

УДК 621.436

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-3-3

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОПАЛИВА

Гулько Ірина Василівна, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

Iryna Gunko, Ph.D., Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

В'язкість палива залежить від його складу вуглеводнів. Рослинна олія вважається альтернативою дизельному паливу. Її висока в'язкість ускладнює розгляд його як комерційного палива для дизельних двигунів. Рослинна олія - це ліпіди, складні ефіри жирних кислот. Вони мають високу теплотворну здатність і містять прямі вуглеводневі ланцюги, що призводить до їх відносно високого цетанового числа. В'язкість і густина визначають процес випаровування та перемішування в двигуні, тому що вони впливають на форми та тип паливного факела, розмір утворених крапель та того, як вони надходять у камеру згоряння. Низька густина і в'язкість забезпечують краще впорскування палива; при збільшенні діаметра крапельки зменшуються її повне згоряння, тому збільшується питома витрата палива і збільшується димність вихлопних газів.

В'язкість палива впливає на подачу насоса і витік палива через зазор пар плунжерів. Зі зменшенням в'язкості збільшується кількість дизельного палива, що просочується між плунжером і втулкою, що призводить до зменшення подачі насоса. Переобладнання двигуна на паливо з меншою густиною та в'язкістю призведе до вигорання головки поршня, тому паливне обладнання потребує регулювання. Знос плунжерної пари залежить від в'язкості. Вона палива знаходиться в діапазоні 1,8- 7,0 мм²/с, що практично не впливає на довговічність сучасного високошвидкісного дизельного обладнання.

Розглянемо використання рослинної ріпакової олії як альтернативи дизельному паливу. Його в'язкість можна зменшити шляхом хімічного перетворення естерифікації з отриманням етилових ефірів. Коли сиру ріпакову олію нагріти до 80 °С, вона дасть значення в'язкості, подібне до значення комерційного дизельного палива. Змішувальна система буде мати робочу потужність, еквівалентну потужності дизельного двигуна при нагріванні до температури 40-50 °С.

Ключові слова: густина, в'язкість, моделювання, суміш, ріпакова олія, дизельний двигун.

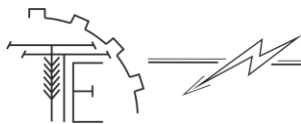
Рис .8. Літ. 6.

1. Постановка проблеми

Знизити в'язкість рослинної ріпакової олії можна механічним змішуванням з дизельним паливом. Кількісні співвідношення суміші, що визначають структурну будову різних модифікацій сумішей палива залежать від створюваної змішуванням конфігурації насичення - «вільного об'єму» для компонентів системи [1, 2]. При відсутності насичення частки матеріалу заповнюють менше 1/3 повного обсягу статистичного розподілу часток матеріалу. Остання умова (умова насичення) визначає кількісні межі застосування частинок без об'єднання (без коагуляції). При заповненні матеріалу більше 1/3 повного обсягу виникають умови сусідства частинок. Частинки коагулюють і створюють ланцюг. Аксіоми осередкової моделі в рамках якої було введено поняття «вільний обсяг», була спочатку запропонована для рідин і газів. Вільний обсяг і його фізико-механічний стан впливає на структурні та експлуатаційні властивості палива сумішей і їх застосування в дизельних двигунах. Тому при моделюванні потрібно враховувати, що між частинками є свобода руху і відсутність контактів однорідного матеріалу при кількості 36% обсягу добавки [3].

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Описуючи структури вуглеводнів, ми пов'язуємося з атомами, поєднуючи їх подумки в тому чи іншому порядку. Таке уявлення про реальних фізичних частинках називається модельним. Стан високомолекулярної системи дуже сильно впливає на його механічні, хімічні, термічні властивості та проникність. Багато властивостей визначаються структурними чинниками, такими як міжланцюгова взаємодія, молекулярна маса та стан вільного об'єму, який дозволяє частинкам перебувати в



кінетичному стані та визначати ефективну в'язкість системи [4, 5].

Межі модельних уявлень (узагальнень) не повинні заважати досліджуваним властивостями сприймаються як реальним молекулам, які свідомо не враховуються.

2. Мета дослідження

Імітаційним моделюванням системи паливної суміші дизельного палива (А) і ріпакової олії (В) можна оцінити критерії меж насичення і визначення значень кількісних добавок, що визначають нові властивості паливної суміші.

3. Виклад основного матеріалу

Масштабні співвідношення основного, базового матеріалу і додаткового дозволяють побачити можливі розташування частинок після механічного перемішування вуглеводневої альтернативної паливної суміші. На рис. 1, 2, 3, 4, 5 представлені модифікації альтернативного палива в станах механічного змішування 0 - компонента (А)_х і 1 - компонента (В)_{1-х}.

