

УДК 537.86

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/14>**Кочмала В. Б.**

Вінницький національний технічний університет

Пінаєв Б. О.

Вінницький національний технічний університет

Шпирко О. А.

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ І ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Сучасний розвиток паливно-енергетичної галузі вимагає впровадження новітніх технологій контролю якості пального. З'ясовано, що зростаючі вимоги до екологічності, ефективності та безпеки використання паливних ресурсів зумовлюють необхідність вдосконалення методів аналізу характеристик пального.

У статті розкрито та визначено один із ключових напрямків у цій сфері – впровадження мікроелектронних пристроїв для оперативного визначення фізико-хімічних властивостей пального. Ці пристрої дозволяють швидко і точно оцінювати склад, щільність, в'язкість, октанове та цетанове числа, наявність домішок і забруднень. Доведено, що застосування сенсорних технологій і спектроскопічних методів аналізу сприяє підвищенню достовірності результатів і мінімізації людського фактору.

Досліджено як штучний інтелект та машинне навчання відкривають нові можливості для прогнозування якості пального на основі великих масивів даних. Алгоритми аналізують інформацію з датчиків, моделюючи зміну характеристик під впливом різних факторів. Це дає змогу своєчасно виявляти відхилення від нормативних показників та запобігати використанню неякісного пального.

Автоматизовані системи контролю якості також набувають популярності серед нафтопереробних підприємств та автозаправних станцій. З'ясовано, що пристрої дозволяють в режимі реального часу здійснювати моніторинг складу та властивостей пального, забезпечуючи дотримання міжнародних стандартів ISO та Євро-6. Сучасні мікроелектронні системи контролю якості пального інтегровано в мережі Інтернету речей (IoT), що забезпечує централізований збір і аналіз даних. Це дозволяє не лише оперативно реагувати на виявлені відхилення, але й прогнозувати можливі проблеми на ранніх стадіях.

У статті розкрито методи аналізу фізико-хімічних характеристик дизельного палива з використанням мікроелектронних пристроїв. Проведено аналіз сучасних підходів до вимірювання параметрів пального, визначено переваги та обмеження різних методів. Запропоновано рекомендації щодо покращення системи оцінки якості дизельного палива.

Ключові слова: дизельне паливо, контроль якості, мікроелектронні пристрої, цетанове число, датчики, нафтопереробка.

Постановка проблеми. Збільшення кількості промислових підприємств та розширення промислових потужностей потребує ефективного контролю якості використовуваного пального. Дизельні двигуни широко застосовуються у важкій техніці, оскільки забезпечують значну автономність та продуктивність. Проте контроль параметрів дизельного пального залишається важливим завданням, особливо з урахуванням екологічних стандартів. Мікроелектронні пристрої можуть суттєво покращити процес аналізу та моніторингу якості пального – це сприяє не лише оптимальній роботі двигунів, а й зменшенню шкідливих вики-

дів в атмосферу. Крім того, інтеграція сенсорних технологій та алгоритмів обробки даних забезпечує автоматизацію контролю якості, що знижує ризик використання неякісного пального та підвищує надійність техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання мікроелектронних пристроїв у контролі якості пального активно досліджується в науковій літературі. Зокрема, розглядає спектроскопічні методи аналізу, аналізує застосування діелектричних сенсорів, а досліджує акустичні методи оцінки якості палива. Проте залишається відкритим питання ефективної інтеграції

цих методів у комплексні системи контролю, що зменшило б похибки вимірювань. Перспективним напрямком є розробка портативних пристроїв, які можна використовувати безпосередньо в польових умовах, що значно спростить та пришвидшить процес контролю якості пального.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз сучасних методів визначення типу та якості дизельного пального за допомогою мікроелектронних пристроїв та обґрунтування їх ефективності.

