗ залежить від хімічних та фізичних властивостей БД. Біопаливо виготовляють з різноманітної сировини, воно має різні властивості, існують різні відсоткові суміші БД. Виникає необхідність подальшої деталізації впливу на СЕУ при застосуванні конкретного виду БД з певної сировини, та конкретної відсоткової суміші біопалива з ДП. Подальші дослідження в цьому напрямі дозволять усунути

наявні суперечності щодо впливу БД на ефективність, потужність, та експлуатаційні характеристики двигуна.

Ще одним актуальним напрямом застосовування інноваційних підходів до розв'язання складних професійних задач ми вважаємо дослідження методів використання чат-боту зі штучним інтелектом ChatGPT для розвитку фахових компетентностей здобувачів сфери морської інженерії.

ЛІТЕРАТУРА

1. LATIFUNDIST.COM. Порти забезпечили 54% обсягів експорту з України — АМПУ. URL: <https://latifundist.com/novosti/60794-porti-zabezpechili-54-obsyagiv-eksportu-z-ukrayini--ampu>
2. Михайленко В.І., Білоус В.М., Поповський Ю.М. Загальна фізика: Навчальний посібник. – Друге видання, перероблене та доповнене – Одеса: ВидавІнформ ОНМА, 2012. – 475 с.
3. Лутц М. Изучаем Python. Том 1, 5-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: ООО Диалектика, 2019. 832 с.
4. Катренко А. В. Системний аналіз: підручник / за ред. В. В. Пасічника. Львів: Новий Світ-2000, 2011. – 396 с.
5. Сидорович В. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. — М.: Альпина Паблишер, 2015. – 208 с.
6. Биодизель – Biodiesel. Википедия. URL: <https://livepcwiki.ru/wiki/Biodiesel>
7. Дмитрієв П.Р., Маслов І.З. Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик та впливу біопалива на суднову енергетичну установку. Матеріали XI Всеукраїнської студентської наукової конференції «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства» – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 180 – 183. URL: https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/Конференция_2021.pdf
8. Дмитрієв П.Р., Маслов І.З. Аналіз проблем використання біопалива в СЕУ.: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції ДІ НУ «ОМА» «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту» – Ізмаїл, 2021. – Запоріжжя: АА ТанDEM, 2021. – С. 256 – 260. URL: https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/conf_tezy_2021.pdf
9. Уханов, А. П. Дизельне смесевое паливо: монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Д. С. Шеменев. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 147 с.
10. Programiz Python Online Compiler. URL: <https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/>

REFERENCES

1. Latifundist.com (2023). The ports provided 54% of exports from Ukraine – The administration of sea ports of Ukraine [Porty zabezpechyly 54% obsiahiv eksportu z Ukrainy – AMPU]. URL: <https://latifundist.com/novosti/60794-porti-zabezpechili-54-obsyagiv-eksportu-z-ukrayini--ampu> [in Ukrainian]
2. Mihajlenko, V.I., Bilous, V.M., Popovskij, Yu.M. (2012). General Physics: Tutorial [Zagalna fizyka: Navchalnyj posibnyk]. – Second edition, revised and supplemented – Odesa: VydavInform ONMA, 475 p. [in Ukrainian]
3. Lutz, M. (2019). Learning Python [Yzuchaem Python]. Volume 1, fifth edition, the translation from English. – Saint Petersburg: Dyalektyka, 832 p. [in Russian]
4. Katrenko, A. V. (2011). System analysis: textbook [Systemnyi analiz: pidruchnyk] / ed. by V. V. Pasichnyk. Lviv: Novyi Svit-2000, 396 p. [in Ukrainian]

5. Sydorovych, V. (2015). The world energy revolution: How renewed energy sources will change our world [Mirovaya energeticheskaya revolyuciya: Kak vozobnovlyayemye istochniki energii izmenyat nash mir]. Moscow: Alpina Publisher, 208 p. [in Russian]
6. Biodiesel (2023). Wikipedia. URL: <https://livepcwiki.ru/wiki/Biodiesel> [in Russian]
7. Dmitriyev, P.R., Maslov I.Z. (2021) The analysis of technical and operational characteristics and the biofuel impact on the ship power plant [Analiz tehniko-ekspluatacijnyh harakterystik ta vplivu biopalyva na sudnovu energetychnu ustanovku]. Materials of the XI All-Ukrainian Student Scientific Conference "Modern Problems of the Maritime Transport and the Maritime Safety". Kherson: Publishing House KHNMA, P. 180-183. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/Конференция_2021.pdf [in Ukrainian]
8. Dmitriyev, P.R., Maslov I.Z. (2021) The analysis of the biofuels uses problems in the ship power plant [Analiz problem vykorystannia biopalyva v sudnovii enerhetychnii ustanovtsi]. Materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Modern approaches to high-efficiency use of the means of the transport», Izmail, DI NU "OMA". – Zaporyzhya: AA Tandem, P. 256 - 260. URL: https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/conf_tezy_2021.pdf [in Ukrainian]
9. Uhanov, A. P. (2012). Diesel funny fuel: the monograph [Dizel'ne smesevoe palivo: monografiya] / A. P. Uhanov, D. A. Uhanov, D. S. SHemenyev. – Penza: RIO PGSKHA, 2012. – 147 p. [in Russian]
10. Programiz Python Online Compiler (2023). URL: <https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/>.

Yaremchuk S. O., Maslov I. Z.

THE MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO THE PROFESSIONAL TRAINING OF MARINE ENGINEERS: THE METHOD OF EFFICIENT USE OF BIODIESEL IN THE SHIP POWER PLANT

An important direction for the development of water transport in Ukraine is to improve the level of marine engineers training through a multidisciplinary approach. The approach combines knowledge, skills, and methods of physics, information technology, fundamentals of scientific research, and professional disciplines of marine engineering. Biodiesel is used to reduce the emissions of a Ship Power Plant (SPP). Biodiesel significantly reduces harmful effects on the environment, but creates a specific impact on the SPP. The purpose of the work is to develop the professional competence of marine engineers in the effective use of biodiesel in the SPP through a multidisciplinary approach. Several physical experiments were carried out to measure the viscosity of biodiesel using the Stokes method. The developed Python program were used to automate calculations of the biodiesel dynamic and kinematic viscosity. The critical analysis of the publications was performed. The positive and negative biodiesel impacts on the SPP are systematized. The matrix of conformity of biodiesel components, the negative impacts, and basic malfunctions is proposed. The method of biodiesel efficient use in the SPP is proposed. The method can be used in the training of the marine engineers, and will allow the use of biodiesel in the SPP with high efficiency. The multidisciplinary approach gives the marine engineers the ability to conduct experiments, to develop observation skills, choose the methods and means of calculating experimental data, to apply innovative approaches to solving complex professional problems; to search and analyze the information, to make a critical analysis of the basic concepts, principles, theories and methods of the modern marine engineering; to substantiate your own point of the view; to study throughout life.

Keywords: biofuels, biodiesel, viscosity, marine power plant, fuel valves.