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| а | | | | | | | б | | | | | |

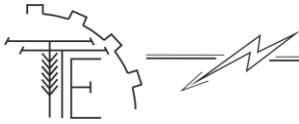
Рис. 1. Схема моделі компонентів паливної суміші у початковому стані:
а – дизельного палива; б – ріпакової олії

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| а | | | | | | | б | | | | | |

Рис. 2. Схема моделі компонентів паливної суміші дизельного палива та 10% ріпакової олії:
а – до перемішування; б – після перемішування

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| а | | | | | | | б | | | | | |

Рис. 3. Схема моделі компонентів паливної суміші дизельного палива та 20% ріпакової олії:
а – до перемішування; б – після перемішування



| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Рис. 4. Схема моделі компонентів паливної суміші дизельного палива та 30% ріпакової олії:
а – до перемішування; б – після перемішування

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Рис. 5. Схема моделі компонентів паливної суміші дизельного палива та 40% ріпакової олії:
а – до перемішування; б – після перемішування

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Рис. 6. Схема моделі компонентів паливної суміші дизельного палива та 50% ріпакової олії:
а – до перемішування; б – після перемішування

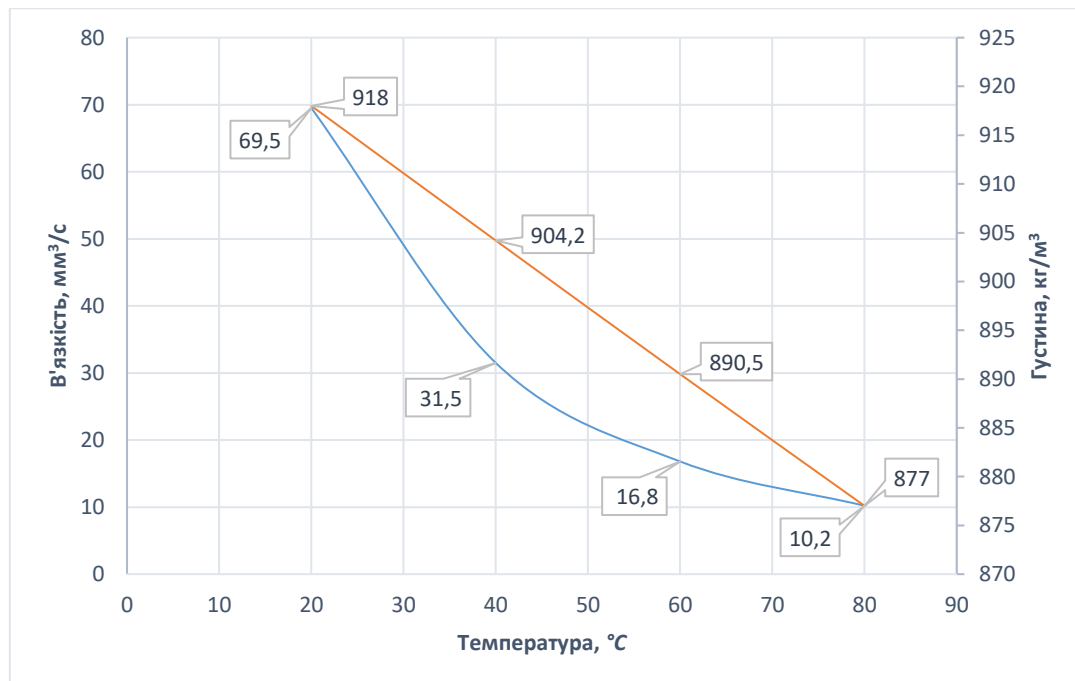
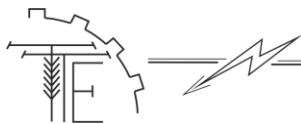


Рис. 7. Вплив температури на в'язкість та густина ріпакової олії



При додаванні 10% ріпакової олії у дизельне паливо після перемішування в суміші розподілені частки блоковані та ізольовані. Дисперсний стан частинок 20% суміші розподілений в обсязі без ймовірності коагуляції. Стан частинок 30% суміші – розподілений в обсязі з ймовірністю коагуляції в ланцюзі.

Структурні зв'язки молекул дизельного палива створюють довгі ланцюги, і екранізація дизельного палива в обсязі ріпакової олії знижується. Дисперсний стан частинок 50% суміші дизельного палива в ріпаковій олії після перемішування, розподіляються в обсязі з коагуляцією додаючого компонента, утворюючи ланцюги.

