

**Штуць А. А.**

к.т.н., доцент

Сафтьук Я.В.

асистент

**Вінницький національний
аграрний університет****Shtuts A.**Candidate of Technical Sciences
Associate Professor**Saftiuk Y.**

assistant

**Vinnysia National
Agrarian University****УДК 665.753.4:681.586****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-2-9****ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ ДІЕЛЕКТРИЧНОГО
МЕТОДУ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ
ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК У
ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ**

У статті викладено програму та методику експериментальних досліджень діелектричного (ємнісного) методу експрес-контролю вмісту шкідливих домішок у дизельному паливі. Обґрунтовано актуальність розроблення доступних вбудовуваних засобів оперативного контролю якості палива безпосередньо в паливній магістралі мобільної сільськогосподарської техніки. Розглянуто принцип діелектричного методу, що ґрунтується на залежності електричної ємності вимірювальної комірки від діелектричної проникності палива, яка змінюється за наявності полярних домішок – води, сірковмісних сполук та продуктів старіння палива. Описано конструкцію розробленого лабораторного експериментального стенду, що відтворює умови проточного руху палива та містить паливопідкачувальний насос, манометр, діелектричний датчик, турбінний витратомір, мікроконтролерний блок перетворення й індикації сигналу та регульоване джерело живлення. Наведено методику приготування модельних проб дизельного палива із заданим вмістом домішок методом добавок із гравіметричним дозуванням, зокрема із застосуванням маточного розчину для відтворення малих концентрацій сірковмісних сполук. Обґрунтовано вибір керованих факторів та план багатofакторного експерименту, що передбачає варіювання ступеня забрудненості палива й температури. Викладено методику статистичної обробки експериментальних даних, оцінювання похибок вимірювання та перевірки адекватності регресійної моделі за критеріями Фішера і Стьюдента. Визначено перелік метрологічних характеристик засобу, що підлягають експериментальному визначенню: чутливість, межу виявлення, діапазон лінійності, збіжність та відтворюваність показань. Враховано вплив екологічних стандартів на вимоги до якості нафтопродуктів та зв'язок стану палива з енергоефективністю системи живлення двигуна. Розглянуто алгоритм керування мікроконтролерного блока, що реалізує температурну компенсацію та порогову індикацію, а також вплив режиму течії (турбулентності) палива у вимірювальній комірці на контрольовані параметри. Запропонована програма та методика забезпечують отримання достовірних експериментальних даних для перевірки адекватності розробленої математичної моделі та обґрунтування працездатності діелектричного засобу експрес-контролю якості дизельного палива.

Ключові слова: нафтопродукти, сірка, вода, шкідливі домішки, екологічні стандарти, система живлення, паливна система, суміш, алгоритм керування, енергоефективність, турбулентність, параметри.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДІЕЛЕКТРИЧНОГО МЕТОДУ ЕКСПРЕС-
КОНТРОЛЬ ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ
ДОМІШОК У ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ ©
2026 by Штуць А. А., Сафтьук Я.В. ліцензовано
згідно з СС BY 4.0



Вступ. Надійність і ресурс двигунів внутрішнього згоряння мобільної сільськогосподарської та транспортної техніки значною мірою визначаються якістю використовуваного дизельного палива. Наявність у паливі шкідливих домішок – води, сірковмісних сполук, механічних частинок та продуктів старіння – спричиняє корозію елементів паливної апаратури, абразивне зношування прецизійних пар, погіршення процесу згоряння та передчасний вихід з ладу систем нейтралізації відпрацьованих газів. В умовах розгалуженої мережі постачання та зберігання палива якість продукту, що надходить до споживача, не завжди відповідає нормативним вимогам, тому оперативний контроль стану палива безпосередньо в умовах експлуатації є актуальним практичним завданням.

Традиційні лабораторні методи визначення показників якості палива (рентгенофлуоресцентний аналіз, ультрафіолетова флуоресценція, титрування та інші) забезпечують високу точність, однак потребують дорогого стаціонарного обладнання, кваліфікованого персоналу та значного часу на проведення аналізу, що унеможливує їх застосування для оперативного контролю в польових умовах. Це зумовлює потребу в розробленні доступних вбудовуваних засобів експрес-контролю, здатних оцінювати стан палива в реальному часі безпосередньо в паливній магістралі.

