

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**ТКАЧУК ВАЛЕНТИНА ВІТАЛІЇВНА**

УДК 665.733-021.4(043.3)

**ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ МОТОРНИХ ПАЛИВ З  
ВИКОРИСТАННЯМ БІОКОМПОНЕНТІВ**

Спеціальність 05.18.08 – товарознавство непродовольчих товарів

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

**Київ – 2021**

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Мережко Ніна Василівна,**  
Київський національний торговельно-  
економічний університет, завідувач кафедри  
товарознавства та митної справи.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Доманцевич Ніна Іванівна,**  
Львівський торговельно-економічний університет,  
професор кафедри товарознавства та експертизи в  
митній справі;

доктор технічних наук, професор  
**Бойченко Сергій Валерійович,**  
Національний авіаційний університет,  
науковий керівник Українського науково-  
дослідного та навчального центру хімотології та  
сертифікації паливно-мастильних матеріалів і  
технічних рідин;

доктор технічних наук, професор  
**Гринишин Олег Богданович,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри хімічної технології переробки  
нафти та газу.

Захист відбудеться 31 березня 2021 року об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.055.02 Київського національного торговельно-економічного університету за адресою: 02156, м. Київ, вул. Кіото, 21, ауд. Д-221.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного торговельно-економічного університету за адресою: 02156, м. Київ, вул. Кіото, 19.

Автореферат розісланий 26 лютого 2021 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О.В. Сидоренко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Екологічність палив, що використовуються у двигунах внутрішнього згоряння автомобілів, є глобальною проблемою людства, вирішенню якої приділяється значна увага як провідних вчених та практиків нафтопереробної промисловості, так і міжнародних організацій із охорони довкілля. Розвиток соціальної та економічної сфери країни залежить від її енергетичного балансу. На сьогодні та в найближчій перспективі обсяг споживання нафтопродуктів у світі залишатиметься високим. У 2021 р. очікується зростання загальної світової потреби у нафті до рівня 102,8 млн барр/добу, або на 6,4 % порівняно з 2016 р. Для задоволення потреб України в моторних паливах необхідно переробляти 15-16 млн т нафти на рік. Щорічно автомобілями України використовується близько 9-10 млн т моторного палива, значна частка якого ввозиться з-за кордону. Обсяги імпорту дизельного палива в Україну в 4 рази більші, ніж бензину.

Поступальний розвиток промисловості і постійне збільшення кількості транспортних засобів потребує якісних моторних палив. Тому виробництво палив нафтового походження, які б відповідали підвищеним вимогам до показників екологічних властивостей, постійно зростає.

Дослідженням якості та безпеки моторних палив займалися такі відомі українські та зарубіжні вчені: С. Бойченко, П. Топільницький, О. Гайдай, В. Семенов, В. Гайдаш, В. Кочірко, Р. Цуркан, В. Сінько, В. Марченко, Г. Бурлака, Foglia Th. A., Nelson L. A., Dupp R. O., Magnet X.

Моторні палива часто мають низькі експлуатаційні властивості, зокрема, високий вміст сірки, що погіршує їх екологічність, підвищена концентрація добавок у паливах ускладнює роботу двигуна, збільшує вміст шкідливих відпрацьованих газів у навколишньому середовищі. Враховуючи вище викладене, актуальними є дослідження моторних палив із одночасним використанням продуктів нафтопереробки на основі вітчизняної сировини, біокомпонентів різної хімічної структури та присадок, що дасть можливість підвищити експлуатаційні та екологічні властивості.

Оскільки системні дослідження палив з комплексним використанням біокомпонентів та присадок не проводилися, то особливого значення набуває розв'язання важливої науково-прикладної проблеми створення методологічних засад формування споживних властивостей та необхідного рівня якості моторних палив з додаванням біокомпонентів на етапах їх життєвого циклу, зокрема, у сферах виробництва і споживання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження виконане відповідно до напрямку науково-дослідної роботи кафедри товарознавства та експертизи в митній справі Луцького національного технічного університету. Дослідження виконувались у рамках держбюджетних тем: «Технологія отримання та ефективність використання моторного біопалива з покращеними експлуатаційними властивостями» з номером державної реєстрації

0110U002223 на період 2010-2011 рр.; «Розробка механізмів ефективного використання альтернативних моторних палив в мобільній техніці» з номером державної реєстрації 0115U002206 у 2015 р. А також відповідно до планів науково-дослідних робіт Луцького національного технічного університету на 2016-2018 рр. «Оцінка безпеки та якості товарів» ДР № 0116U001927.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження полягає у розробленні та реалізації наукової концепції, розвитку теорії методологічних засад формування якості моторних палив із біокомпонентами, методів оцінювання якості, визначення корисності, безпеки, споживчої цінності для надійної та довговічної експлуатації двигунів внутрішнього згоряння автомобілів.

Досягнення поставленої мети потребує формулювання, наукового обґрунтування та вирішення у дисертації таких основних завдань:

- розробити наукову концепцію формування якості моторних палив із біокомпонентами;
- здійснити аналітичне дослідження тенденцій розвитку ринку моторних палив, міжнародних та вітчизняних вимог до їх якості;
- визначити фактори формування якості моторних палив із біокомпонентами та встановити шляхи їх підвищення;
- розробити композиції високооктанового бензину та дизельного палива із використанням біокомпонентів із підвищеними експлуатаційними та екологічними властивостями;
- експериментально підтвердити ефективність використання добавок та біокомпонентів для підвищення якості моторних палив;
- оптимізувати склад композицій для отримання високооктанового бензину для двигунів з іскровим запалюванням із використанням продуктів нафтопереробки і біокомпонентів та для отримання дизельних палив із високим цетановим числом;
- розробити наукову класифікацію моторних палив та систематизувати показники їх споживчих властивостей;
- провести товарознавчу оцінку моторних палив із біокомпонентами за показниками експлуатаційних та екологічних властивостей;
- розрахувати економічну ефективність розроблених палив;
- розробити і затвердити нормативну документацію на отримані моторні палива із біокомпонентами та провести їх промислову апробацію.

**Об'єктом дослідження** є моторні палива з біокомпонентами.

**Предметом дослідження** є експлуатаційні та екологічні властивості моторних палив з біокомпонентами.

**Методи досліджень.** Досягнення окреслених у дисертаційній роботі завдань реалізовано з використанням стандартних, загальноприйнятих у нафтопереробній галузі, а також спеціальних фізичних, фізико-хімічних, статистичних, математичних та інших методів. Стандартні методи базуються на чинних національних стандартах (ДСТУ), гармонізованих із міжнародними (ISO) та європейськими (EN). В основу експериментальних

досліджень показників споживних властивостей покладено відомі стандартизовані методики з використанням сучасних приладів.

Результати експериментальних досліджень обробляли із застосуванням методів математичної статистики за допомогою прикладних програм: STATGRAPHICS Plus, Excel, MathCAD.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Розроблено наукову концепцію формування якості моторних палив для двигунів внутрішнього згоряння з оптимізованим вмістом біокомпонентів та присадок для забезпечення екологічних та експлуатаційних вимог.

Найбільш значущими науковими результатами дисертаційного дослідження є:

*улерше:*

- встановлено закономірності формування якості моторних палив із біокомпонентами – оксигенатами, естерами ріпакової олії та багатофункціональними присадками з урахуванням їх хімічного складу та співвідношення;

- встановлено залежність рівня екологічності та якості моторних палив від цілеспрямованого вибору біокомпонентів та присадок;

- оптимізовано склади високооктанових бензинів і літніх дизельних палив із біокомпонентами та присадками з урахуванням сезонності та технічної ефективності.

*Набули подальшого розвитку:*

- способи підвищення експлуатаційних властивостей моторних палив з біокомпонентами;

- підходи до оптимізації складу моторних палив із біокомпонентами за показниками експлуатаційних та екологічних властивостей;

- наукове обґрунтування розширення асортименту моторних палив із біокомпонентами;

- удосконалення номенклатури показників якості та класифікація моторних палив.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у можливості впровадження проведених автором теоретичних та експериментальних наукових досліджень, що дали змогу отримати високоякісні моторні палива з біокомпонентами, що за своїми споживними властивостями мають переваги над існуючими аналогами на ринку паливно-мастильних матеріалів, дозволяють розширити асортимент вітчизняних моторних палив, забезпечити їх підвищену екологічність та бути економічно ефективними.

За результатами досліджень розроблено та затверджено: ТУ У 19.2-05477296-001:2020 «Бензини автомобільні з біокомпонентами «Євро-5» та ТУУ 19.2-05477296-002:2020 «Паливо дизельне з біокомпонентами «Євро-5». Новизну технічних рішень захищено 2 патентами на корисну модель України: UA № 143125 та UA № 144971.

Розроблені моторні палива з біокомпонентами пройшли промислову апробацію у виробничих умовах наступних підприємств: ТОВ «ВІП ОЙЛ»,

ТОВ «ВОГ ТРЕЙД», ПАТ «Нафтопереробний комплекс «Нафтохімік Прикарпаття».

Результати роботи впроваджені у навчальний процес Луцького національного технічного університету під час вивчення дисциплін: «Товарознавство паливно-мастильних матеріалів», «Експертиза паливно-мастильних матеріалів» для підготовки фахівців з товарознавства, в діяльності виробничих та торговельних підприємств.

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі стану проблеми, у обґрунтуванні мети і завдання, формуванні наукової гіпотези дисертаційного дослідження, встановленні та аналізі теоретичних залежностей вибору методів та методик проведення досліджень, їх здійсненні, обробки та узагальнення результатів, формуванні висновків.

Автору належить обґрунтування: блок-схеми дослідження якості запропонованих моторних палив із біокомпонентами, методів експериментальних досліджень сировинних матеріалів та розроблених палив, сучасних методів та обладнання для проведення експериментальних досліджень властивостей палив, обробка отриманих даних.

Здобувачу також належить формулювання гіпотези наукового дослідження, обґрунтування споживних властивостей, що досліджувалися, ним проведена комплексна оцінка якості палив, розрахунок економічної ефективності виробництва запропонованих палив та інтегрального показника їх конкурентоспроможності, аналіз та узагальнення результатів роботи та висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи обговорювалися, доповідалися та отримали позитивну оцінку на наукових, науково-практичних, науково-методичних конференціях та симпозіумах:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетична безпека навколишнього середовища» (травень 2013 р., м. Луцьк);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Формування і оцінювання асортименту, властивостей, якості непродовольчих товарів» (грудень 2013 р., м. Львів);

- Міжнародній науково-методичній конференції «Трансформація національних моделей економічного розвитку в умовах глобалізації (20-22 листопада 2013 р., м. Київ, КНТЕУ);

- Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Наука і молодь в ХХІ ст.» ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» (1-2 грудня 2016 р.);

- International seminar Business Challenges and Environmental Sustainability, Polytechnic Institute of Braganca (Portugal, 2017);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта» (м. Полтава, 14-15 березня 2018 р.);

- Міжнародному науково-практичному симпозиумі «Досягнення і перспективи в агроінженерії та автотранспорті» (4-6 жовтня 2018 р., Державний аграрний університет Молдови, м. Кишинів);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство» (м. Полтава, 14-15 березня 2019 р.);

- Міжнародній науковій конференції «Конструювання, моделювання, виробництво: обмін інноваціями (DSMIE-2019)» (червень 2019 р., м. Луцьк);

- Міжнародному науковому симпозиумі «Сільськогосподарське машинобудування 2019» (25-29 червня 2019 р., м. Бургас, Болгарія);

- Міжнародній науковій конференції «Передові виробничі процеси» (10-13 вересня 2019 р., м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин» (16-17 квітня 2020 р., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»);

- Міжнародній науково-технічній конференції «Поступ у нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (18-23 травня 2020 р., Львів, НУ «Львівська політехніка»);

- Міжнародній науковій конференції «Конструювання, моделювання, виробництво: обмін інноваціями (DSMIE-2020)» (9-11 червня 2020 р., м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»);

- Міжнародна науковій конференції «Передові виробничі процеси» (8-11 вересня 2020 р., м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет);

- Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні проблеми в сфері торгівлі та товарознавства» (16-18 вересня 2020 р., м. Херсон, Херсонський національний технічний університет).

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковано у 40 наукових працях, у тому числі 2 монографіях, у 12 наукових фахових виданнях України, у 5 наукових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, у 3 статтях у інших наукових виданнях (міжнародних періодичних виданнях із напрямку, з якого підготовлена дисертація), 2 патенти на корисну модель України, 15 тез доповідей і матеріалів конференцій та симпозиумів.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що нараховує 250 найменувань та додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 300 сторінок і містить 77 таблиць та 53 рисунки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, завдання, предмет і об'єкт дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, подано інформацію про особистий внесок здобувача, дані про апробацію розроблених композицій моторних палив у промислових умовах, обсяг і структуру роботи.

У першому розділі дисертації – «Теоретичні передумови формування якості моторних палив» – наведено огляд літературних джерел науково-технічної літератури, проведено патентний пошук та визначено теоретичні передумови формування якості та безпеки моторних палив із біокомпонентами.

Розглянуто стан та перспективи розвитку ринку моторних палив в Україні та світі, експортно-імпорتنний потенціал ринку та перспективи його розвитку. У світі обсяги імпорту дизельного палива країнами у 1,8 рази більше, ніж бензинів. Основною тенденцією розвитку ринку моторних палив в Україні є нарощення обсягів ввезеного бензину і дизельного палива, починаючи з 2016 року. На відміну від загальної тенденції світового імпорту, в Україну ввозиться дизельного палива не в 1,8 рази більше, ніж бензину, а в 3,5, а то і в 4 рази більше, залежно від років. Проте, нафтопереробка України переживає занепад і подальше зменшення об'єму переробки, аж до припинення роботи всіх заводів, окрім Кременчуцького НПЗ (ПАТ «Укртатнафта»).