В'язкість ріпакової олії можна знижувати хімічним перетворенням трансестерифікацією, (заміщення тривалентних молекул гліцерину трьома одновалентними молекулами спирту) вийде метиловий ефір ріпакової олії (МЕРО). Як показують літературні дані, заміщення тривалентних молекул гліцерину за допомогою додавання 11% кількості метанолу або етанолу. На 1000 кг рослинної олії зазвичай додають 110 кг метилового або етилового спирту і отримують 1000 кг метилового або етилового ефіру і 110 кг гліцерину. Ріпакова олія набуває властивостей, вельми близьких до дизельного палива. Так в'язкість ріпакової олії при нормальних умовах після трансестерифікації досягає 5,1 мм²/с, мінімальне цетанове число 54 і нижча теплотворна здатність 34300 кДж/кг [6].

Досягнуті, позитивні якості пояснюються тим, що додавання метанолу (метил) і етанолу (етиленфіри) в порівнянні з базовою ріпаковою олією створюються кращі показники.

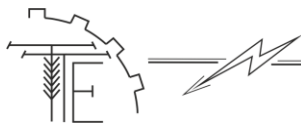
Фізико-хімічні показники рапсового масла і товарного дизельного палива при сталості заданих 20 ° С



Рис. 8. Фізико-хімічні показники суміші ріпакової олії та дизельного палива

До того ж при їх використанні на стінках деталей циліндр-поршневої групи не утворюють нагароутворення. Однак ефіри (особливо метілефіри) нестабільні (при низьких температурах утворюють кристали олійного ефіру) і тому вимагають частого контролю якості. До того ж вони взаємодіють з матеріалами деталей паливної системи. Ці обставини ускладнюють застосування трансестерифікації. Важливими характеристиками ріпакової олії є йодне число, що характеризує термічну стабільність та кислотність, що визначає корозійний знос деталей системи паливоподачі та ступінь на тепловиділення при згорянні.

При використанні ріпакової олії в якості моторного палива потрібно ввести в паливну систему двигуна спеціальні підігрівачі (теплообмінники), що забезпечують його локальний підігрів і, як наслідок, зниження в'язкості. Молекули вуглеводневих паливних сумішей складаються з атомів вуглецю і водню, з'єднаних силами хімічних зв'язків.



4. Висновки

Визначено нижні і верхні межі насичення складу вуглеводневої суміші ріпакової олії та дизельного палива з інтервалом швидкої зміни властивостей фізико-хімічних характеристик. Інтервал нижньої межі починається від 0 і закінчується 33% часткою, що визначає насичення з швидкою зміною властивостей суміші. Інтервал верхньої межі насичення починається від 76% і закінчується 100%, тобто повною заміною суміші на паливо з властивостями початкового стану (дизельного палива).

Список використаних джерел

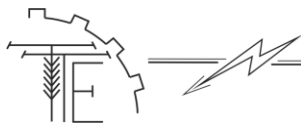
1. Калетник Г. М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник. К: Аграрна наука, 2010. 327 с.
2. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. *Машинобудування та транспорт*. 2018. № 2. С. 1–13.
3. Гунько І. В., Бурлака С. А., Єленич А. П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.
4. British Petroleum. Statistical Review of World Energy. Approximate conversion factors. URL : <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-approximate-conversion-factors.pdf> (дата звернення 12.09.2018).
5. Mahmudul H. M., Hagos F. Y., Mamat R., Adam A.A., Ishak W.F.W., Alenezi R. Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews*. 2017. № 72. Pp 497–509.
6. Малаков О. І., Бурлака С. А., Михальова Ю. О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. № 5 (277). С. 30–33

References

- [1] Kaletnik, H.M. (2010). *Biopalyva: efektyvnist' yikh vyrobnytstva ta spozhyvannya v APK Ukrainy: navch. posibnyk*. K: Ahrarna nauka. [In Ukrainian].
- [2] Mel'nyk, V. M., Voytsekhivs'ka, T. Y., Sumer, A. R. (2018) Doslidzhennya osnovnykh tekhniko-ekspluatatsiynykh kharakterystyk al'ternatyvnykh vydiv palyva dlya dyzel'nykh DVZ. *Mashynobuduvannya ta transport*. № 2. 1-13. [In Ukrainian].
- [3] Gunko, I.V., Burlaka, S.A., Yelenych, A.P. (2018). Otsinka ekolohichnosti naftovoho palyva ta biopalyva z vykorystannyam metodolohiyi povnoho zhyttyevoho tsyклу. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. 2. 6(267). 246–249. [In Ukrainian].
- [4] British Petroleum. Statistical Review of World Energy. Approximate conversion factors. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-approximate-conversion-factors.pdf> (data zvernennya 12.09.2018). [in English].
- [5] Mahmudul, H. M., Hagos, F. Y., Mamat, R., Adam, A.A., Ishak, W.F.W., Alenezi, R. (2017). Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews*. № 72. 497–509. [in English].
- [6] Malakov, O.I., Burlaka, S.A., Mykhal'ova, Yu.O. (2019). Matematychnye modelyuvannya ta osnovy konstruyuvannya vibratsiynykh zmishuvachiv. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. № 5 (277). 30–33. [In Ukrainian].