Виклад основного матеріалу. Дизельне паливо – це нафтовий продукт, отриманий дистиляцією при температурі від 220 °С до 380 °С. Ця похідна має ряд властивостей, які дозволяють використовувати її в машинах, що приводяться в рух двигунами, що працюють за дизельним циклом [3, с. 1]. Існує кілька основних видів базових компонентів дизельного пального. Традиційне нафтове дизельне паливо (петродизель) виробляють із сирової нафти шляхом фракційної перегонки. Біодизель отримують з рослинних олій або тваринних жирів методом переестерифікації, зокрема лужно-каталізованого переестерифікаційного процесу. Зелене дизельне паливо, також відоме як гідроочищена рослинна олія, виготовляється з тієї ж сировини, що й біодизель, але із застосуванням технологій гідроочищення або деоксигенації. В Україні найпоширенішим видом є петродизель – складна суміш вуглеводнів, отримана в результаті фракційної перегонки нафти. Вона складається із суміші аліфатичних вуглеводнів (C9–C20), ароматичних вуглеводнів, включаючи бензол і поліциклічних ароматичних вуглеводнів (РАНs) і олефінових вуглеводнів [4, с. 4].

Дизельне паливо впливає на робочі характеристики двигуна, такі як пускова швидкість, потужність, шум, гальмування на малих швидкостях, працездатність при низьких температурах, знос двигуна. Таким чином, якість дизельного палива є вирішальною та складною. З точки зору споживача дизельного палива, прийнятна вартість і безпроблемна робота дизельного двигуна, заправленого паливом, придбаним на АЗС, є важливими [5, с. 2].

Займистість дизельного пального є ключовим фактором, що визначає його експлуатаційні характеристики. Вона впливає на запуск двигуна, його потужність, економічність та надійність. Особливо помітний її вплив під час запуску в умовах низьких температур. При цьому займистість може по-різному позначатися на різних параметрах роботи двигуна (рис. 1).

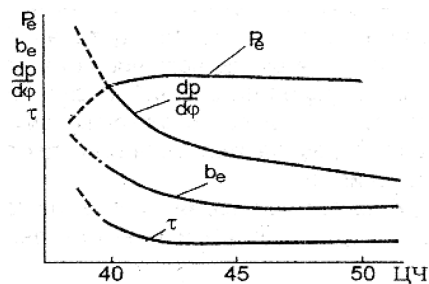


Рис. 1. Вплив цетанового числа на потужність, питому витрату палива, час пуску та жорсткість роботи дизеля

Зважаючи на вплив займистості пального на роботу двигуна, важливо враховувати, що подача пального насосом триває протягом усього періоду затримки його запалення. Тривалість цього процесу може становити від десяти до сорока градусів кута повороту колінчастого вала, тоді як сама затримка запалення займає лише кілька градусів. Точні значення залежать як від режиму роботи, так і від конструктивних особливостей двигуна. Затримка самозаймання визначається як час між розпиленням легкозаймистої речовини та початком процесу горіння після того, як відбулося самозаймання [12, с. 3]. Обидва елементи суттєво впливають на процес згоряння. Під час експериментальних досліджень було проведено численні прямі та непрямі вимірювання. Зокрема, шляхом прямих вимірювань визначали годинну витрату палива, крутний момент двигуна, частоту обертів, кут випередження впорскування, температуру двигуна та концентрацію шкідливих речовин у вихлопних газах [9, с. 5].

Збільшення займистості пального до певного рівня сприяє покращенню процесу горіння, підвищенню його ефективності, скороченню періоду затримки запалення та зменшенню жорсткості роботи двигуна, що позитивно впливає на його економічність (рис. 1). Однак при використанні пального з надмірно високою займистістю може зростати димність і погіршуватися економічність. Це пояснюється тим, що через малу затримку запалення і відносно низьку швидкість горіння відбувається плавне зростання тиску, внаслідок чого значна частина процесу переноситься на такт розширення.