Встановлено фактори формування якості та безпеки моторних палив. Вивчено асортимент біокомпонентів, що використовується під час виробництва моторних палив, визначено їх переваги та недоліки. Окреслено перспективні шляхи формування якості та безпеки моторних палив шляхом використання біокомпонентів та присадок.

У другому розділі – «Об'єкти, предмет та методи дослідження» – наведено структурну схему дослідження (рис. 1), обґрунтовано вибір об'єктів дослідження, зазначено стандартизовані методи дослідження.

Об'єктами дослідження є розроблені моторні палива з біокомпонентами. Для прогнозування їх споживних властивостей також було досліджено палива вітчизняного виробництва, що виготовлені на ПАТ «Укртатнафта», а також сировину для виробництва моторних палив із біокомпонентами: бензин газовий стабільний; бензинові фракції, одержані під час перегонки нафти Рожнятівського родовища, Стинявського родовища, суміші нафт західноукраїнських родовищ та суміші нафт східноукраїнських родовищ; бензин каталітичного крекінгу, рифорват каталітичного риформінгу, рафінат бензольного виробництва, прямогонний бензин, сольвент нафтовий; біокомпоненти до бензинів: метил-трет-бутиловий етер, біоетанол та біоізобутанол; присадки Ketocat® Energy DP виробництва концерну Basf (Німеччина) та Chimtec EP-D plus компанії Chimtec.



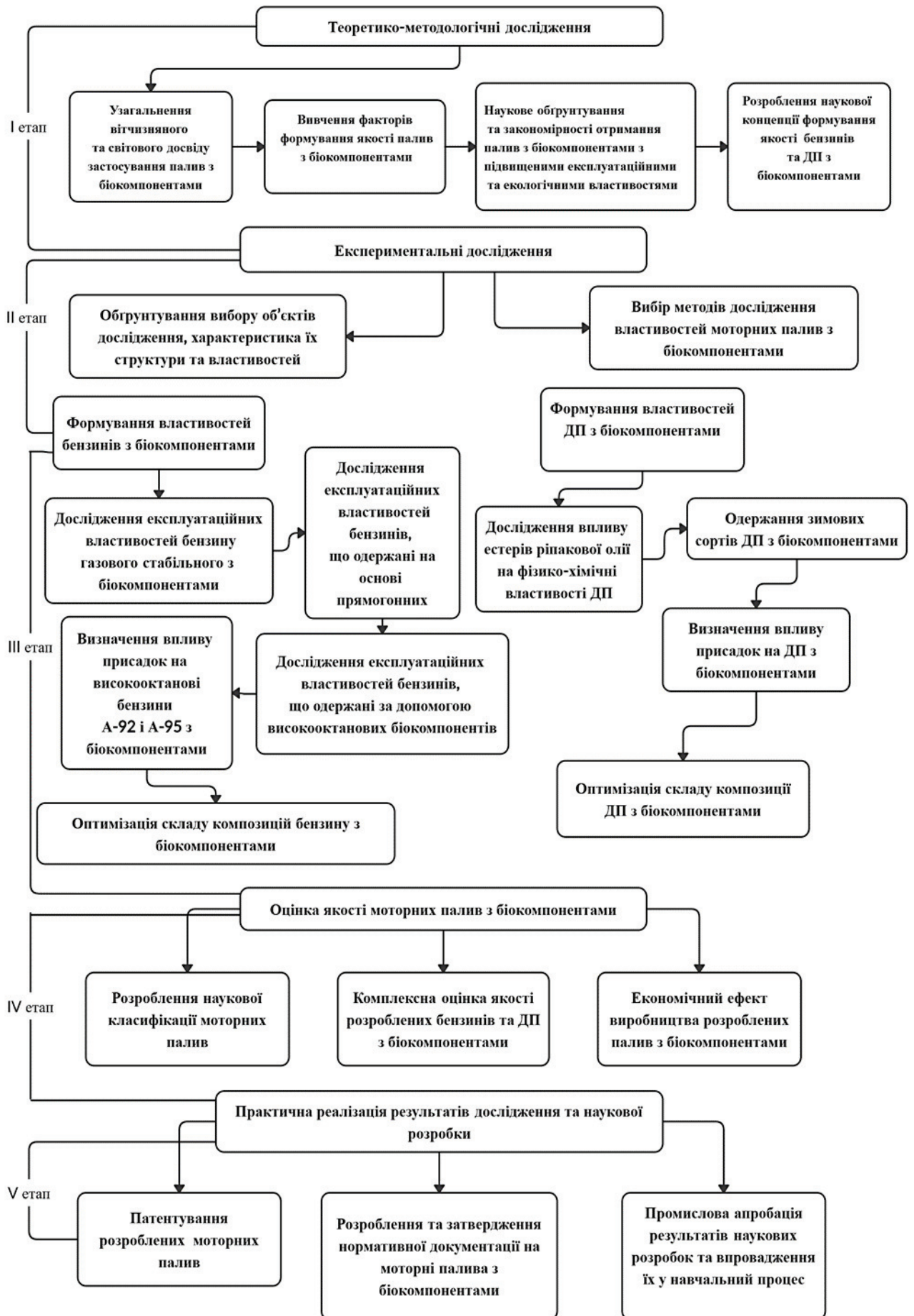


Рис. 1. Загальна схема досліджень

Базовими зразками було обрано бензини марки: А-92, А-95, дизельні палива марок Л виробництва ПАТ «Укртатнафта». Дослідження фізико-хімічних, експлуатаційних, екологічних властивостей моторних палив проводилися у Центральній лабораторії ПАТ «Укртатнафта», НУ «Львівська політехніка», СЛЕД Держмитслужби України (м. Київ), акредитованій лабораторії нафтопродуктів WOG. Дослідження якості моторних палив здійснювали за стандартними методиками.

Октанове число за дослідним та моторним методом визначали за ГОСТ 8226:2015 та ГОСТ 511:2015 відповідно.

Цетанове число дизельних палив визначали за ДСТУ ISO 5165:2013. Фракційний склад моторних палив визначали за методикою ГОСТ 2177-99. Густину нафтопродуктів бензинів та дизельних палив визначали згідно з ДСТУ EN ISO 3675:2012. Кінематичну в'язкість дизельних палив визначали за ДСТУ ГОСТ 33:2003. Вміст сірки визначали за ДСТУ ISO 20846:2009, ГОСТ 2059-95, ДСТУ EN ISO 20884:2012. Вміст ароматичних вуглеводнів визначали згідно з ДСТУ 7686:2015. Масову частку поліциклічних ароматичних вуглеводнів, визначали за ДСТУ EN 12916:2006. Вміст бензолу визначали за ДСТУ EN 12177:2009. Коксованість нафтопродуктів визначали за стандартною методикою ГОСТ 5987:51. Зольність нафтопродуктів визначали за ГОСТ 1461-59 та ДСТУ EN ISO 6245:2012.

Граничну температуру фільтрованості дизельних палив визначали за ДСТУ EN 116:2012. Вміст кисню визначали за ДСТУ EN 13132:2006. Температура спалаху в закритому тислі визначали згідно з ДСТУ ISO 2719:2006. Тиск насичених парів визначали за ГОСТ 1756-2000. Температуру спалаху нафтопродуктів визначали у відкритому і закритому тислях за стандартною методикою ДСТУ ГОСТ 4333:2018. Кислотне число визначали за стандартною методикою за ГОСТ 5985-79. Концентрацію фактичних смол визначали за ДСТУ ГОСТ 1567:2006. Корозійний вплив на мідну пластинку визначали за ГОСТ 6321-92.

Ефективність підтримання чистоти впускної системи під час додавання присадки Ketorig<sup>®</sup> Energy виробництва концерну Basf (Німеччина) та присадки Chimtec EP Line компанії Chimtec (Італія) до бензинів: А-92, А-95 та дизельного палива визначали за стандартним методом СЕС F-05-A-93 та СЕС-F23-A-01.

Збір і визначення рівня відкладень у камері згоряння проводили за методикою стандарту СЕС F-20-98. Зависання впускних клапанів проводили за стандартною методикою СЕС F-16-T-96. Дані пакети присадок містять високоефективні інгібітори корозії, дія яких досліджувалась за стандартним методом ASTM D 665 A mod (для бензинів) та ASTM D 865 A mod (для дизельного палива).

Тест на ефективність сепарування води дизельного палива проводили за стандартом ASTM 1094. Окиснювальна стабільність дизельного палива регламентується стандартом ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009).

Структурно-груповий склад бензинів визначали хроматографічним методом на газовому хроматографі Agilent-6890 з полум'яно-іонізаційним

детектором, а також методом хромато-мас-спектрометрії на мас-спектрометрі LKB-2091. Вміст металів у бензинах, який нормується, проводили на спектрометрі енергій рентгенівського випромінювання SER-01 для визначення присутності марганцю, свинцю, нікелю, заліза, що можуть вводитись у бензини в складі присадок для підвищення октанового числа.

Математичні моделі експлуатаційних та екологічних властивостей моторних палив із біокомпонентами були отримані методом центрального композиційного рототабельного плану експерименту із заданими значеннями вихідних змінних у досліджуваному діапазоні значень. Модель процесу, що виражена через рівняння регресії. Адекватність отриманого рівняння перевіряли за допомогою критерію Фішера, а значимість розрахованих коефіцієнтів – за критерієм Стьюдента.

Обчислення звідних статистичних характеристик числових масивів даних досліджень, оцінка емпіричного розподілу і вибір закону розподілу одномірної випадкової сукупності даних експериментів, статистичне оцінювання залежностей (кореляційний та регресійний аналізи) проводили методами одномірного і багатомірного статистичного аналізу за допомогою програмного забезпечення: Excel, STAT-SENS та STATISTICA 10. Для розрахунку комплексного показника якості моторних палив було використано методика вибору обмеженої кількості показників якості та оцінювання їх значимості. За результатами аналізу чинних вітчизняних і міжнародних нормативних документів встановлено вимоги до експлуатаційних та екологічних властивостей моторних палив.

Третій розділ – «Формування якості бензинів з біокомпонентами» – присвячено оцінці експлуатаційних та екологічних властивостей бензинів з біокомпонентами та присадками.

Для одержання високооктанових бензинів: А-92 та А-95 з покращеними експлуатаційними властивостями було використано високооктанові біокомпоненти. Першопочатково отримували базові основи бензинів: А-92 та А-95 шляхом змішування нафтових складових, а саме: бензину каталітичного крекінгу, риформату каталітичного риформінгу, рафінагу бензолного виробництва та сольвенту нафтового в такому співвідношенні, щоб забезпечити октанове число в суміші близько 90 для бензину А-92 та 93 для бензину А-95. У результаті були одержані базові основи бензину А-92 та бензину А-95. Склад базової основи для одержання бензинів А-92 та А-95, що використовували для дослідження впливу біокомпонентів, представлено в табл. 1. Як базові зразки визначено бензини А-92 та А-95-«Євро 5», що виготовлені ПАТ «Укртатнафта».

Для визначення впливу біокомпонентів на зміну октанового числа (ОЧ) за моторним (ММ) та дослідним (ДМ) методами базової бензинової основи додавали їх у кількості 5, 7 та 10 % об. кожний. Як біокомпоненти використовували МТВЕ, біоетанол та біоізобутанол (біоІВС). Найбільший приріст октанового числа дає додавання біоетанолу в кількості 10 % для бензину А-92 та А-95, меншою мірою МТВЕ та ізобутанол.

Таблиця 1

**Вплив біокомпонентів на октанові характеристики базової основи для бензинів: А-92 та А-95 (n=5,  $p \leq 0,05$ )**

Базова основа+додаток	А-92		А-95	
	ОЧ за ММ	ОЧ за ДМ	ОЧ за ММ	ОЧ за ДМ
100 % об. базової основи	82,2	90	84,4	94,3
95 % об. бази + 5 % об. МТБЕ	83,4	91,3	85,0	95,3
93 % об. бази + 7 % об. МТБЕ	83,8	92,9	85,3	95,8
90 % об. бази + 10 % об. МТБЕ	84,4	92,7	85,5	96,4
95 % об. бази + 5 % об. біостанола	83,5	92,1	85,0	96,0
93 % об. бази + 7 % об. біостанола	83,8	92,6	85,4	96,4
90 % об. бази + 10 % об. біостанола	84,3	93,8	85,8	97,1
95 % об. бази + 5 % об. біоІВС	82,8	90,5	84,5	94,8
93 % об. бази + 7 % об. біоІВС	83,3	91,4	84,8	95,1
90 % об. бази + 10 % об. біоІВС	83,9	91,8	85,2	95,7

Проте для зменшення собівартості бензину рекомендовано додавати ізобутанол як високооктановий додаток до бензину. Рекомендована рецептура та характеристика одержаних бензинів А-92 та А-95 наведена в табл. 2-3.

Таблиця 2

**Рекомендована рецептура бензину А-92  
(n=5,  $p \leq 0,05$ )**

Додатки	Характеристика додатка		Характеристика додатка в суміші		
	ОЧ за ДМ	Вміст ароматичних вуглеводнів, %	Вміст додатка, %	ОЧ за ДМ*	Вміст ароматичних вуглеводнів, %
Бензин КК	89,3	22,7	30	26,8	6,81
Рифорат КР	97,7	70,2	35	34,2	24,60
Рафінат БВ	69,2	0,4	10	6,9	0,04
Бензин прямогонний	72,0	3,5	10	7,2	0,35
МТБЕ	115,0	0	5	5,8	0
Біоізобутанол	108,0	0	10	10,8	0

Склад бензину визначено таким чином, щоб одержати бензин із октановим числом 92, при цьому вміст ароматичних вуглеводнів у бензині не має перевищувати 35 %.