Якість нафтопродуктів безпосередньо пов'язана з паливною економічністю та енергоефективністю системи живлення двигуна, а також із дотриманням екологічних стандартів щодо викидів, які встановлюють жорсткі обмеження, зокрема на вміст сірки. Тому оперативний контроль якості палива є важливим чинником як надійності техніки, так і її екологічної безпеки.

Постановка проблеми. Перспективним для побудови таких засобів є діелектричний (ємнісний) метод, що ґрунтується на залежності електричної ємності вимірювальної комірки від діелектричної проникності палива. Полярні домішки (передусім вода та сірковмісні сполуки) суттєво змінюють інтегральну діелектричну проникність середовища, що дозволяє реєструвати ступінь забрудненості палива за зміною ємності. Попри теоретичну обґрунтованість методу, для підтвердження працездатності розробленого засобу та перевірки адекватності його математичної моделі необхідна науково обґрунтована програма й методика експериментальних досліджень, яка забезпечує відтворюваність умов та метрологічну достовірність результатів. Розроблення такої методики і є предметом цієї статті.

Дослідження пов'язане із завданнями підвищення надійності й паливної економічності мобільної техніки агропромислового комплексу, а також із загальнодержавними програмами забезпечення енергоефективності та сталого розвитку АПК. Створення доступних засобів контролю

якості палива сприяє зниженню експлуатаційних витрат, подовженню ресурсу двигунів та зменшенню екологічного навантаження від використання неякісного палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання контролю якості нафтового палива та біопалива розглянуто в роботах вітчизняних дослідників. Зокрема, у праці Бурлаки С. А. та співавторів досліджено системи живлення двигуна з паливним змішувачем та адаптивний алгоритм керування складом паливної суміші [1], а також суміжні дослідження з очищення робочих середовищ від забруднень [15]; у роботах Рябошапки В.Б. проаналізовано сучасний стан і перспективи переведення дизельних двигунів на біодизельне паливо [2] та проблеми виробництва біодизельного палива [3]. Питання обґрунтування складу енергозберігаючих та мехатронних систем для технічних засобів АПК висвітлено у працях Алієва Е. Б., Яропуда В. М. [4].

Діелектричні та ємнісні методи контролю стану рідин набули широкого застосування. У роботах закордонних дослідників обґрунтовано конструкції ємнісних сенсорів для оцінювання якості мастил та палива за зміною відносної діелектричної проникності [5, 6]. Експериментально підтверджено лінійну залежність діелектричної проникності дизельного палива та його сумішей з біодизелем від складу й температури [7]. Окремо досліджено можливість безпосереднього визначення вмісту сірковмісних сполук діелектричним відгуком: на мікрофлюїдному сенсорі показано здатність реєструвати концентрацію тіофену як типової сірковмісної сполуки [8]. Огляд методів вимірювання ємності та схем перетворення «ємність – цифра» наведено в роботі [9], що є основою для побудови мікроконтролерного вимірювального вузла.

Нормативні вимоги до вмісту сірки та методи її визначення регламентовано стандартами [10, 11, 12]. Питання планування багатофакторного експерименту та статистичної обробки результатів ґрунтовно викладено у спеціалізованій літературі [13, 14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний обсяг досліджень діелектричних методів, більшість відомих рішень орієнтовано на вимірювання окремих параметрів (рівня, обводнення, складу сумішей) у стаціонарних або лабораторних умовах. Недостатньо опрацьованою залишається методика експериментального дослідження вбудовуваного засобу експрес-контролю, призначеного для оцінювання інтегрального ступеня забрудненості дизельного палива полярними домішками в умовах проточного руху, а також методика приготування модельних проб із метрологічно обґрунтованим дозуванням домішок. Саме цим питанням присвячено статтю.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розроблення програми та методики

експериментальних досліджень діелектричного методу експрес-контролю вмісту шкідливих домішок у дизельному паливі, що забезпечують перевірку адекватності математичної моделі та достовірне визначення характеристик засобу. Для досягнення мети поставлено такі завдання: обґрунтувати склад експериментальної установки; розробити методику приготування модельних проб палива із заданим вмістом домішок; обґрунтувати вибір керованих факторів та план багатфакторного експерименту; викласти методику статистичної обробки даних і оцінювання похибок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програма експериментальних досліджень охоплює такі етапи: підготовку та налагодження експериментальної установки й калібрування вимірювальних засобів; приготування базового (умовно чистого) зразка палива та серії модельних проб із різним вмістом домішок; проведення серії вимірювань вихідного сигналу засобу за різного ступеня забрудненості та температури палива; повторні вимірювання для оцінювання збіжності; статистичну обробку даних, побудову градуальної залежності та перевірку адекватності математичної моделі.