Цетанове число є інтегральною характеристикою займистості пального, що визначає його здатність до горіння – чим вищий цей показник, тим легше паливо запалюється. Для визначення цетанового числа використовують спеціальні моторні установки, які дозволяють оперативно змінювати та контролювати ступінь стиснення, кут виперед-

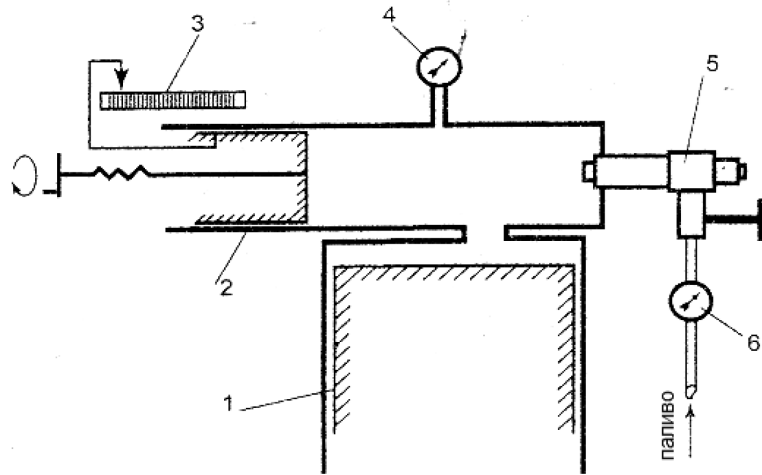


Рис. 2. Розділена камера згоряння з регульованим об'ємом дослідницької установки: 1 – поршень; 2 – допоміжний поршень; 3 – мікрометрична шкала; 4 – індикатор початку згоряння; 5 – форсунка; 6 – індикатор початку подачі палива

ження подачі пального та підтримувати «стандартний» режим роботи двигуна. Окрім цього, установка повинна бути оснащена обладнанням для фіксації моменту початку подачі та згоряння пального. На сьогодні найпоширенішим методом визначення цетанового числа є метод «збігу спалахів», що проводиться на спеціалізованих установках (рис. 2).

Установка складається з одноциліндрового чотиритактного дизельного двигуна, асинхронного електродвигуна, пристроїв для підтримки заданого режиму роботи, а також апаратури для вимірювання. Відмінною особливістю цього дизеля є можливість оперативної зміни ступеня стиснення безпосередньо під час роботи. Це реалізується за рахунок використання розділеної камери згоряння, об'єм якої можна регулювати, змінюючи положення допоміжного поршня 2. Переміщення допоміжного поршня контролюється за допомогою мікрометричної шкали 3. Визначити геометричний ступінь стиснення для

кожного положення поршня можна за допомогою графіка, наведеного на рис. 3. Процес неповного згоряння палива всередині циліндра відповідає за утворення викидів CO, але зменшується при більших навантаженнях двигуна [6, с. 12].

Основна концепція методу «збігів спалахів» полягає в наступному. Двигун налаштовують на «стандартний» режим роботи, встановлюючи певний ступінь стиснення, за якого займання пального в циліндрі відбувається безпосередньо у верхній мертвій точці (ВМТ). Далі підбирають суміш еталонних палив таким чином, щоб їх згоряння відбувалося аналогічним чином, без зміни ступеня стиснення. Це означає, що при використанні еталонної суміші займання має також відбуватися у ВМТ. Цетанове число досліджуваного пального визначається на основі вмісту еталонних палив у цій суміші.

Двигуни із запалюванням від стиснення вимагають палива з хорошими властивостями утворення горючої суміші. Ці властивості можуть включати відповідний хімічний склад, утворення найменших можливих крапель впорскуваного палива та випаровування [11, с. 6].

Сучасний рівень розвитку технологій дозволяє стверджувати, що якість дизельного пального визначається трьома ключовими факторами: продуктивністю, придатністю для експлуатації та стабільністю.