Як і у варіанті з одержанням бензину А-92, склад бензину А-95 визначено таким чином, щоб його октанове число було наближене до 95, а вміст ароматичних вуглеводнів не перевищував 35 %.

Таблиця 3

## Рекомендована рецептура бензину А-95

Додатки	Характеристика додатка		Характеристика додатка в суміші		
	ОЧ за ДМ	Вміст ароматичних вуглеводнів, %	Вміст додатка, %	ОЧ за ДМ	Вміст ароматичних вуглеводнів, %
Бензин КК	89,3	19,7	28	25,00	5,52
Риформат КР	97,7	64,2	38	36,15	23,75
Рафінат БВ	69,2	0,4	7	4,84	0,03
Сольвент нафтовий	105	100	5	5,25	5,00
БП	72	3,5	9	6,48	0,32
МТББ	115	0	8	10,35	0,00
ТБС	108	0	5	5,40	0,00

Розроблені композиції були проаналізовані в лабораторних умовах на відповідність показників якості вимогам ДСТУ 7687:2015. Порівняльні дані представлені в табл. 4.

Аналізуючи дані таблиці встановлено, що бензини з додаванням біокомпонентів перевищують вимоги ДСТУ 7687:2015 та значення відповідних показників для базового зразка А-92, за наступними показниками: для А-92: густина менша на 15 кг/м<sup>3</sup>, вміст сірки менший майже удвічі – на 3 мг/кг, об'ємна частка ароматичних вуглеводнів менше на 3,14 %, що свідчить про менший вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах під час використання даного палива; для А-95: дещо вище октанове число, вищий тиск насичених парів на 5,7 кПа.

Проведено дослідження впливу багатофункціональних присадок Ketorug® Energy виробництва концерну Basf (Німеччина) та Chimes EP Line компанії Chimes (Італія) на бензини щодо експлуатаційних властивостей під час їх використання, а саме: ефективність підтримання чистоти впускної системи та зависання впускних клапанів, корозію сталі, емісію шкідливих речовин. За рекомендованого дозування 550 і 600 мг/кг добавки Ketorug® ENERGY та 500 і 550 мг/кг добавки Chimes EP Line для бензину А-95 повністю відсутні сліди корозійного впливу (табл. 5).

Таблиця 4

**Результати досліджень показників експлуатаційних властивостей бензинів: А-92 та А-95 з біокомпонентами (n=5, p ≤ 0,05)**

Назва показника	Значення за ДСТУ А-92/ А-95	Показники якості для А-92		Показники якості для А-95	
		Базовий зразок	Розроблене паливо	Базовий зразок	Розроблене паливо
Октанове число за дослідним методом	92/95	92,6	91,7	95,2	95,8
Тиск насиченої пари у літній період, кПа	45-80	65,4	69	64,3	70
Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	720-775	736,1	721	747	729
Фракційний склад: - об'ємна частка випаровування за температури 70 °С, %, в межах; - об'ємна частка випаровування за температури 100 °С, %, в межах; - об'ємна частка випаровування за температури 150 °С, %, не менше; - температура википання кінцева, °С, не вище; - об'ємна частка залишку після википання, % не більше.	20,0-50,0 46,0-71,0 75,0	46 62 88	34,0 66,0 78,0	48 65 90	33,0 67,2 81,0
Вміст сірки, мг/кг	<10	7	4	6,4	4
Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів, %	<35	32,64	29,5	34,5	33,6
Об'ємна частка бензолу, %	<1	0,37	0,6	0,75	0,7
Масова частка кисню, %	<2,7	2,14	2,3	2,69	2,7
Концентрація фактичних смол, мг/100 см <sup>3</sup>	<5	0	4	0	1
Корозія на мідній пластинці (3 год за температури 50 °С), клас	<1	1	1	1	1
Концентрація свинцю, мг/дм <sup>3</sup>	<5	0	0	0	0
Вміст марганцю, мг/дм <sup>3</sup>	<6	0	0	0	0

Для кількісної характеристики корозійної стійкості використано шкали DIN (Німеччина) та NACE (США).

Застосування присадки Ketorin<sup>®</sup> ENERGY, яку використовують для зниження емісії шкідливих речовин, дозволяє значно знизити рівень їх викидів – вуглеводнів, що не згоріли – на 20-21 % (HC), чадного газу (CO) –

на 23-24 % і оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) – на 13-14 % - у відпрацьованих газах, а також до 4-5 % зменшити витрату бензину і відповідно виділення вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  («парникового газу»).

Таблиця 5

**Результати випробувань ефективності багатофункціональних добавок: Kerosin® ENERGY і Chimes EP Line на інгібування корозії**  
 $n=5, p \leq 0,05$

Керосин Energy, мг/кг	Оцінка за шкалою DIN	Оцінка за шкалою NACE	Chimes EP Line, мг/кг	Оцінка за шкалою DIN	Оцінка за шкалою NACE
Бензин А-95					
0	3	E	0	3	E
–	–	–	500	1	B++
550	0	A	550	0	A
Бензин А-92					
0	3	E	0	3	E
600	0	A	600	0	A

DIN 51585: 0 = корозія відсутня; 1 = сліди, 2 = помірна, 3 = сильна корозія;

NACE (% загальної повноти корозії): A=0, B++=0,1 і менше, B+=0,1-5, B=5-25, C=25-50, D=50-70, E=75-100.

Для визначення найефективнішої композиції сумішевого палива за експлуатаційними властивостями було здійснено оптимізацію складу високооктанового бензину з біокомпонентами. Після здійснення розрахунків за допомогою програмного комплексу STAT-SENS отримано математичні моделі, що описують вплив компонентів суміші на властивості бензину. Перевірку адекватності отриманих математичних моделей здійснено за критерієм Фішера.

$$y_1 = 95,148 + 1,5956x_1 + 0,88267x_2 + 1,9777x_3 + 0,5375x_1x_2 + 0,5375x_1x_3 + 0,5375x_2x_3 + 0,03226x_1^2;$$

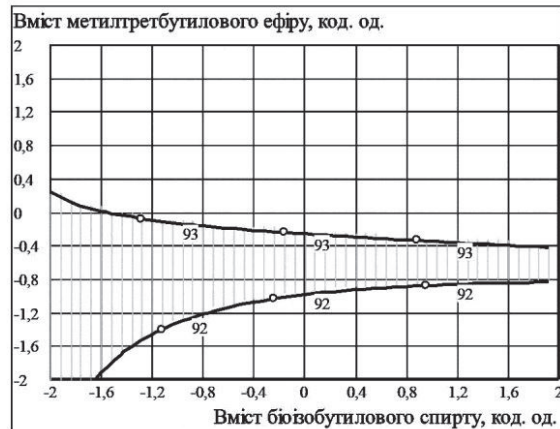
$$\hat{y}_2 = 0,45867 + 0,03528x_1;$$

$$\hat{y}_3 = 5,2729 + 1,9797x_1 - 0,13859x_1^2;$$

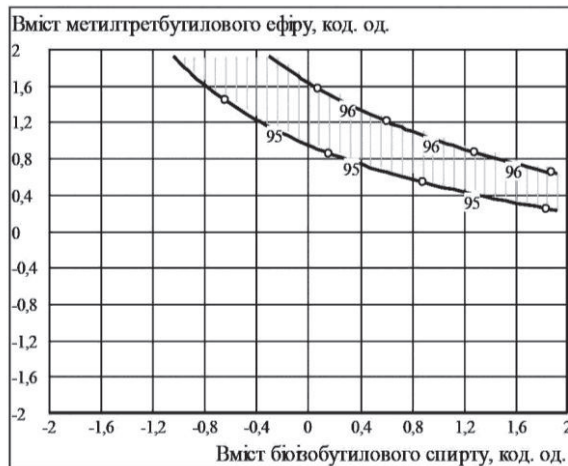
$$\hat{y}_4 = 33,6 + 2,009x_1;$$

де  $\hat{y}_j$  – прогнозовані значення вихідної змінної за  $j$ -ю моделлю.

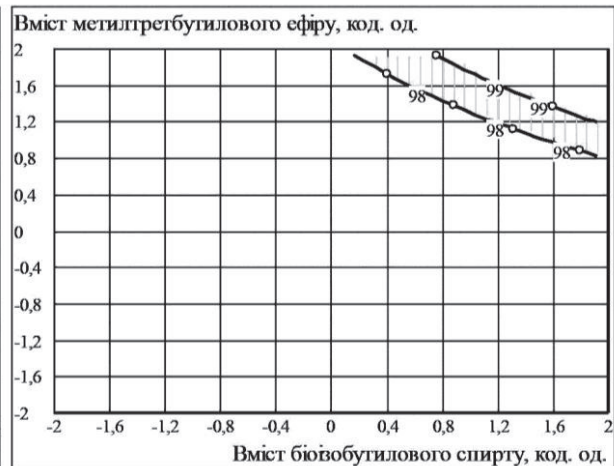
Стабілізуючи один фактор на оптимальному рівні, забезпечуючи вихідні змінні в діапазоні їх технологічних значень від мінімуму до максимуму, можна отримати компромісну ділянку (рис. 2).



а)



б)



в)

Рис. 2. Компромісна область витрат біокомпонентів для досягнень бажаних значень октанового числа бензинів марок: а) А-92 за фіксованих значень  $x_1$  на рівні -1,12; б) А-95 за фіксованих значень  $x_1$  на рівні -0,96; в) А-98 за фіксованих значень  $x_1$  на рівні -0,47

За результатами проведених досліджень отримано оптимальні склади високооктанових бензинів різних марок із використанням біокомпонентів. Витрата компонентів у суміші високооктанового бензину з біокомпонентами для бензинів різних способів отримання, біоізобутилового спирту та метилтретбутилового ефіру становить: для марки бензину А-92 – 65,28; 5,68 і 6,3 мас. %; для марки бензину А-95 – 66,24; 6,42; 9,62 мас. %; для марки бензину А-98 – 69,18; 6,40; 10,96 мас. % відповідно.

**Розділ 4 – «Формування якості дизельних палив з біокомпонентами»** – присвячено оцінці експлуатаційних та екологічних властивостей дизельних палив із біокомпонентами та присадками.

Проведено дослідження впливу метилового естеру ріпакової олії (МЕРО) та ізобутилового естеру ріпакової олії (ІБЕРО) на якісні показники дизельного палива. Досліджено фізико-хімічні властивості дизельного палива нафтового походження марки Л, що виробляється на ПАТ



«Укртатнафта», а також біокомпонентів до нього – МЕРО та ІБЕРО. Їх характеристика представлена в табл. 6.

Таблиця 6

**Фізико-хімічні показники дизельного палива «Євро 5»  
марки Л і альтернативних палив  
n=5, p ≤ 0,05**

Показник	Методи випробувань	Норма для ДП згідно з ДСТУ 7688:2015	Фактичні дані		
			ДП марки Л	Ізобутиловий естер ріпакової олії	Метилловий естер ріпакової олії
Цетанове число, не менше ніж	ДСТУ ISO 5165	51	49	52	54
Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	ДСТУ EN ISO 3675	820-845	835	885	880
Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше ніж	ДСТУ EN 12916	8	7	0	0
Вміст сірки, мг/кг, не більше ніж	ДСТУ EN ISO 20884	10	8	5	3
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче ніж	ДСТУ ISO 2719	55	58	63	59
Зольність, % (мас.), не більше ніж	ДСТУ EN ISO 6245	0,005	0,004	0,004	0,003
Змашувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мм, не більше ніж	ДСТУ ISO 12156	460	450	425	430
Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	ДСТУ ГОСТ 33	2,00-4,50	3,7	13,2	5,6
Гранична температура фільтруваності, °С, не вище ніж	ДСТУ EN 116	-5	-7	-3	-8

Дані таблиці свідчать, що всі властивості біокомпонентів дещо відрізняються від палива нафтового походження. Як видно з таблиці, цетанове число естерів ріпакової олії є вищим від цетанового числа дизельного палива нафтового походження на 3-4 од. Біокомпоненти відрізняються від дизельного палива нафтового походження за показниками

в'язкості та густини. Вони мають більш високу густину при 15 °С на 50 кг/м<sup>3</sup>, що пояснюється їх хімічною будовою.

Актуальною проблемою на сьогодні є зниження вмісту сірки в моторних паливах, зважаючи на екологічні вимоги. Димові гази, одержані під час спалювання палив із сірковмісними сполуками, містять оксиди сірки, які під час контакту з водою, утворюють кислоти. Сірка завдає шкоди не тільки природі, але й двигуну – продукти її згоряння провокують корозію металу, а під час контакту їх із моторною оливою утворюються тверді відкладення (двигун закоксується). Вміст сірки біокомпонентів значно нижчий від вмісту у ДП марки Л, МЕРО має менший вміст у 2,5 рази, ІБЕРО – в 1,5 рази, що обумовлено відсутністю в естерах сірки, крім тієї, що може міститися у ґрунті, де вирощувався ріпак.

Гранична температура фільтрованості дає можливість оцінити низькотемпературні властивості палива, а саме текучість та прокачуваність за низьких температур. У біокомпонентах дана температура є значно нижчою – у МЕРО у 2 рази, порівняно з ДП марки Л. Ізобутиловий естер ріпакової олії має вищу температуру спалаху у порівнянні з дизельним паливом на 5 °С. Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів у дизельному паливі вказує на його екологічні характеристики.