Експериментальна установка. Для проведення досліджень розроблено лабораторний стенд (рис. 1), що відтворює умови проточного руху палива в магістралі. Складові стенду закріплено на монтажному щиті, що забезпечує жорсткість конструкції та повторюваність взаємного розташування елементів.

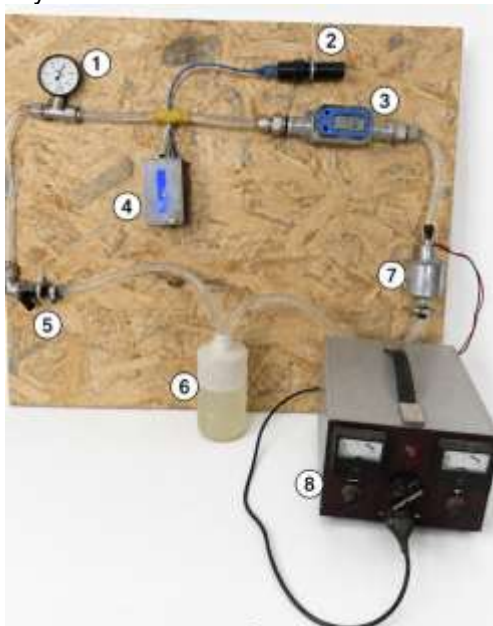


Рис. 1. Експериментальний стенд для дослідження параметрів паливної системи: 1 – манометр; 2 – джерело живлення діелектричного датчика; 3 – витратомір; 4 – розроблений діелектричний датчик; 5 – кран для створення тиску в системі; 6 – паливний бачок; 7 – бензонасос; 8 – пристрій керування бензонасосом.

Принцип роботи стенда полягає в тому, що паливо з паливного бачка за допомогою бензонасоса подається в трубопровідну магістраль і проходить через витратомір та розроблений діелектричний датчик. Витратомір забезпечує контроль витрати палива, а діелектричний датчик реєструє зміну електрофізичних властивостей паливної суміші. Тиск у системі створюється шляхом часткового перекриття потоку краном і контролюється за допомогою манометра. Пристрій керування бензонасосом дає змогу регулювати режим подачі палива, а окреме джерело живлення забезпечує стабільну роботу діелектричного датчика. Така схема дозволяє проводити порівняльні дослідження чистого палива та паливних сумішей із заданою кількістю домішок, оцінюючи реакцію датчика на зміну складу досліджуваного середовища.

Перетворення та обробку сигналу виконує мікроконтролерний блок на базі платформи Arduino, що вимірює ємність комірки, здійснює температурну компенсацію, цифрову фільтрацію та порівняння з пороговими значеннями, виводячи результат на рідкокристалічний дисплей і світлову індикацію за принципом «придатне / межа / таке, що не відповідає нормам». Загальний вигляд виготовленого вимірювального блока наведено на рис. 2.



Рис. 2. Мікроконтролерний вимірювальний блок засобу експрес-контролю

Реалізований у блоці алгоритм керування забезпечує приведення вимірної ємності до опорної температури, усереднення та формування інтегрального показника стану палива. Слід враховувати, що режим течії палива у вимірювальній комірці (ламінальний або турбулентний) впливає на стабільність показань: турбулентність та наявність газових бульбашок спричиняють короткочасні відхилення сигналу, які усуваються цифровою

фільтрацією та дотриманням сталого режиму витрати під час вимірювань.

Методика приготування модельних проб. Як базовий (умовно чистий) робочий зразок використано товарне дизельне паливо, що відповідає вимогам ДСТУ. Модельні проби із заданим вмістом домішок готують методом добавок із гравіметричним дозуванням: до відомої маси базового палива вносять точно зважену масу домішки. Масову частку домішки у пробі визначають за формулою

$$C_i = (m_d / m_n) \cdot 10^6, \text{ ppm}, \quad (1)$$

де m_d – маса внесеної домішки, г; m_n – загальна маса проби палива, г.