Кількісні методи оцінки якості пального поділяються на дві основні групи. Перша включає хіміко-аналітичні методи, що базуються на спалюванні або інших видах окислення нафтопродуктів із подальшим аналізом утворених продуктів реакції. Друга група охоплює електрофізичні

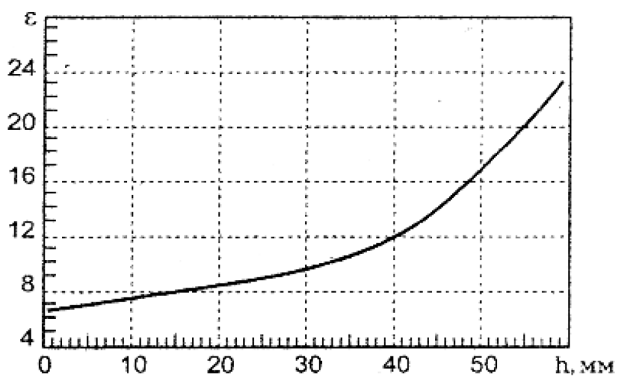


Рис. 3. Залежність ступеня стиснення ϵ від показників мікрометра h

апаратно-аналітичні методи, які ґрунтуються на пропусканні електричних, електромагнітних чи акустичних сигналів через досліджувані зразки пального.

Серед різноманітних електромагнітних методів найбільш доступними та ефективними є імпедансні та радіочастотні, оскільки вони використовують просту й недорогу апаратуру та мікросхеми. Водночас електро-аналітичні та мікрохвильові методи забезпечують вищу точність порівняно з низькочастотними, але потребують більш складного обладнання. Принцип роботи цих пристроїв базується на зміні діелектричної проникності пального відповідно до його цетанового числа з урахуванням температурної корекції.

Одночасне використання інструментів прогнозування, таких як створені штучні нейронні мережі, дає змогу оцінити споживання палива на основі зроблених припущень та значень окремих змінних для автомобілів на етапі проектування. Введення нелінійності дозволяє моделювати складні дані. Приховані шари також мають параметри, звані ваговими коефіцієнтами, які змінюються в процесі навчання нейронних мереж [13, с. 18, 15, с. 14].

Аналіз даних датчиків за допомогою алгоритмів машинного навчання, що застосовуються з використанням процедур прогнозного технічного обслуговування, також може бути використаний для покращення технічного обслуговування обладнання транспортного засобу зі зниженням витрат через час зупинки для несправностей і ремонту [14, с. 2].

Спектрометричні методи, що використовують широкий діапазон частот для аналізу спектрів поглинання або пропускання пального, дозволяють частково знизити вплив складу сировини на визначення детонаційної стійкості. На відміну від раніше згаданих методів, ці підходи базуються на спостереженні інтенсивності численних смуг поглинання у інфрачервоному спектрі вуглеводнів, що дає змогу розраховувати октанове або цетанове число з урахуванням кількох факторів. Це значно зменшує похибки вимірювання при зміні сировини. Для ще більшої точності для кожного типу сировини створюється окрема калібрувальна модель. Спеціальні адаптивні алгоритми, що аналізують спектральні характеристики, автоматично обирають модель, яка найточніше відображає взаємозв'язок між спектральним поглинанням і октановим чи цетановим числом пального.

Нещодавно для контролю якості палива були розроблені портативні та деякі навіть мініатюрні

спектрометри (miniNIR), які працюють переважно в мережевих форматах. Ця архітектура забезпечує стабільність, модульність, гнучкість і масштабованість гібридних систем. Тут середовище використовується для перенесення заряду, особливо для з'єднання між різними гібридними системами [7, с. 22]. Їхній ергономічний дизайн, що включає компактні розміри, зручність у використанні та відповідність принципам екологічної хімії, значно знижує час і вартість аналізу. Завдяки мініатюрним габаритам ці пристрої можуть застосовуватися в портативних кишенькових приладах. Однак, для забезпечення точності вимірювань, мініатюрне обладнання повинно відповідати прийнятим стандартам моніторингу якості й не поступатися за характеристиками стаціонарним спектроскопічним системам. Хоча їхнє використання для аналізу пального поки що не є широко поширеним, портативні та мініатюрні спектрометри вже застосовуються для кількісного визначення етанолу в бензині, біодизеля в сумішах дизель/біодизель, оцінки властивостей бензину та моніторингу реакції переестерифікації.