За умови збільшення вмісту ароматичних вуглеводнів у паливах для двигунів внутрішнього згоряння зростає кількість бензапірену – потужного канцерогену. З цієї причини законодавчі акти багатьох зарубіжних країн лімітують вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів до рівня 6 – 11 %. У естерах ріпакової олії цей показник рівний 0, що пояснюється природним походженням палива.

Відомо, що біокомпоненти мають кращі експлуатаційні властивості, ніж дизельне паливо, хоча і не рекомендовані до використання в чистому вигляді через високу густину. Згідно з вимогами нормативних документів кількість біокомпонентів у дизельному паливі може становити не більше 7%. Саме тому таку кількість біокомпонентів додавали до дизельного палива нафтового походження при проведенні досліджень.

Композиції нафтового палива та біокомпонентів готували перемішуванням протягом 10 хвилин за допомогою механічного гомогенізатора. Суміші не містили воду та не розшаровувались.

У результаті одержали два види пального: ДП + 7 % ізобутилового естеру ріпакової олії та ДП + 7 % метилового естеру ріпакової олії. У одержаних паливах із біокомпонентами визначали відповідні фізико-хімічні властивості, що наведені в табл. 7.

При додаванні біокомпонентів до нафтового палива збільшилось цетанове число на 2 од. А чим вище цей показник, тим нижче рівень шуму і димність під час роботи двигуна. Густина та в'язкість завдяки біокомпонентам дещо збільшились, проте отримані значення відповідають вимогам стандарту. Це забезпечить прокачуваність палива по паливній системі автомобіля та забезпечить його протизношувальні властивості. Це підтверджується і тим, що площа змашуючої плівки, яка вкриває поверхню,

зменшується під час використання біокомпонентів, що збільшує ресурс двигуна автомобіля.

Таблиця 7

**Фізико-хімічні показники дизельного палива з біокомпонентами  
(n=5, p ≤ 0,05)**

Показник	Методик випробувань	Норма для ДП згідно з ДСТУ 7688:2015 марки Л	Фактичні дані		
			ДП марки Л	ДП + 7 % ізобутилового естеру ріпакової олії	ДП + 7 % метилового естеру ріпакової олії
Цетанове число, не менше ніж	ДСТУ ISO 5165	51	49	51	51
Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	ДСТУ EN ISO 3675	820-845	835	841	839
Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше ніж	ДСТУ EN 12916	8	7	7	7
Вміст сірки, мг/кг, не більше ніж	ДСТУ EN ISO 20884	10	8	7,2	7,1
Температура спалаху в закритому тислі, °С, не нижче ніж	ДСТУ ISO 2719	55	58	61	59
Зольність, % (мас.), не більше ніж	ДСТУ EN ISO 6245	0,005	0,004	0,004	0,004
Змашувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мкм, не більше ніж	ДСТУ ISO 12156	460	450	435	438
Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	ДСТУ ГОСТ 33	2,00-4,50	3,7	4,4	3,9
Гранична температура фільтрованості, °С, не вище ніж	ДСТУ EN 116	-5	-7	-6	-9

Вміст сірки у отриманих паливах із біокомпонентами нижчий на 0,8-0,9 мг/кг, що вказує на покращення їх екологічних властивостей. Температура спалаху в закритому тислі є вищою на 3 °С, а гранична температура фільтрованості нижча на 1-2 °С. Ще одна з переваг полягає в тому, що модифікація палива з додаванням метилових та ізопропілових

естерів ріпакової олії поліпшує значення показника мийної здатності. Решта показників відповідають вимогам ДСТУ 7688:2015.

Найбільш економічно виправданим і технологічно простим методом покращення низькотемпературних властивостей дизпалива є використання депресорних добавок. Розробка та використання композиційних депресорних присадок, які складаються з двох і більше компонентів активної речовини, що характеризуються більшою ефективністю завдяки синергізму дії компонентів, є актуальним завданням у виробництві палива. Однак, ефективність одного і того самого депресора може суттєво змінюватись залежно від хімічного та фракційного складу дизельного палива. Для встановлення оптимального складу дизпалива було доцільним провести випробовування депресорів різних виробників і за залежністю «ефективність – ціна» вибрати найкращий. Особливістю депресорних присадок є їх склад, який становить комерційну таємницю виробників. Було досліджено три депресори фірм: Dodiflow 3905-2 (виробництва Clariant), Ketoflux 6312 (виробництва Basf) і депресор Diesel-u, розроблений в Інституті нафти (Польща).

Для досліджень було взято дизельне паливо марки Л і дизельне паливо марки Л із додаванням метилового естеру ріпакової олії. Дослідження змін функціональних груп обраних речовин проводили методом інфрачервоної спектроскопії, наведені на рис. 3.

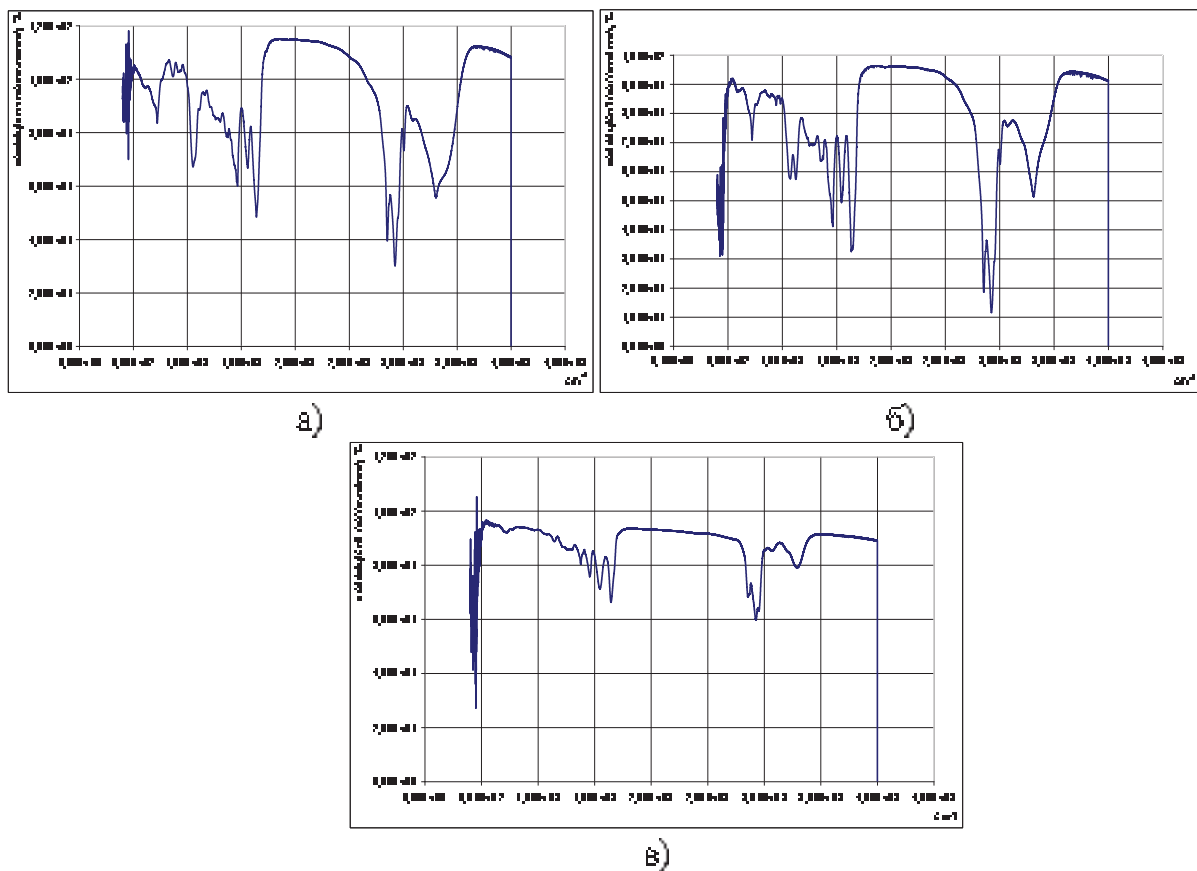


Рис. 3. ІЧ-спектри: а) Dodiflow 4273 (Clariant); б) Ketoflux 6312 Basf; в) Diesel-u

Розподіл функціональних груп наведено в табл. 8. Встановлення наявності певних функціональних груп у депресорах дає можливість пояснити більшу або меншу дію різних депресорів. Додавання депресорної присадки дозволить одержати зимовий сорт дизельного палива зі значно нижчою температурою застигання і граничною температурою фільтрованості, що дозволяє використовувати його у зимовий період за дуже низької температури навколишнього середовища.

Таблиця 8

**Функціональні групи досліджуваних речовин та їх частоти поглинання (см<sup>-1</sup>)**

Функціональна група	Частоти поглинання, см <sup>-1</sup>		
	Dodiflow 3905-2	Ketoflux 6312	Diesol-u
Радикали карбонових кислот	1310, 1400, 2930	-	-
Метильна група	1470, 2930	1370, 1470, 2860	-
Метилєнові групи	725, 1400, 1470, 2860, 2930	725, 948, 2930, 3090	728, 1460, 2930, 2860
Етильні групи	1060, 1470		
Етеніленова група	1310, 1640, 3010	608, 1650, 3010	
n-пропільна група	1470	1470	
Первинні спиртові групи	1310, 1400, 3310	1080, 1130, 1470, 3320	1080, 1130, 1470, 3320
Вторинні спиртові групи	1310, 1400, 3310	-	-

Згідно з проведеним аналізом найвищий депресорний ефект за мінімальної витрати для досягнення температури фільтрованості -20 °С показали продукти компанії BASF, як для нафтового дизельного палива, так і для палива з біокомпонентами. Депресор польського виробництва Diesol-u має найнижчу ціну, проте, для досягнення температури фільтрованості -20 °С його витрата є вищою на 150 %. Таким чином, додавання депресорної присадки дозволить одержати зимовий сорт дизельного палива, що має значне зниження температури застигання і граничної температури фільтрованості -20 °С, що дозволяє його використовувати у зимовий період за дуже низької температури навколишнього середовища.

За вимогами європейських стандартів цетанове число повинно бути не нижче 53, адже цей показник визначає запуск двигуна, швидкість зростання тиску, витрату палива та димність відпрацьованих газів. Тому для всіх імпортованих легкових автомобілів, що працюють на дизельних паливах, слід підвищувати цетанове число до згаданої норми. Для його покращення застосовують промотори займання дизельних палив у камері згоряння.

Як показали попередні дослідження, цетанове число базового дизельного палива і дизельного палива з естерами, відповідає вимогам ДСТУ, проте є нижчим, ніж вимоги Всесвітньої Паливної Хартії, де затверджено показник цетанового числа на рівні 53.

Цетанопідвищуючу присадку Nitroset-50 вводили в дизельне паливо у вигляді 50 %-го розчину в сольвенті. Дослідження проводили із пробами 1 і 2. Залежність цетанового числа від вмісту присадки наведено на рис. 4.

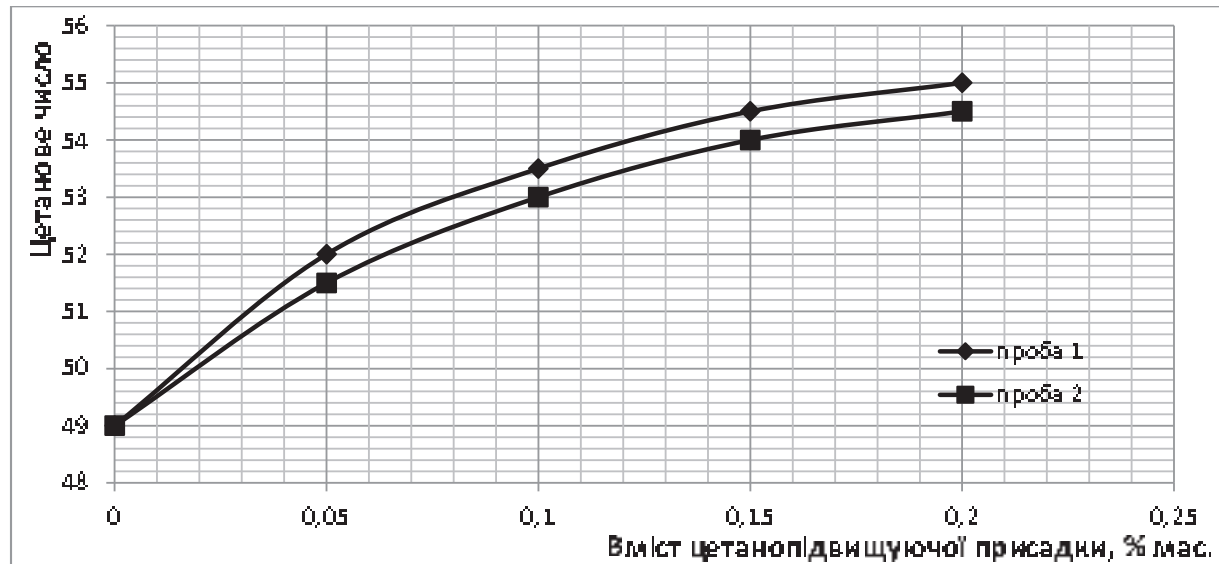


Рис. 4. Залежність цетанового числа дизельного палива від вмісту цетанопідвищуючої присадки

Аналізуючи рис. 4, можна стверджувати, що для підвищення цетанового числа дизельного палива нафтового походження (проба 1) до 53 одиниць, необхідно додати цетанопідвищуючу присадку Nitroset-50 у кількості 0,08 % мас, а для підвищення цетанового числа дизельного палива з додаванням метилового естеру ріпакової олії (проба 2) до 53 одиниць, необхідно додати цетанопідвищуючу присадку Nitroset-50 в кількості 0,1 % мас.