Рис. 3. Приготування модельних проб палива: магнітна мішалка з мірним стаканом, модельні домішки (дибензотіофен, вода, механічні домішки), шприц-дозатор та аналітичні ваги

Для відтворення малих концентрацій сірковмісних сполук (на рівні ppm), за яких пряме

зважування неможливе через велику похибку, застосовують метод маточного розчину. Спочатку готують концентрований розчин модельної сполуки (дибензотіофену) у паливі з точно відомою концентрацією, після чого робочі проби отримують розбавленням – внесенням точно відміряних порцій маточного розчину до базового палива. Однорідність проб забезпечують перемішуванням за допомогою магнітної мішалки до повного розчинення; контроль маси здійснюють на аналітичних вагах. Обладнання та матеріали для приготування модельних проб наведено на рис. 3.

Принцип вимірювання. Інформативним параметром засобу є ємність вимірювальної комірки, що для плоскопаралельної конфігурації електродів визначається залежністю

$$C = \epsilon_0 \epsilon \cdot S / \delta, \quad (2)$$

де ϵ_0 – електрична стала, Ф/м; ϵ – відносна діелектрична проникність палива; S – площа електродів, м²; δ – відстань між електродами, м.

Оскільки діелектрична проникність палива залежить від температури, для виключення її впливу передбачено температурну компенсацію виміряного значення за залежністю

$$C_0 = C_{\text{вим}} / [1 + \alpha (T - T_0)], \quad (3)$$

де $C_{\text{вим}}$ – виміряне значення ємності; α – температурний коефіцієнт; T , T_0 – поточна та опорна температури палива, °С.

Планування багатофакторного експерименту. Як основний керований фактор прийнято ступінь забрудненості палива (вміст домішки), як додатковий – температуру палива. Рівні варіювання факторів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори та рівні їх варіювання

Фактор	Познач.	Нижній рівень	Основний рівень	Верхній рівень
Вміст води, %	X1	0	0,5	1,0
Вміст сірки (DBT), ppm	X2	0	250	500
Температура палива, °С	X3	10	25	40

Експеримент реалізують за планом повного (або дробового) факторного експерименту; за результатами будують регресійну модель залежності вихідного сигналу засобу від факторів у вигляді

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j, \quad (4)$$

де y – вихідний сигнал засобу (ємність); b_0 , b_i , b_{ij} – коефіцієнти регресії; x_i – кодовані значення факторів.

Методика статистичної обробки. Кожен дослід повторюють не менше трьох разів. За

результатами повторних вимірювань визначають середнє арифметичне значення

$$\bar{x} = (1/n) \sum x_i, \quad (5)$$

середньоквадратичне відхилення

$$S = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]} \quad (6)$$

та довірчий інтервал випадкової похибки

$$\Delta x = t_{\alpha, f} \cdot S / \sqrt{n}, \quad (7)$$

де n – кількість повторень; $t_{\alpha, f}$ – коефіцієнт Стьюдента для рівня значущості α та числа ступенів вільності f .

Адекватність отриманої регресійної моделі перевіряють за критерієм Фішера



$$F = S_{ад}^2 / S_{в}^2, \quad (8)$$

де $S_{ад}^2$ – дисперсія адекватності; $S_{в}^2$ – дисперсія відтворюваності. Відносну похибку вимірювання оцінюють як

$$\delta = (\Delta x / \bar{x}) \cdot 100 \%. \quad (9)$$

Метрологічні характеристики засобу. На основі отриманих даних визначають чутливість засобу як відношення приросту вихідного сигналу до приросту вмісту домішки

$$K = \Delta C / \Delta X, \quad (10)$$

а також межу виявлення, діапазон лінійності, збіжність і відтворюваність показань та час відгуку. Сукупність цих характеристик дає змогу обґрунтувати порогові значення індикації стану палива та підтвердити придатність засобу до експрес-контролю.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень діелектричного методу експрес-контролю вмісту шкідливих домішок у дизельному паливі, що охоплюють підготовку установки, приготування проб, проведення вимірювань та статистичну обробку даних.