Було використано прототип портативного мініатюрного ближнього інфрачервоного спектрометра, що працює в спектральному діапазоні 1300–2100 нм (рис. 4) [1, с. 5]. Цей прилад живиться напругою 5В і керується через USB-порт комп'ютера, спочатку використовує матрицю з шести незалежних світлодіодів, що працюють із такими хвильовими числами: 1300 нм, 1400 нм, 1600 нм, 1700 нм, 1900 нм і 2100 нм.

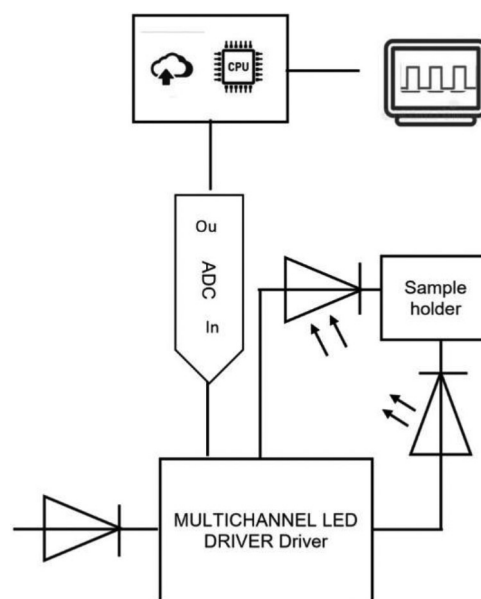


Рис. 4. Схема прототипу портативного інфрачервоного спектрометра

Цей пристрій живиться від джерела напруги 5 В і керується через USB-порт комп'ютера. Він використовує матрицю з шести незалежних світлодіодів, що працюють на хвилових числах 1300 нм, 1400 нм, 1600 нм, 1700 нм, 1900 нм і 2100 нм. Роздільна здатність пристрою становить 133 нм при довжині хвилі 1000 нм. Світлодіодна матриця синхронізована з вбудованим детектором попереднього підсилювача (InGaAs) з внутрішнім охолодженням. Для аналізу розчин зразка (16 мкл) наносили піпеткою в знімну кювету з оптичною довжиною 0,5 мм, яка фіксувалася між світлодіодним масивом і детектором. Спектральні смуги отримували шляхом усереднення 1000 сканувань із часом інтегрування 2,4 мс, що забезпечувало загальний час вимірювання 2,4 секунди на зразок.

Порівняно зі стаціонарним спектрометром, прототип представив розумні моделі, які могли передбачити цільовий забруднювач, з дещо нижчою точністю (між 68 % і 86 %), тоді як наявність біодизеля в дизельному паливі було передбачено з точністю 80 %.

Завдяки потенційній низькій вартості та розмірам поточного пристрою обладнання потенційно можна буде використовувати для першого аналізу забруднюючих речовин і сумішей біодизеля в дизельному паливі, а також для виконання другого раунду аналізу, якщо необхідно, із більш складним обладнанням для прогнозування концентрації забруднюючих речовин або вмісту біодизельного палива в дизельному паливі.

Цікаві електронно-акустичні підходи до оцінки якості палива. Відомо, що такі характеристики, як швидкість поширення звуку та коефіцієнт загасання звуку в середовищі, значною мірою залежать від його щільності. Вимірювання щільності корисно для визначення кількості та якості палива. Це важлива властивість переважно для систем

безповітряного горіння, оскільки вона впливає на ефективність розпилення палива [8, с. 9].

Ультразвукові хвилі успішно використовувалися для тестування та аналізу рідин. Визначення густини, складу та температури рідин здійснювалося на основі швидкості звуку. Крім того, повідомлялося про ефективне застосування ультразвукового методу, який використовує швидкість звуку та коефіцієнт ослаблення, для характеристики різних видів харчових олій.