Проведено дослідження фізико-хімічних властивостей палива з додаванням 7 % МЕРО та цетанопідвищуючої присадки Nitroset-50 та звичайного ДП марки Л, які наведені в табл. 9. Дані даної таблиці свідчать, що під час додавання біокомпонентів та цетанопідвищуючої присадки до нафтового палива збільшилось цетанове число на 4 од. Густина завдяки біокомпонентам збільшилась на 11 кг/м<sup>3</sup> та 0,2 кг/м<sup>3</sup>. За фізико-хімічними показниками палива з біокомпонентами відповідають вимогам нормативного документа, зокрема, мають нижчу температуру спалаху в закритому тислі на 4 °С, менший вміст сірки на 2,9 мг/кг. Ще одна з переваг полягає в тому, що паливо з додаванням метилових естерів ріпакової олії має поліпшені якості за мийними властивостями. Температура застигання завдяки використанню депресорів знизилась до -20 °С.

**Фізико-хімічні показники дизельного палива з біокомпонентами  
( $n=5$ ,  $p \leq 0,05$ )**

Показник	Методи випробувань	За ДСТУ 7688:2015 для ДП марки Л	Фактичні дані	
			ДП + 7 % метилового естеру ріпакової олії	ДП марки Л
Цетанове число, не менше ніж	ДСТУ ISO 5165	51	53	49
Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	ДСТУ EN ISO 3675	820-845	846	835
Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше ніж	ДСТУ EN 12916	7	7	7
Вміст сірки, мг/кг, не більше ніж	ДСТУ EN ISO 20884	8	7,1	8
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не вище ніж	ДСТУ ISO 2719	58	59	58
Зольність, % (мас.), не більше ніж	ДСТУ EN ISO 6245	0,005	0,004	0,004
Змащувальна здатність: діаметр плами зносу за температури 60 °С, мкм, не більше ніж	ДСТУ ISO 12156	460	430	450
Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	ДСТУ ГОСТ 33	2,00-4,50	3,9	3,7
Гранична температура фільтрованості, °С, не вище ніж	ДСТУ EN 116	-5	-20	-7

Для вивчення впливу багатофункціональних присадок європейських виробників було проведено випробування фізико-хімічних показників та дослідження кількості шкідливих викидів дизельного палива.

Для дослідження впливу багатофункціональних присадок використано дизельне паливо виробництва ПАТ «Укртатнафта» марки Л, що відповідає вимогам нормативних документів. Для покращення фізико-хімічних показників (підвищення екологічності палив) використовували присадки Ketorag® Epetgy DP виробництва концерну Basf (Німеччина) та присадки Chimtec EP-D plus компанії Chimtec (Італія).

Для покращення фізико-хімічних показників (підвищення екологічності палив) використовували присадки Ketorag® Epetgy DP

виробництва концерну Basf (Німеччина) та присадки Chimes EP-D plus компанії Chimes (Італія), що додавали до дизельного палива виробництва ПАТ «Укртатнафта» марки Л.

Проведено випробування ефективності присадки на зменшення забруднення форсунок двигуна після прогону на базовому дизпаливі. Потім двигун проганявся за стандартним циклом вже на очищених форсунках з використанням запропонованого палива з пакетом присадок Ketorin DP ENERGY в дозуванні 150 мг/кг. У даному випадку доведено, що обмеження потоку знижується з 79,4 % (базове дизельне паливо) до 68,2 %, тобто більше половини відкладень, що утворилися, видаляються всього за один прогін протягом 10 год. Такий результат даного випробування вважається прийнятним для європейських палив.

Досліджено корозійну дію дизельного палива з додаванням пакетів присадок, встановлено, що базове дизельне паливо проявляє відносно високу корозійну активність за стандартом ASTM D 665 A з дистильованою водою (процедура А), а у варіанті В (з морською водою) площа корозії становить понад 75 %. Корозію, однак, можна повністю інгібувати якщо додавати у паливо багатофункціональний пакет Ketorin<sup>®</sup> DP ENERGY у дозуванні 150 мг/кг (за методом А). У значно більш жорсткому варіанті В дослідження спостерігається істотніше гальмування корозійних процесів. Додаванням присадки Chimes EP-D plus у кількості 190 рртп також істотно зменшується корозійна дія дизельного палива (табл. 10).

*Таблиця 10*

**Результати дослідження корозійної дії дизельного палива при додаванні присадок (n=5, p ≤ 0,05)**

Присадка	Дозування, мг/кг	Оцінка за шкалою NACE
Базове ДП марки Л (метод А)	0	В
Ketorin DP ENERGY (метод А)	150	А
Базове ДП марки Л (метод В)	0	Е
Ketorin DP ENERGY (метод В)	150	С
Chimes EP-D plus (метод В)	190	В++ / A class

Проведення випробувань на визначення антипінних властивостей показало, що застосування у дизельному паливі пакету присадок Ketorin<sup>®</sup> DP ENERGY в концентрації 150 мг/кг дозволяє знизити об'єм піни, що утворюється, на 64 % (з 110 до 40 мл) і скоротити час осадження піни в 4 рази (від 40 до 10 с).

Застосування у дизельному паливі пакету присадок Chimes EP-D plus в дозуванні 190 мг/кг дозволяє знизити об'єм піни, що утворюється, на 55 % з 110 до 50 мл і скоротити час осадження піни в 6,7 разів (від 40 до 6 с). За даними показниками паливо з присадками значно перевершує



загальноприйнятій рекомендації Всесвітньої Паливної Хартії для дизельного палива (рис. 5).

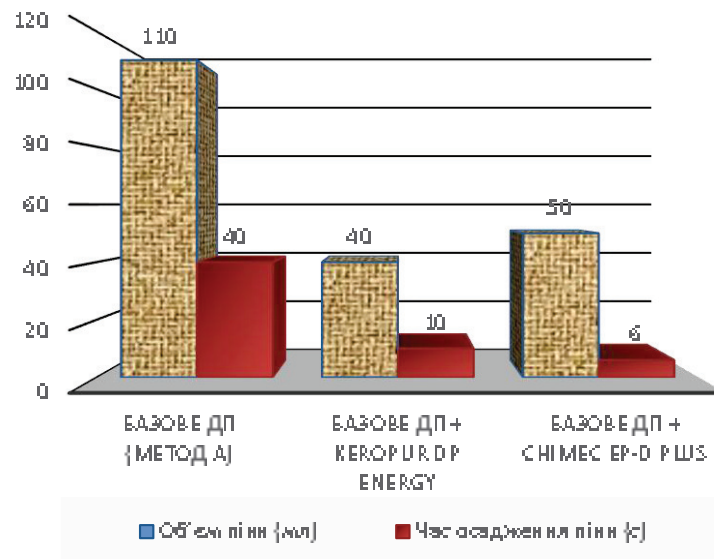


Рис. 5. Результати випробувань дизельного палива на антипінність при використанні присадок

Оптимальна витрата присадок Ketorit DP ENERGY та Chimex EP-D plus складає 150 та 190 г/т відповідно. За ринкової ціни на присадку Ketorit® DP ENERGY 3200€/т та Chimex EP-D plus 3350 €/т збільшення собівартості дизельного палива складе 0,480 €/т під час використання присадки Ketorit® DP ENERGY та 0,637 €/т під час використання присадки Chimex EP-D plus. Таким чином, під час закупівлі присадок 2-х різних виробників необхідно врахувати, окрім вартості присадки, схему постачання, умови оплати, об'єм одноразових партій, технологічну простоту змішування дизельного палива з присадкою. Паливо ПАТ «Укртатнафта» з присадкою Ketorit® DP ENERGY в дозуванні 150 мг/кг за схильністю до нагароутворення може бути віднесене до сегмента брендovих марок провідних міжнародних компаній, таких як Esso, Shell та ін. Випробування обмеження потоку склало 52 %, що є високим результатом.

Загальноприйнятими для сегмента брендovих дизельних палив вважається повна відсутність корозії сталі при випробуванні за стандартом ASTM D 665 A (метод А) і допускається обмежена корозійна активність у варіанті В з морською водою. Дизельне паливо ПАТ «Укртатнафта» з пакетом Ketorit® DP ENERGY в дозуванні 150 мг/кг та Chimex EP-D plus в дозуванні 190 мг/кг ці вимоги повністю задовольняє.

Для визначення найефективнішої композиції сумішевого палива за експлуатаційними властивостями було здійснено оптимізацію складу дизельного палива з біокомпонентами. Після здійснення розрахунків за допомогою програмного комплексу STAT-SENS отримано математичні моделі, що описують вплив компонентів суміші на властивості ДП.

Перевірку адекватності отриманих математичних моделей здійснено за критерієм Фішера.

$$\hat{y}_1 = 51,916 + 0,29289x_1 + 1,7407x_2 + 0,16583x_1^2;$$

$$\hat{y}_2 = 441,45 - 6,2972x_1 - 0,61241x_2 - 1,1516x_3 + 0,625x_1x_2 - 0,875x_1x_3 - 1,875x_2x_3 - 0,43923x_1^2 + 0,97497x_2^2;$$

$$\hat{y}_3 = -8,0438 + 1,1283x_1 - 0,19637x_2 - 2,0835x_3 - 0,375x_1x_3 + 0,26777x_1^2.$$

де  $\hat{y}_j$  – прогнозовані значення вихідної змінної за  $j$ -ю моделлю

Отримані моделі використано для пошуку оптимального складу дизельного палива. Під час визначення оптимального вмісту компонентів було враховано вимоги ДСТУ 7688:2015, в якому для літнього дизельного палива обмежено вміст біокомпонента на рівні – 7 об. %. Стандарт встановлює вимоги до фізико-хімічних показників дизельного палива (марка Л): цетанове число – не менше 51; змащувальна здатність – не більше 460; гранична температура фільтрованості – не вище – 5 °С.

Так, якщо вміст ізобутилового естеру ріпакової олії в композиції дизельного палива стабілізований на визначеному оптимальному рівні (0,95 код. од.; 6,9 мас. %), то отримана компромісна ділянка (рис. 6) передбачає витрати цетанопідвищуючої та депресорної присадок в оптимальному режимі. У результаті проведених досліджень отримано оптимальні склади дизельного палива марки Л із використанням ізобутилового естеру ріпакової олії та функціональних присадок.

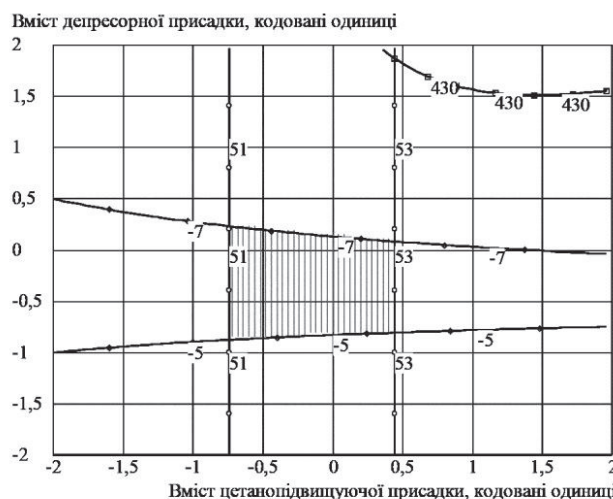


Рис. 6. Компромісна область оптимального складу дизельного палива із використанням біокомпонента

Витрата компонентів у суміші товарного дизельного палива для досягнення оптимальних заданих показників властивостей становить: ІВЕРО – 6,9 мас. %; цетанопідвищуюча присадка – 0,48 мас. %; депресорна присадка – 0,1 мас. %. Окрім того, було встановлено оптимальну компромісну область для отримання дизельних палив із заданими параметрами з можливістю регулювання вмісту присадок у їх композиціях.

У п'ятому розділі – «Товарознавча оцінка розроблених моторних палив з біокомпонентами» – представлені результати наукової товарознавчої класифікації моторних палив, здійснено розрахунок комплексних показників якості, розраховано економічну ефективність розроблених моторних палив із біокомпонентами, визначено інтегральні показники їх конкурентоспроможності.

Класифікація має вагоме теоретичне і практичне значення. У наукових дослідженнях класифікацію використовують для узагальнення та впорядковування одержаних результатів, а також як засіб подальшого наукового пошуку. Класифікація дає можливість оцінити раціональність асортименту окремих товарних груп, його відповідність споживацькому попиту, прогнозувати розвиток асортименту. Вона дозволяє ретельніше досліджувати споживні властивості однорідних груп товарів, розробляти групові методи дослідження та оцінки рівня якості товарів.

У розділі класифікації «Паливно-мастильні матеріали» найвагомішу групу займають моторні палива – ті види палива, що використовуються у двигунах внутрішнього згоряння, зокрема, як окремий клас – рідкі, що найчастіше використовуються споживачами в усьому світі. Проте в наукових публікаціях та нормативних документах відсутня їх класифікація. Тому було розроблено наукову товарознавчу класифікацію моторних палив (рис. 7).

Для систематизації науково обґрунтованої розгорнутої номенклатури показників властивостей моторних палив було визначено перелік властивостей, їх кількісні показники і характеристики залежно від їх функціонального призначення (табл. 11).

Класи споживних властивостей розподілено на групи та підгрупи. Групи та підгрупи властивостей виділено залежно від того, які конкретні вимоги споживачів задовольняють моторні палива. Кожна підгрупа властивостей включає певні показники та характеристики.