2. Обґрунтовано склад лабораторного експериментального стенду, що відтворює умови проточного руху палива та забезпечує контрольоване вимірювання вихідного сигналу засобу.

3. Запропоновано методику приготування модельних проб методом добавок із гравіметричним дозуванням та застосуванням маточного розчину, що забезпечує метрологічну прив'язку заданих концентрацій домішок.

4. Обґрунтовано вибір керованих факторів і план багатофакторного експерименту та викладено методику статистичної обробки даних з перевіркою адекватності моделі за критеріями Фішера і Стьюдента.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні експериментів за розробленою методикою, побудові градувальних залежностей для різних типів домішок, дослідженні перехресної чутливості засобу та зіставленні експериментальних результатів із теоретичною моделлю.

Список використаних джерел

1. Бурлака С. А., Ярощук Р. О., Митко М., Борецька Т. Оптимізація споживання біопалива шляхом розроблення адаптивного алгоритму керування. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 1 (128). С. 37–44. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-4>

2. Рябошапка В. Сучасний стан і перспективи наукових досліджень переведення дизельних двигунів на біодизельне паливо.

Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2023. № 4 (123). С. 97–105. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-4-11>

3. Рябошапка В., Івацько В. Перспективи та проблеми виробництва біодизельного палива. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 1 (128). С. 107–115. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-12>

4. Алієв Е. Б., Яропуд В. М., Білоус І. М. Обґрунтування складу енергозберігаючої системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 2 (97). С. 129–137. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-2-14>

5. Raadni S. Grid-type capacitance sensor for lubricant contamination measurement. *Wear*. 2019. Vol. 426–427. P. 1554–1560. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.073>

6. Dielectric sensor for the determination of oil quality based on relative permittivity. *Sensors*. 2020. Vol. 20, № 21. 6248. <https://doi.org/10.3390/s20216248>

7. Corach J., Sorichetti P. A., Romano S. D. Permittivity of diesel fossil fuel and blends with biodiesel. *Fuel*. 2016. Vol. 177. P. 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.018>

8. Kunicki P. та ін. Microfluidic capacitive sensor for sulfur compound detection in fuel. *AIP Advances*. 2020. Vol. 10, № 2. 025006. <https://doi.org/10.1063/1.5128475>

9. Review of capacitance measurement circuits and techniques. *Measurement*. 2021. Vol. 174. 108993. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.108993>

10. ASTM D5453. Standard Test Method for Determination of Total Sulfur by Ultraviolet Fluorescence. West Conshohocken : ASTM International, 2019. 12 p.

11. ASTM D4294. Standard Test Method for Sulfur by Energy-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. West Conshohocken : ASTM International, 2021. 8 p.

12. ДСТУ EN 590:2018. Паливо дизельне. Технічні вимоги та методи контролювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 24 с.

13. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов. Київ : Наукова думка, 2017. 280 с.

14. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оцінювання похибок результатів вимірювань. Київ : Освіта, 2018. 304 с.

15. Бурлака С. А., Дацюк Д., Панасенко В. Оптимізація компактних TiO_2 фотокаталізаторів для очищення води в агропромислових операціях. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 1 (128). С. 97–106. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-11>