Було розроблено нову плату на основі карти розробки TDC1000-C2000EVM, ця карта може генерувати ультразвукові хвилі через підключений п'єзодатчик і може виявляти відбиття цих генерованих хвиль (рис. 5) [2, с. 5]. Обраний датчик працює на частоті 1 МГц і належить до ультразвукових датчиків закритого типу. Хоча для ультразвукових застосувань можуть використовуватися частоти в межах від 1 до 1000 МГц, частота 1 МГц є достатньою для вимірювання параметрів у рідинах. Для визначення параметрів у різних рідинах ультразвуковий датчик був встановлений у спеціальному слоті та підключений до плати датчика. Далі всі досліджувані рідини послідовно поміщали у вимірювальну посудину для проведення необхідних вимірювань. У цьому дослідженні як зразки використовували бензин, дизельне паливо, етанол і воду.

Для зв'язку з датчиком слід дотримуватися визначеної схеми потоку повідомлень і передавати дані згідно з протоколом датчика. У процесі вимірювань модуль спочатку підключається до датчика температури, після чого виконується вимірювання температури. Отримані температурні дані використовуються для розрахунку середнього значення, а далі розпочинається збирання даних з ультразвукового датчика. Ультразвукові дані фіксуються в режимі реального часу, і після певного

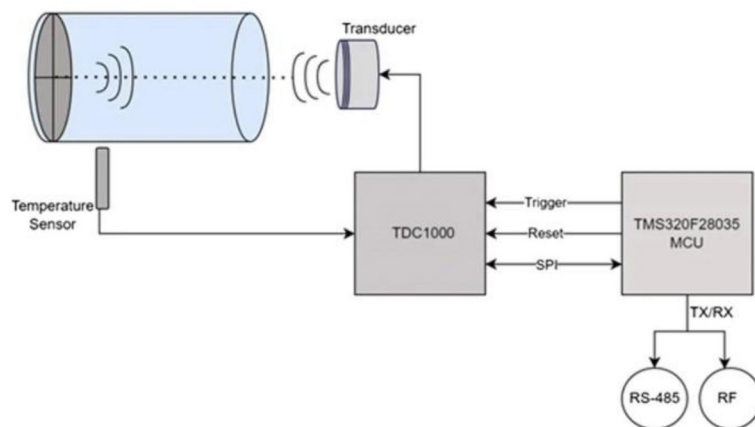


Рис. 5. Схема приладу на основі ультразвукового датчика

періоду часу визначається їхнє середнє значення, що дозволяє отримати інформацію про температуру та часові характеристики зразка.

Усі зразки для вимірювань тестували в мірній посудині об'ємом 500 мл. Спочатку вимірювання проводили при кімнатній температурі, а потім експериментальну установку розміщували в спеціальну тестову камеру з можливістю регулювання температури. Це дозволило здійснювати ультразвукові вимірювання параметрів бензину, дизельного палива, етанолу та води в діапазоні температур від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Кожен зразок використовували лише один раз, оскільки повторне застосування могло спричинити хімічну деградацію через вплив екстремальних температур, що могло б вплинути на точність наступних вимірювань. Тому для кожного зразка проводилося лише одне випробування.

Серед усіх методів оцінки якості дизельного палива діелектричний метод заслуговує на особливу увагу. Діелектричні датчики виявляють зміни навколишнього середовища шляхом аналізу змін електричних властивостей. Для визначення коефіцієнта пропускання в діапазонах низьких, середніх і високих частот застосовуються різні методи та схеми. Важливим аспектом є врахування явищ поляризації електродів на низьких частотах, оскільки частота залежить від природи та електропровідності досліджуваного матеріалу.

Вимірювання здійснювали за допомогою діелектричного датчика, оснащеного відповідною електронною картою. Датчик працює через протокол RS485 зі швидкістю 9600 біт/с і реагує на різні команди. Вбудований температурний сенсор надає інформацію про температуру, а завдяки спеціальній конструкції пристрою отримуються дані щодо діелектричної проникності речовин у каналах. Дослідження проводили на зразках бензину,

дизельного палива, етанолу та води. Для більшої точності отримані результати порівнювали з ультразвуковими вимірюваннями.