Так, було систематизовано групи властивостей моторних палив, зокрема: функціональні, експлуатаційні, екологічні, підгрупи: відповідність призначенню; пожежо-, вибухонебезпечність, випаровуваність та їхні показники.

Для оцінки комплексних показників якості розроблених палив було обрано зразок палива А-95 із біокомпонентами та дизельне паливо марки Л із біокомпонентами. Якість розроблених палив із біокомпонентами порівняли з найближчими за призначенням аналогами: це бензин марки А-95 та ДП марки Л, що визначені як базові.

Комплексні показники якості розроблених палив із біокомпонентами наведено в табл. 12-13.

Визначено, що комплексний показник якості запропонованих палив становить 1,17 та 2,04 відповідно, а, отже,  $P_c > 1$ , що свідчить про вищий рівень якості порівняно із базовими зразками палив (рис. 8).

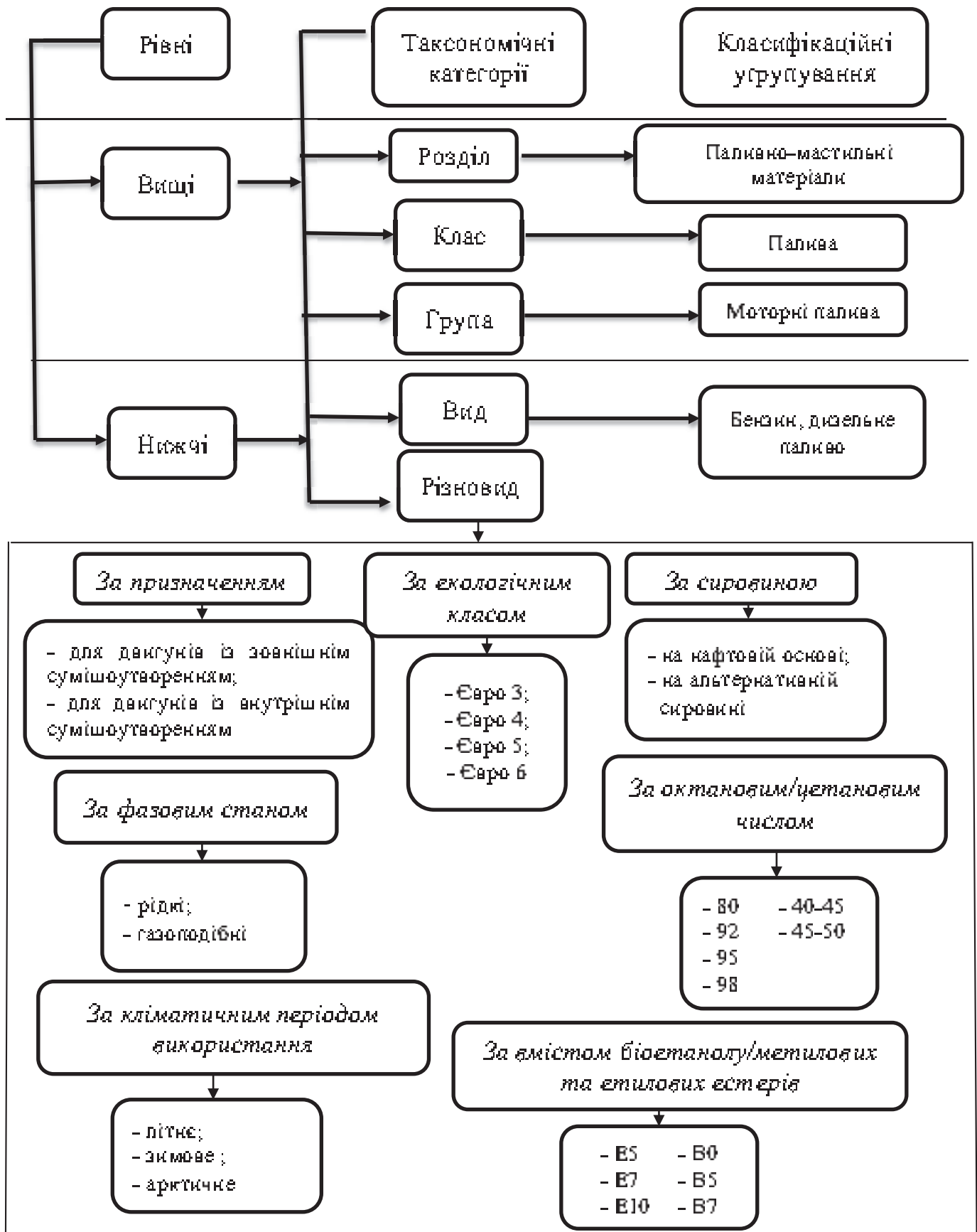


Рис. 7. Наукова класифікація моторних палив

## Систематизація показників споживних властивостей моторних палив

Група	Підгрупа	Показник
Функціональні	Відповідність призначенню	Забезпечення роботоздатності двигунів внутрішнього згорання
Безпечність	Пожежобезпе́чність	Температура спалаху
	Вибухонебезпе́чність	Температура самозаймання
	Випаровуваність	ГДК шкідливих речовин у робочій зоні або приміщеннях
Експлуатаційні	Прокачуваність	Густина, в'язкість, гранична температура фільтрованості
	Випаровуваність	Густина, тиск насичених парів, в'язкість, теплоємність
	Самозаймання	Детонаційна стійкість
	Горючість	Фракційний склад
	Схильність до утворення відкладень	Концентрація фактичних смол, зольність, коксованість
	Сумісність із металами	Вміст води, випробування на мідній пластинці, кислотність, вміст сірки
	Протизношувальні властивості	Діаметр плями зносу, вміст механічних домішок
Екологічні	Токсичність, канцерогенність, хімічна та фізична стабільність, чистота	Вміст сірки, масова частка поліциклічних вуглеводнів, вміст ароматичних вуглеводнів, емісія продуктів неповного згорання, токсичність відпрацьованих газів

У цілому, комплексні показники якості експлуатаційних властивостей розроблених палив із біокомпонентами доводять доцільність їх виробництва та використання у транспортних засобах.

Проведені розрахунки ефективності щодо впровадження запропонованої лінії для виробництва моторних палив із біокомпонентами вказують на економічну доцільність та ефективність (рис. 9).

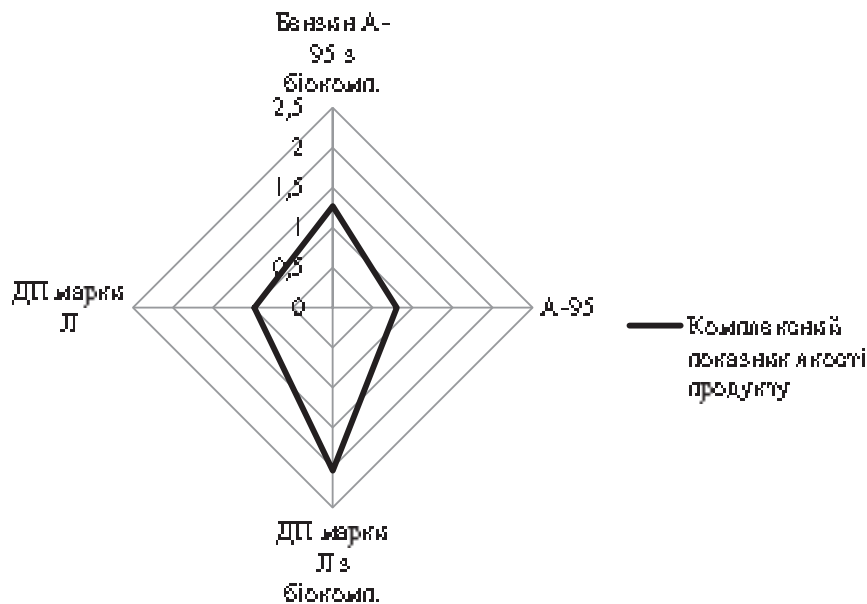


Рис. 8. Профілограма комплексних показників якості моторних палив із біокомпонентами та базових палив

Використання запропонованої лінії дозволить отримати прибуток: від продажу 1 т високооктанового бензину з біокомпонентами в розмірі 1704 грн, від продажу дизельного палива з біокомпонентами в розмірі 3680 грн; рентабельність виробництва 1 т бензину з біокомпонентами складає 7,9 %; рентабельність від продажу 1 т дизельного палива з біокомпонентами складає 20,9 %.

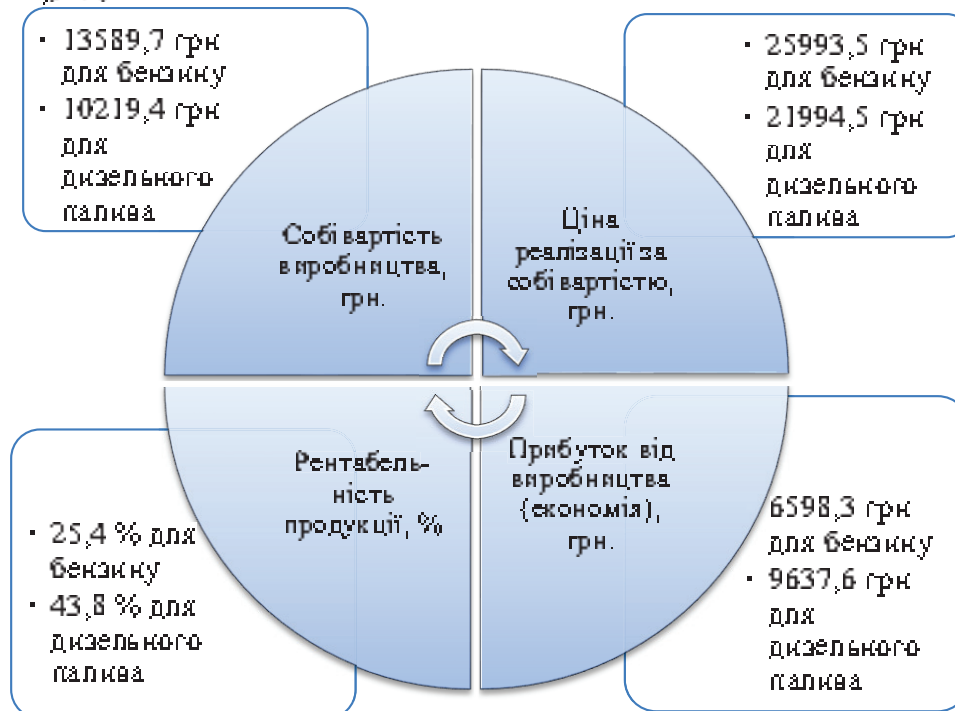


Рис. 9. Показники ефективності виробництва бензину та дизельного палива з біокомпонентами (у розрахунку на 1 т)

Таблиця 12

**Комплексний показник якості розробленого бензину  
А-95 з біокомпонентами**

Найменування показника	Коефіцієнт вагомості показника	Відносний показник якості	Параметричний індекс якості
Октанове число	0,24	1,01	0,24
Фракційний склад	0,23	1,04	0,24
Густина	0,08	0,94	0,08
Корозія на мідній пластинці	0,09	1	0,09
Вміст сірки	0,16	2,5	0,09
Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів	0,11	1,04	0,40
Об'ємна частка бензолу	0,09	1,43	0,13
Комплексний показник якості розробленого бензину А-95 з біокомпонентами		1,27	

Оцінка конкурентоспроможності товару дозволяє визначити можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможністю можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Купуючи щось, споживач знаходить необхідний товар серед аналогічних, тобто вибирає такий, що найбільше задовольняє його потреби.

Таблиця 13

**Комплексний показник якості розробленого  
ДП марки Л з біокомпонентами**

Найменування показника	Коефіцієнт вагомості показника	Відносний показник якості	Параметричний індекс якості
Цетанове число	0,36	1,04	0,38
Густина	0,32	1,01	1,33
Температура фільтрованості	0,18	1	0,18
Діаметр плями зносу	0,14	1,08	0,15
Комплексний показник якості розробленого бензину А-95 з біокомпонентами		2,04	

Для розрахунку інтегрального показника конкурентоспроможності розроблених палив із біокомпонентами обрано базові бензин А-95 та

дизельне паливо марки Л виробництва ПАТ «Укртатнафта», що належать до тієї самої групи товарів, що і запропоновані продукти, володіють такими ж експлуатаційними властивостями та відповідають нормативним вимогам.

Визначаючи сукупність порівнюваних параметрів конкурентоспроможності товару, виходять із того, що частина показників характеризує споживні властивості товару, а друга – оцінює його економічні показники (вартісні). Споживні властивості моторних палив, що формують його корисний ефект, мають суто технічні характеристики (експлуатаційні показники).

Проведені розрахунки інтегрального показника конкурентоспроможності моторних палив із біокомпонентами підтвердили, що запропоновані палива мають конкурентні переваги над базовими паливами, що реалізуються на ринку України та становлять 1,89 для бензину та 2,67 для ДП відповідно, отже, їх доцільно виробляти та використовувати в двигунах внутрішнього згоряння сучасних автотранспортних засобів.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено та реалізовано наукову концепцію формування якості моторних палив із біокомпонентами, що полягає у встановленні наукових підходів до вибору матеріалів і речовин, способів їх ефективного поєднання та закономірностей, що сприяють підвищенню експлуатаційних та екологічних властивостей, рівень яких відповідає вимогам екологічності та забезпечення працездатності двигунів внутрішнього згоряння автомобілів.