References

1. Burlaka, S. A., Yaroshchuk, R. O., Mytko, M., & Boretska, T. (2025). Optimization biofuel consumption through the development of an adaptive control algorithm. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 1(128), 37–44. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-4> [in Ukrainian].
2. Riaboshapka, V. (2023). Current status and prospects of scientific research on the transition of diesel engines to biodiesel fuel. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 4(123), 97–105. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-4-11> [in Ukrainian].
3. Riaboshapka, V., & Ivatsko, V. (2025). Prospects and problems of biodiesel fuel production. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 1(128), 107–115. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-12> [in Ukrainian].
4. Aliev, E. B., Yaropud, V. M., & Bilous, I. M. (2020). Obgruntuvannya skladu enerhozberihaiuchoi systemy. *Vibrations in Engineering and Technology*, (2), 129–137. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-2-14> [in Ukrainian].
5. Raadni, S. (2019). Grid-type capacitance sensor for lubricant contamination measurement. *Wear*, 426–427, 1554–1560. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.073> [in English].
6. Sensors. (2020). Dielectric sensor for the determination of oil quality based on relative permittivity. *Sensors*, 20(21), 6248. <https://doi.org/10.3390/s20216248> [in English].
7. Corach, J., Sorichetti, P. A., & Romano, S. D. (2016). Permittivity of diesel fossil fuel and blends with biodiesel. *Fuel*, 177, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.018> [in English].
8. Kunicki, P., et al. (2020). Microfluidic capacitive sensor for sulfur compound detection in fuel. *AIP Advances*, 10(2), 025006. <https://doi.org/10.1063/1.5128475> [in English].
9. Measurement. (2021). Review of capacitance measurement circuits and techniques. *Measurement*, 174, 108993. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.108993> [in English].
10. ASTM International. (2019). ASTM D5453. Standard Test Method for Determination of Total Sulfur by Ultraviolet Fluorescence. West Conshohocken. [in English].
11. ASTM International. (2021). ASTM D4294. Standard Test Method for Sulfur by Energy-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. West Conshohocken. [in English].
12. UkrNDNTs. (2018). DSTU EN 590:2018. Palyvo dyzelne. Tekhnichni vymohy ta metody kontroliuvannya. Kyiv. [in Ukrainian].

13. Adler, Yu. P., Markova, E. V., & Hranovskyi, Yu. V. (2017). Planuvannya eksperymentu pry poshuku optimalnykh umov. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].

14. Novytskyi, P. V., & Zohraf, I. A. (2018). Otsiniuvannya pokhybok rezultativ vymiriuvan. Kyiv: Osvita. [in Ukrainian].

15. Burlaka, S. A., Datsiuk, D., & Panasenko, V. (2025). Optimization of compact TiO₂ photocatalysts for water purification in agricultural operations. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 1(128), 97–106. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-1-11> [in Ukrainian].

**PROGRAM AND METHODOLOGY OF
EXPERIMENTAL STUDIES OF THE
DIELECTRIC METHOD FOR EXPRESS
CONTROL OF HARMFUL IMPURITIES
CONTENT IN DIESEL FUEL**

The article presents the program and methodology of experimental studies of the dielectric (capacitive) method for express control of harmful impurities content in diesel fuel. The relevance of developing affordable embedded means of operational fuel-quality monitoring directly in the fuel line of mobile agricultural machinery is substantiated. The principle of the dielectric method is considered, based on the dependence of the measuring cell capacitance on the permittivity of the fuel, which changes in the presence of polar impurities – water, sulfur compounds and fuel ageing products. The design of the developed laboratory experimental stand is described, which reproduces the conditions of fuel flow and includes a fuel pump, a manometer, a dielectric sensor, a turbine flow meter, a microcontroller signal-conversion and indication unit, and a regulated power supply. A methodology for preparing model diesel-fuel samples with a specified impurity content is given, using the standard-addition method with gravimetric dosing, including the application of a stock solution to reproduce low concentrations of sulfur compounds. The choice of controlled factors and the multifactor experiment design, providing variation of the fuel contamination degree and temperature, are substantiated. The methodology of statistical processing of experimental data, estimation of measurement errors and verification of the regression-model adequacy by the Fisher and Student criteria is presented. The list of metrological characteristics to be determined experimentally is defined: sensitivity, detection limit, linearity range, repeatability and reproducibility of readings. The influence of environmental standards on the quality requirements for petroleum products and the relationship between fuel condition and the energy efficiency of the engine power supply system are



taken into account. The control algorithm of the microcontroller unit, implementing temperature compensation and threshold indication, as well as the effect of the fuel flow regime (turbulence) in the measuring cell on the controlled parameters, are considered. The proposed program and methodology ensure obtaining reliable experimental data to verify the adequacy of the

developed mathematical model and to substantiate the operability of the dielectric means of express control of diesel-fuel quality.

Keywords: petroleum products, sulfur, environmental standards, power supply system, fuel system, mixture, control algorithm, energy efficiency, turbulence, parameters

Відомості про авторів

Штуць Андрій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Сафтьок Ярослав Владиславович – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: groupyaruslav@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9730-7198>).

Shtuts Andrii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Saftiuk Yaroslav – Assistant at the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: groupyaruslav@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9730-7198>).

Стаття надійшла 30.04.2026

Стаття прийнята 12.05.2026

Опубліковано 28.05.2026