Діелектричний датчик помістили в випробувальну посудину, де мали вимірювати зразки, а потім послідовно виміряли діелектричні проникності зразків рідин, таких як бензин, дизельне паливо, етанол і вода. Вимірювання проводили при кімнатній температурі, а додаткові вимірювання проводили, змінюючи температуру навколишнього середовища від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Під час випробування в холодильній камері через деякий час спостерігалися порушення рідкої форми дизельного палива.

Цей тест проводився з використанням автомобільного палива, що містить певну присадку. Такі присадки, як етанол, є речовинами, спрямованими на підвищення ефективності палива. У результаті випробувань, проведених з високими концентраціями присадок, зміни діелектричної проникності дизельного та бензинового палива в обох типах палива діелектричні проникності зменшуються зі зниженням температури. Незважаючи на низьку розчинність води в дизельному паливі та низьку процедур, розроблених і необхідних стандартами, вміст води в паливі все одно може перевищувати допустиме значення [10, с. 4].

Висновки. Мікроелектронні методи аналізу дозволяють підвищити точність і швидкість контролю якості дизельного палива. Ці методи дають змогу оперативно виявляти відхилення у складі пального, що особливо важливо для забезпечення відповідності нормативним стандартам. Найперспективнішими є спектрометричні, діелектричні та акустичні методи. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення інтегрованих систем моніторингу, які поєднуюватимуть кілька методів для підвищення точності аналізу.

Список літератури:

1. L. Monteiro, P. Zoio, B. Carvalho. Quality Monitoring of Biodiesel and Diesel/Biodiesel Blends: A Comparison between Benchtop FT-NIR versus a Portable Miniaturized NIR Spectroscopic Analysis. *Scientific journal Processes* Volume 11, Number 4, 2023. – pp. 1–16. ISSN: 2227-9717 <https://doi.org/10.3390/pr11041071>
2. M. Patlak, M. Cuncas, U. Taskiran. The Innovative Approach to Real-Time Detection of Fuel Types Based on Ultrasonic Sensor and Machine Learning. *Arabian journal for Science and Engineering* Volume 49, pages 16571–16591, 2024. ISSN: 2191-4281 <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09092-5>
3. R. Costa-Felix, M. Figueiredo, A. Alvarenga. An ultrasonic method to appraise diesel and biodiesel blends. *Scientific journal Fuel* Volume 227, Number 1, 2018. – pp. 1–4. ISSN: 1873-7153 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.077>
4. M. Borecki, M. Geca, L. Zan. Multiparametric Methods for Rapid Classification of Diesel Fuel Quality Used in Automotive Engine Systems. *Scientific journal Energies* Volume 17, Number 16, 2024. – pp. 1–42. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en17164189>
5. M. Borecki, P. Prus, M. Korwin-Pawłowski. Capillary Sensor with Disposable Optrode for Diesel Fuel Quality Testing. *Scientific journal Sensors* Volume 19, Number 9, 2019. – pp. 1–18. ISSN: 1424-8220 <https://doi.org/10.3390/s19091980>