2. Проведено аналіз світового ринку моторних палив, який засвідчив, що дизельне паливо імпортується країнами в 1,8 разів більше, ніж бензини, а в Україну – в 4 рази більше. Встановлено, що найбільшими експортерами моторних палив у світі є США, Нідерланди, Росія, ОАЕ та Китай.

3. Визначено, що основними факторами формування якості моторних палив із підвищеними експлуатаційними та екологічними властивостями є склад базових нафтових палив, вміст біокомпонентів, присадок та їх співвідношення.

4. Розроблено композиції для виробництва бензину марок: А-92, А-95 та дизельного палива марки Л з біокомпонентами. Доведено, що найбільш ефективною основою для виробництва високооктанових бензинів є бензин каталітичного риформінгу; бензин каталітичного крекінгу підроочищений; рафінаг бензольного виробництва; сольвент нафтовий; бензин прямогонний та біокомпоненти: біоізобутиловий спирт та метилтретбутиловий ефір, а для дизельних палив – паливо дизельне підроочищене; біокомпоненти: ізобутиловий естер ріпакової олії; цетанопідвищуюча присадка; депресорна присадка. Застосування октанопідвищуючих додатків, зокрема, ізобутанолу, МТВЕ, риформату підвищує октанове число прямогонного бензину на 16 одиниць. Додавання біокомпоненту ІЕРО до нафтового дизельного палива покращує показники екологічних властивостей, а саме: знижує вміст сірки (менше на 1 мг/кг), зменшує масову частку поліциклічних ароматичних



вуглеводнів (на 1 %), а також змінює експлуатаційні властивості: знижує температуру застигання (на 13 °С), збільшує цетанове число (на 4 од.), підвищує змащувальну здатність при зменшенні діаметра плями зношування (на 20 мкм).

5. Встановлено ефективність додавання багатофункціональних присадок Ketorin® DP ENERGY та Chimtec EP-D plus під час виробництва бензину А-95 та дизельного палива марки Л з біокомпонентами та їх оптимальне співвідношення. Доведено, що застосування пакету багатофункціональних присадок під час виробництва бензину А-95 дозволяє знизити емісію шкідливих речовин у відпрацьованих газах (зменшення кількості вуглеводнів, що не згоріли – на 20-21 % (НС), чадного газу (СО) – на 23-24 % і оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) – на 13-14 %), а також зменшити на 4-5 % витрати палива.

Доведено, що використання дизельного палива з пакетом присадок Ketorin® DP ENERGY та Chimtec EP-D plus знижує об'єм піни, що утворюється, на 64 % і скорочує час її осадження в 4 рази, підвищує окиснювальну стабільність на 44 %, дозволяє знизити рівень викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах, а також на 2-5 % знизити витрату палива.

6. Оптимізовано склад композицій високооктанових бензинів та дизельного палива марки Л з біокомпонентами. Витрата компонентів у суміші становить: для марки бензину А-92: бензину – 65,28; біоізобутилового спирту – 5,68 мас. % та метилтретбутилового ефіру – 6,3 мас. %; для марки бензину А-95 – 66,24; 6,42; 9,62 мас. %, відповідно; для марки бензину А-98 – 69,18; 6,40; 10,96 мас. %, відповідно. Витрата компонентів у суміші дизельного палива для досягнення оптимальних заданих показників властивостей становить: ІБЕРО – 6,9 мас. %; цетанопідвищуюча присадка – 0,48 мас. %; депресорна присадка – 0,1 мас. %.

Методом регресійного аналізу отримано математичні моделі залежностей основних властивостей високооктанового бензину та дизельного палива марки Л від вмісту біокомпонентів. Встановлено, що вміст ароматичних вуглеводнів у бензиновій композиції повинен бути не більшим, ніж 35 об. %, вміст сірки – не більше 10 мг/кг, вміст бензолу – не більше 1,0 об. %, а октанове число – в діапазонах, що відповідають марці бензину: А-92 – 92-93, А-95 – 95-96, А-98 – 98-99. Цетанове число повинне бути не менше 51; змащувальна здатність – не більше 460; гранична температура фільтрованості – не вище - 5 °С.

7. Розроблено наукову товарознавчу класифікацію моторних палив, бензинів та дизельних палив, визначено їх місце в розділі товарознавства «Паливно-мастильні матеріали». Сформовано таксономічний ряд рівнів систематики моторних палив: клас > група > вид > різновид. Запропоновано розгорнуту систематизовану номенклатуру показників споживних властивостей моторних палив на основі груп, підгруп, показників і характеристик.

8. Встановлено, що комплексні показники якості розроблених палив становлять для бензину марки А-95 з біокомпонентами – 1,27, а для ДП марки Л з біокомпонентами – 2,04, що свідчить про якісні переваги останніх порівняно з аналогами.

9. Розраховано та підтверджено економічну доцільність та ефективність впровадження запропонованої лінії для виробництва моторних палив з біокомпонентами. Її використання дасть можливість отримати прибуток від продажу 1 т високооктанового бензину – в розмірі 6598,3 грн, від продажу дизельного палива – в розмірі 9637,6 грн; рентабельність виробництва 1 т бензину складає 25,4 %, а рентабельність від продажу 1 т дизельного палива складає 43,8 %. Розраховано інтегральний показник конкурентоспроможності розроблених моторних палив із біокомпонентами і встановлено, що він становить 1,89 та 2,67 для бензину та ДП відповідно на основі базових значень експлуатаційних властивостей нормативних документів. Запропоновані продукти мають конкурентні переваги над моторними паливами, що реалізуються на ринку України.

10. Розроблено та затверджено нормативну документацію: ТУ У 19.2-05477296-001:2020 «Бензини автомобільні з біокомпонентами «Євро-5» та технічні умови ТУ У 19.2-05477296-002:2020 «Паливо дизельне з біокомпонентами «Євро-5». Дані палива пройшли промислову апробацію у виробничих умовах: ТОВ «ВІП ОЙЛ», ТОВ «ВОГ ТРЕЙД», ПАТ «Нафтопереробний комплекс «Нафтохімік Прикарпаття».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Монографії**

1. Формування та регулювання якості товарів, виготовлених на Волині : монографія / колектив авторів за наук. ред. проф. Байдакової Л. І. Луцьк : ІВВ Луцького національного технічного університету, 2018. 230 с. – Розділ 1. Економічний потенціал Волинської області. п.1.5. Споживання паливно-енергетичних ресурсів у Волинській області. – С. 36–55. (*Особистий внесок автора – досліджено об'єми споживання паливно-енергетичних ресурсів на Волині*).

2. Техніко-економічний розрахунок виробництва біодизельного палива : монографія / колектив авторів за наук. ред. К. Лейди. Жешув: Жешувська політехніка імені І. Лукасевича, 2019 р. Розділ 9. Техніко-економічний розрахунок виробництва біодизельного палива. – С. 83-89 (0,38 друк. арк.) (*Особистий внесок автора – проаналізовано показники якості біодизельного палива для техніко-економічного розрахунку виробництва*).

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

3. Ткачук В. В., Захарчук В. І. Вплив дизельних біопалив на екологічну ситуацію довкілля. *Товарознавчий вісник* : збірник наукових праць. Вип. 3. Луцьк: ЛНТУ, 2011. С. 299-306. (Стаття у виданні України, яке включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar) (*Особистий внесок автора – підготовка*

*дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків).*

4. Ткачук В. В. Товарознавча оцінка бензинів, що реалізуються на ринку м. Луцька. *Товарознавчий вісник* : збірник наукових праць. Вип. 6. Луцьк: ЛНТУ, 2013. С. 125-130 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar).

5. Ткачук В. В. Оцінка якості світлих нафтопродуктів. *Товари і ринки*. № 1. К. : КНТЕУ, 2014. С. 131-138 (Стаття у виданні України, яке включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І.В. Вернадського, Google Scholar, Research Bib, Index Coperticus).

6. Ткачук В. В., Байдакова Л. І., Речун О. Ю. Тенденції розвитку біопаливного ринку в Україні. *Товарознавчий вісник* : збірник наукових праць. Вип. 9. Луцьк : ЛНТУ, 2016. С.61-69 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar). *(Особистий внесок автора – дослідження переваг біопаливного ринку України та обґрунтування висновків).*

7. Ткачук В. В., Речун О. Ю., Прядко О. А. «Зелена енергетика»: досвід Німеччини та українські реалії. *Товарознавчий вісник* : збірник наукових праць. Вип. 10. Луцьк: ЛНТУ, 2017. С.153-162 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І.В. Вернадського, Google Scholar). *(Особистий внесок автора – проведення порівняльної оцінки розвитку альтернативної енергетики в Україні та Німеччині).*

8. Ткачук В. В., Ягелюк С. В., Речун О. Ю. Формування ринку технічних культур в Україні. *Технічні науки та технології* : науковий журнал. Черніїв: ЧНТУ, 2018. № 1. С. 196-206 (Стаття у виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, РИНЦ, Index Coperticus, USJ, Уран, Research Bib, BASE, WorldCat, CrossRef Index Coperticus). *(Особистий внесок автора – аналіз ринку ріпаку як основної технічної культури в Україні та обґрунтування висновків).*

9. Ткачук В. В. Дослідження сучасних проблем виробництва альтернативних палив для бензинових двигунів в Україні. *Товарознавчий вісник* : збірник наукових праць. Вип. 12. Луцьк : ЛНТУ, 2019. С. 249-256 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar).

10. Мережко Н., Ткачук В., Зінченко О. Експлуатаційні властивості бензинів з багатофункціональними добавками. *Товари і ринки*. № 4. Київ : КНТЕУ, 2019. С. 50-61 (Стаття у виданні України, яке включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar, Research Bib, Index Coperticus). *(Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків).*

11. Мережко Н., Ткачук В., Романчук В. Покращення експлуатаційних властивостей дизельних палив добавками різних виробників. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. Технічні науки. Львів: Львівський торговельно-економічний університет. № 23. 2020. С. 11-18 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, WorldCat). *(Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень)*.

12. Мережко Н., Ткачук В., Комаха В. Оптимізація складу високооктанових бензинів із біодобавками. *Товари і ринки*. № 2(34). Київ: КНТЕУ, 2020. С. 84-97 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar, Research Bib, Index Copernicus). *(Особистий внесок автора – планування експерименту, перевірка математичних моделей на адекватність)*.

13. Ткачук В. В. Дослідження експлуатаційних властивостей дизельних палив з біодобавками. *Товарознавчий вісник: збірник наукових праць*. Вип. 6. Луцьк: ЛНТУ, 2020. С. 244-255 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar).

14. Мережко Н. В., Ткачук В. В. Ефективність виробництва високооктанового бензину та дизельного палива з біодобавками. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. Технічні науки. Львів: Львівський торговельно-економічний університет. № 24, 2020. С. 26-35 (Стаття у виданні України, яке включене до наукометричних баз Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, WorldCat). *(Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків)*.

15. Мережко Н. В., Ткачук В. В. Комплексна оцінка якості моторних палив з біокомпонентами. *Товари і ринки*. № 4 (35). Київ: КНТЕУ, 2020. С. 57-65 (Стаття у виданні України, що включене до наукометричних баз: Національна бібліотека України імені І. В. Вернадського, Google Scholar, Research Bib, Index Copernicus) *(Особистий внесок автора – проведення експертної оцінки взаємості показників складових властивостей, розрахунок комплексного показника якості моторних палив з біокомпонентами)*.

#### **Статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз**

16. Ткачук В. В., Захарчук В. Й. Технология получения и эксплуатационные характеристики изопропилового эфира рапсового масла. *Химия и технология топлив и масел*. № 6. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина., 2012. С. 3-7 (Стаття у міжнародному виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази Scopus) *(Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків)*.

17. Ткачук В. В., Божидарнік Т. В., Речун О. Ю. Проблеми і перспективи формування і розвитку ринку біопалив в Україні. *Економічний часопис – XXI*, 2014. С. 45-48. (Стаття у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази Scopus) (Особистий внесок автора – проведення аналізу сучасного ринку біопалив, визначення проблем його розвитку).

18. Tkachuk V., Rechun O., Merezko N., Bozhydarnik T., Katavaiev T. Assessment of the quality of alternative fuels for gasoline engines. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. P. 871-881. DOI.ORG/10.1007/978-3-030-22365-6\_46/ (Стаття у міжнародному виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази Scopus) (Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків).

19. Merezko N., Tkachuk V., Rechun O., Zagoruiko V., Priadko O. Infrared spectroscopy of gasolines with addition of ethanol. *Advanced Manufacturing Processes*, 2020. P. 442-450 (Стаття у міжнародному виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази Scopus) (Особистий внесок автора – проведення експериментальних досліджень та обґрунтування об'єктів дослідження).

20. Merezko N., Tkachuk V., Rechun O., Zolotarova O., Romanchuk V. Influence of high-octane bioadditives on physical and chemical properties of low-octane gasoline. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2020. P. 367-376 (Стаття у міжнародному виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази Scopus) (Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків).

#### **Публікації в інших наукових виданнях (міжнародні публікації)**

21. Tkachuk V., Zaharchuk V., Usenko M. Estimation operational properties of biodiesel fuel – isopropyl esters rape oil. *Inmateh – agricultural engineering*, Bucharest, Romania, vol. 34, № 2, 2011, p. 87-90 (Особистий внесок автора – проведення експериментальних досліджень та обґрунтування висновків).

22. Tkachuk V., Rechun O., Melnic. Iu. Study of operational properties of motor biofuels. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources* (International scientific journal). Issue 2, 2019. Bulgaria. P. 70-71 (Особистий внесок автора – підготовка дослідних зразків та обґрунтування методів дослідження).

#### **Патенти України на корисну модель**

23. Патент на корисну модель України UA № 143125 Композиція для отримання високооктанового бензину для двигунів з іскровим запалюванням із використання біодобавок / Мережко Н. В., Ткачук В. В., Топільницький П. І., Романчук В. В., Мельнік Ю. В. Заявл. 13.02.2020; Опубл. 10.07.2020. Бюл. № 13 (Особистий внесок автора – проведено патентний пошук, аналіз результатів, підготовлено формулу та опис корисної моделі).

24. Патент на корисну модель України UA № 144971 Композиція для отримання зимових та літніх дизельних палив з високим цетановим числом / Мережко Н.В., Ткачук В.В., Топільницький П. І., Романчук В. В., Речун О. Ю. Заявл. 28.05.2020; Опубл. 10.11.2020. Бюл. № 21 (*Особистий внесок автора – проведено патентний пошук, аналіз результатів, підготовлено формулу та опис корисної моделі*).

**Тези доповідей, матеріали конференцій, симпозіумів та інші публікації**

25. Ткачук В. В. Формування якісних показників біодизельного палива. Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої 10-річчю спеціальності «Якість, стандартизація і сертифікація». Київ : НУБіП, 2012. С. 47-49.

26. Ткачук В. В. Дослідження якості дизельних палив. Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні питання сучасного товарознавства». Донецьк, 2013. С. 246-248.

27. Ткачук В. В. Виробництво біопалива в Україні: новація чи необхідність? Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Якість та безпека товарів і екологія навколишнього середовища» (17 травня 2013 р.). Луцьк, 2013. С. 89-90.

28. Ткачук В. В., Речун О. Ю. Виробництво біопалива – шлях до підвищення екологічної чистоти довкілля. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Енергетична безпека навколишнього середовища». Луцьк, 2013. С. 107-109 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано необхідність виробництва та споживання біопалив*).

29. Ткачук В. В. Якість вітчизняних нафтопродуктів. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції «Трансформація національних моделей економічного розвитку в умовах глобалізації (20-22 листопада 2013 р.)». Київ : КНТЕУ, 2013. С. 391-392.

30. Ткачук В. В., Речун О. Ю., Байдакова І. М. Сучасні реалії технічного регулювання української продукції в ЄС. Матеріали III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта». Полтава (22-23 березня 2016 р.). С. 324-327 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано необхідність гармонізації українських нормативних документів із європейськими*).

31. Ткачук В. В., Беца Р. В. Альтернативні палива як основа збереження екологічної ситуації довкілля. II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Наука і молодь в XXI ст.» ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» (1-2 грудня 2016 р.). Полтава. С. 167-169 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано актуальність використання альтернативної сировини при виробництві палив*).

32. Ткачук В. В., Максимук М. М. Оцінка якісних показників бензинів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство : теорія, практика,

освіта» (м. Полтава, 14-15 березня 2018 р.). Полтава. С. 92-94 (*Особистий внесок автора – проведення аналітичних досліджень щодо властивостей, показників та характеристик товарів*).

33. Ткачук В. В., Речун О. Ю., Ягелюк С. В. Исследования эксплуатационных свойств биодизельного топлива. Сборник Международного научно-практического симпозиума «Достижения и перспективы в агроинженерии и автотранспорте» (4-6 октября 2018 г.). – Молдова. Кишинев. С. 450-454 (*Особистий внесок автора – проаналізовано та систематизовано показники експлуатаційних властивостей палива*).

34. Ткачук В. В., Логін В. М. Біобензини: проблеми та реалії виробництва в Україні. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство» (м. Полтава, 14-15 березня 2019 р.). С. 276-279 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано необхідність використання біопалив*).

35. Tkachuk V., Rechun O., Merezhko N., Vozhydatnik T., Karavaiev T. Assessment of the quality of alternative fuels for gasoline. 2<sup>nd</sup> International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange (June 11-14, 2019, Lutsk, Ukraine). P. 149.

36. Ткачук В. В., Топільницький П. І., Романчук В. В., Дойков Р. С. Високооктанові паливні композиції на основі нафтових та біокомпонентів. Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (18-23 травня 2020, Львів, Львівська політехніка). С. 49-52 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано використання біокомпонентів при виробництві палива*).

37. Ткачук В. В., Топільницький П. І., Романчук В. В. Одержання дизельного палива з покращеними екологічними властивостями. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин» (16-17 квітня 2020 р., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»). С. 68-72 (*Особистий внесок автора – обґрунтовано вимоги до якості біодизельного палива*).

38. Ткачук В. В., Речун О. Ю. Вплив естерів ріпакової олії на фізико-хімічні властивості дизельного палива. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні проблеми в сфері торгівлі та товарознавства» (16-18 вересня 2020 р., м. Херсон, Херсонський національний технічний університет). С.117-120 (*Особистий внесок автора – оцінювання якості дизельного палива*).

39. Merezhko N., Tkachuk V., Romanchuk V., Rechun O., Zagoruiko V. High-octane Fuel Compositions based on Petroleum and Biocomponents. 2<sup>nd</sup> Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes "InterPartner 2020" (September 8-11, 2020, Odessa, Ukraine). P. 114 (*Особистий внесок автора – обґрунтування вибору біокомпонентів до бензину*).

40. Merezhko N., Tkachuk V., Rechun O., Zolotariova O., Romanchuk V. Influence of high-octane bioadditives on physical and chemical properties of low-octane gasoline. 3<sup>rd</sup> International Conference on Design, Simulation,

*Manufacturing: The Innovation Exchange* (June 9-12, 2020, Khatkiv, Ukraine). 2020. P. 152 (Особистий внесок автора – оцінювання фізико-хімічних показників якості бензину).

## АНОТАЦІЯ

**Ткачук В.В. Формування якості моторних палив з використанням біокомпонентів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.08 «Товарознавство непродовольчих товарів», Київ, 2021.

Дисертація присвячена розробленню та реалізації наукової концепції формування якості моторних палив із біокомпонентами із заданим рівнем експлуатаційних та екологічних властивостей, що полягає у встановленні наукових підходів до вибору матеріалів і речовин, способів їх ефективного поєднання та закономірностей, що сприяють одержанню палив із підвищеним октановим/цетановим числом, меншим вмістом сірки та ароматичних вуглеводнів.

Проаналізовано сучасні реалії та проблеми на ринку нафтопродуктів України. Окреслено роль основних факторів формування якості моторних палив. Значну увагу приділено обґрунтуванню способів одержання моторних палив із покращеними експлуатаційними властивостями. Визначено перспективні напрями вдосконалення якості моторних палив.

Проведено комплексні дослідження впливу сировинних матеріалів, біокомпонентів, їх співвідношення на октанове (цетанове) число, фракційний склад, вміст сірки, ароматичних вуглеводнів палив. Встановлено, що найбільш ефективними біокомпонентами для бензинів є біоізобутиловий спирт; метил-трет-бутиловий ефір, для дизельних палив – ізобутиловий ефір ріпакової олії. Запропоновано, науково обґрунтовано та доведено ефективність застосування окремих видів біокомпонентів для надання моторним паливам кращих експлуатаційних та екологічних властивостей. Встановлено оптимальне співвідношення компонентів бензинів та дизельних палив із додаванням біокомпонентів, що одержуються на нафтопереробному заводі для одержання композиції, що відповідає стандарту на бензини та дизельне паливо «Євро-5».

Розроблено товарознавчу класифікацію моторних палив та проведено комплексну товарознавчу оцінку якості розроблених моторних палив із біодобавками. Отримані палива характеризуються вищими, порівняно з аналогами для бензину – за октановим числом, фракційним складом, об'ємною часткою ароматичних вуглеводнів, об'ємною часткою бензолу, а для дизельних палив – за цетановим числом, густиною, діаметром плями зношування. Здійснено оцінку економічної ефективності виробництва моторних палив з біокомпонентами.

Здійснено апробацію результатів дисертаційного дослідження у промислових умовах. Розроблено та затверджено нормативну



документацію на моторні палива з біокомпонентами.

**Ключові слова:** моторні палива, присадки, біокомпоненти, формування якості, товарознавча оцінка, експлуатаційні властивості, екологічні властивості, октанове число, цетанове число, вміст сірки, густина, об'ємна частка ароматичних вуглеводнів.

#### ANNOTATION

***Tkachuk K.V. Formation of the quality of motor fuels using biocomponents. - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.***

Dissertation for the degree of Doctor of technical sciences in the specialty 05.18.08 «Commodity Science of Non-food Products», Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development and implementation of the scientific concept of forming the quality of motor fuels with biocomponents with a given level of operational and environmental properties, which consists in establishing scientific approaches to the choice of materials and substances, ways to combine them effectively and establishing patterns that contribute to the production of fuels with an increased octane/cetane number, a lower content of sulphur and aromatic hydrocarbons.

Modern realities and problems in the Ukrainian oil products market are analyzed. A description of the range of bio-components used in the production of fuels is given. The role of the main factors in the formation of the quality of motor fuels is outlined. Considerable attention is paid to the justification of methods for obtaining motor fuels with improved operational properties. Promising directions for improving the quality of motor fuels are identified. Comprehensive studies of the influence of raw materials, types of additives, their ratio on the octane (cetane) number, fractional composition, sulphur content, and aromatic hydrocarbons of fuels were carried out. It is established that the most effective biocomponents for gasoline are bioisobutyl alcohol; methyltertbutyl ether, for diesel fuels – isobutyl ester of rapeseed oil.

The results of research confirmed that the octane number of gasoline can be regulated by adding different types and different concentrations of oxygenates: bioisobutyl alcohol and methyltertbutyl ether, the cetane number of diesel fuels significantly increases the combination of cetane-boosting additive and isobutyl ester of rapeseed oil. Approaches to the selection of materials and substances necessary for the production of motor fuels with increased operational and environmental properties are determined. The effectiveness of using certain types of bio-components to provide motor fuels with the best operational and environmental properties is proposed, scientifically justified and proved.

The main components of high-octane gasoline compositions for spark-ignition engines with the use of biocomponents are refined petroleum products and biocomponents. These refined petroleum products and biocomponents are catalytic reforming gasoline; hydrotreated catalytic cracking gasoline; benzene refined oil solvent; straight-run gasoline; bioisobutyl alcohol; methyltertbutyl ether, and for the manufacture of winter and summer diesel fuels, such a composition contains: hydrotreated diesel fuel, biocomponent, depressor additive,

cetane-enhancing additive, and as a biocomponent contains isobutyl ester of rapeseed oil. It has been experimentally proven that the use of octane-boosting additives, such as isobutanol and MTBE, as well as reformat, increases the octane number of straight-run gasoline by 16 units, while the cost of gasoline remains competitive. When MTBE, bioethanol and bioisobutanol were added as biocomponents to the petroleum base of gasoline, gasoline was obtained that meets the requirements of DSTU 7687:2015 for high-octane gasoline in terms of operational and environmental properties.

It is established that the use of Keropur® Energy additives produced by Basf (Germany) and Chimec EP Line additives from Chimec (Italy) guarantees compliance with the requirements for Euro-5 gasoline standards, and the increase in the cost of gasoline with the addition of additives is justified, given the significant improvement in their operational properties. The efficiency of adding Keropur® DP ENERGY and Chimec EP-d plus additives to diesel fuels has been established. At the same time, such indicators as: maintaining the cleanliness of the injection system, anti-foam efficiency, water separation effect, reducing corrosion, stability to fuel oxidation, and reducing harmful emissions were determined.

The result of the conducted research is the establishment of the optimal ratio of gasoline components obtained at an oil refinery to obtain a composition that meets the standard for Euro-5 gasoline in terms of octane number, content of aromatic hydrocarbons, content of benzene, sulphur, indicators of fractional composition, concentration of actual resins, and is not corrosive. As well as establishing the optimal ratio of components for the production of winter and summer diesel fuel with a cetane number above 53, a maximum filterability temperature below minus 20 C, as well as reduced toxicity of combustion products.

Commodity research assessment of the quality of developed motor fuels with bio-components was carried out. The resulting fuels are characterized by higher octane rating, fractional composition, volume fraction of aromatic hydrocarbons, volume fraction of benzene, and for diesel fuels - cetane number, density, and diameter of the wear spot. It is established that the complex quality indicators of the proposed fuels are 1,27 for gasoline of the A-95 brand with biocomponents, and 2,04 for diesel fuel of the L brand with biocomponents, which indicates the qualitative advantages of the developed compositions of motor fuels with biocomponents. The economic and social efficiency of the production of motor fuels with biocomponents was evaluated. The calculations carried out show the economic feasibility and efficiency of the implementation of the proposed line, from the use of which profits will be obtained from the sale of 1 ton of high-methane gasoline with biocomponents in the amount of 6598,3 UAH., from the sale of diesel fuel with biocomponents in the amount of 9637,6 UAH.

**Key words:** motor fuels, additives, biocomponents, quality formation, commodity assessment, operational properties, environmental properties, octane number, cetane number, sulphur content, density, volume fraction of aromatic hydrocarbons.

**ТКАЧУК ВАЛЕНТИНА ВІТАЛІВНА**  
**ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ МОТОРНИХ ПАЛИВ З**  
**ВИКОРИСТАННЯМ БІОКОМПОНЕНТІВ**

---

Підписано до друку 25.02.2021. Формат 60×90/16  
Ум. друк. арк. 1,5. Обл. – вид. арк. 1,4  
Тираж 100 прим. Замовлення №8

Відділ іміджу та промоції  
Луцького національного технічного університету  
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75  
Друк – Відділ іміджу та промоції Луцького НТУ