6. N. Mengistu, M. Mekonen, Y. Ayalew. Experimental investigation on diesel engine performance and emission characteristics using waste cooking oil blended with diesel as biodiesel fuel. Scientific journal Discover Energy Volume 45, Number 26, 2024. – pp. 1–18. ISSN: 2730-7719
7. A. Riaz, M. R. Mohamed, M. Sarker. Review on Comparison of Different Energy Storage Technologies Used in Micro-Energy Harvesting, WSNs, Low-Cost Microelectronic Devices: Challenges and Recommendations. Scientific journal Sensors Volume 21, Number 15, 2021. – pp. 1–33. ISSN: 1424-8220 <https://doi.org/10.3390/s21155041>
8. K. Poyadji, M. Stylianou, A. Agapiou. Determination of Quality Properties of Low-Grade Biodiesel and Its Heating Oil Blends. Scientific journal Environments Volume 5, Number 9, 2018. – pp. 1–16. ISSN: 2076-3298 <https://doi.org/10.3390/environments5090096>
9. J. Matijošius, O. Orynycz, S. Kovbasenko. Testing the Indicators of Diesel Vehicles Operating on Diesel Oil and Diesel Biofuel. Scientific journal Energies Volume 15, Number 24, 2022. – pp. 1–10. 1996–1073 <https://doi.org/10.3390/en15249263>
10. Ł. Macioszek, D. Sobczyński. Moisture Content Assessment of Commercially Available Diesel Fuel Using Impedance Spectroscopy. Scientific journal Energies Volume 17, Number 8, 2024. – pp. 1–17. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en17081903>
11. P. Łagowski, G. Wcisło, D. Kurczyński. Study of Combustion Process Parameters in a Diesel Engine Powered by Biodiesel from Waste of Animal Origin. Scientific journal Energies Volume 17, Number 23, 2024. – pp. 1–19. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en17235857>
12. L. Chybowski, M. Szczepanek, T. Pusty. Evaluation of the Ignition Properties of Fuels Based on Oil Diesel Fuel with the Addition of Pyrolytic Oil from Tires. Scientific journal Energies Volume 18, Number 4, 2025. – pp. 1–12. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en18040860>
13. J. Ziółkowski, M. Oszczypała, J. Małachowski. Use of Artificial Neural Networks to Predict Fuel Consumption on the Basis of Technical Parameters of Vehicles. Scientific journal Energies Volume 14, Number 9, 2021. – pp. 1–23. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en14092639>
14. F. Delussu, F. Imran, C. Mattia. Fuel Prediction and Reduction in Public Transportation by Sensor Monitoring and Bayesian Networks. Scientific journal Sensors Volume 21, Number 14, 2021. – pp. 1–27. ISSN: 1424-8220 <https://doi.org/10.3390/s21144733>
15. M. Rykała, M. Grzelak, Ł. Rykała. Modeling Vehicle Fuel Consumption Using a Low-Cost OBD-II Interface. Scientific journal Energies Volume 16, Number 21, 2023. – pp. 1–23. ISSN: 1996-1073 <https://doi.org/10.3390/en16217266>

Kochmala V. B., Pinaev B. O., Shpirko O. A. ANALYSIS OF THE USE OF MICROELECTRONIC DEVICES FOR DETERMINING THE TYPE AND QUALITY OF DIESEL FUEL

The modern development of the fuel and energy sector requires the implementation of advanced technologies for fuel quality control. It has been established that the growing demands for environmental sustainability, efficiency, and safety in fuel resource utilization necessitate the improvement of methods for analyzing fuel characteristics.

The article explores and defines one of the key directions in this field – the implementation of microelectronic devices for the rapid determination of the physicochemical properties of fuel. These devices enable quick and accurate assessment of composition, density, viscosity, octane and cetane numbers, as well as the presence of impurities and contaminants. It has been proven that the application of sensor technologies and spectroscopic analysis methods enhances the reliability of results and minimizes human error.

The study examines how artificial intelligence and machine learning open new opportunities for predicting fuel quality based on large datasets. Algorithms analyze information from sensors, modeling changes in characteristics under various influencing factors. This allows for the timely detection of deviations from regulatory standards and prevents the use of substandard fuel.

Automated quality control systems are also becoming increasingly popular among oil refining enterprises and fuel stations. It has been established that these devices enable real-time monitoring of fuel composition and properties, ensuring compliance with international standards such as ISO and Euro-6. Modern microelectronic fuel quality control systems are integrated into the Internet of Things (IoT) networks, facilitating centralized data collection and analysis. This not only allows for prompt responses to detected deviations but also enables the prediction of potential issues at early stages.

The article outlines methods for analyzing the physicochemical characteristics of diesel fuel using microelectronic devices. A review of modern approaches to measuring fuel parameters has been conducted, identifying the advantages and limitations of various methods. Recommendations for improving the diesel fuel quality assessment system have been proposed.

Key words: diesel fuel, quality control, microelectronic devices, cetane number, fuel analysis, fuel efficiency.