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО И БИОТОПЛИВА

Вязкость топлива зависит от его состава углеводородов. Растительное масло считается альтернативой дизельному топливу. Его высокая вязкость затрудняет рассмотрение его как коммерческого топлива для дизельных двигателей. Растительное масло - это липиды, сложные эфиры жирных кислот. Они имеют высокую теплотворную способность и содержат прямые углеводородные цепи, что приводит к их относительно высокому цетановому числу. Вязкость и плотность определяют процесс испарения и перемешивания в двигателе, так как они влияют на



формы и тип топливного факела, размер образованных капель и того, как они поступают в камеру сгорания. Низкая плотность и вязкость обеспечивают лучшее впрыска топлива; при увеличении диаметра капельки уменьшается ее полное сгорание, поэтому увеличивается удельный расход топлива и увеличивается дымность выхлопных газов.

Вязкость топлива влияет на подачу насоса и утечка топлива через зазор пар плунжеров. С уменьшением вязкости увеличивается количество дизельного топлива просачивается между плунжером и втулкой, что приводит к уменьшению подачи насоса. Переоборудование двигателя на топливо с меньшей плотностью и вязкостью приведет к выгоранию головки поршня, поэтому топливное оборудование нуждается в регулировании. Износ плунжерной пары зависит от вязкости. Она топлива находится в диапазоне 1,8-7,0 мм²/с, что практически не влияет на долговечность современного высокоскоростного дизельного оборудования.

Рассмотрим использование растительного рапсового масла как альтернативы дизельному топливу. Его вязкость можно уменьшить путем химического превращения этерификации с получением этилового эфиров. Когда сыра рапсовое масло нагреть до 80 ° С, она даст значение вязкости, вроде значение коммерческого дизельного топлива. Смесительная система будет иметь рабочую мощность, эквивалентную мощности дизельного двигателя при нагревании до температуры 40-50 °С.

Ключевые слова: плотность, вязкость, моделирование, смесь, рапсовое масло, дизельный двигатель.

Рис. 8. Лит. 6.

SIMULATION OF THE MIXING PROCESS OF DIESEL AND BIOFUELS

The viscosity of a fuel depends on its hydrocarbon composition. Vegetable oil is considered an alternative to diesel fuel. Its high viscosity makes it difficult to consider as a commercial diesel fuel. Vegetable oil is lipids, fatty acid esters. They have a high calorific value and contain straight hydrocarbon chains, resulting in their relatively high cetane number. Viscosity and density determine the evaporation and mixing process in an engine, as they affect the shape and type of the fuel flame, the size of the droplets formed, and how they enter the combustion chamber. Low density and viscosity provide better fuel injection; with an increase in the diameter of the droplet, its complete combustion decreases, therefore, the specific fuel consumption increases and the smoke of the exhaust gases increases.

The viscosity of the fuel affects the pump flow and fuel leakage through the piston pair clearance. As the viscosity decreases, the amount of diesel fuel leaks between the plunger and bushing increases, resulting in a decrease in pump flow. Converting the engine to a fuel with a lower density and viscosity will result in burnout of the piston head, so the fuel equipment needs to be adjusted. Plunger wear is viscosity dependent. It fuel is in the range of 1.8-7.0 mm²/s, which practically does not affect the durability of modern high-speed diesel equipment.

Consider using vegetable rapeseed oil as an alternative to diesel fuel. Its viscosity can be reduced by chemically converting esterification to ethyl esters. When the cheese rapeseed oil is heated to 80 °С, it will give a viscosity value similar to that of commercial diesel. The mixing system will have an operating power equivalent to that of a diesel engine when heated to 40-50 °С.

Key words: density, viscosity, modeling, mixture, rapeseed oil, diesel engine.

Fig. 8. Ref. 6

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Гулько Ірина Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Агроінженерії і технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: maniy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5470-7413>).

Гулько Ирина Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерии и технического сервиса» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: maniy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5470-7413>)

Irina Gunko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service, Vinnytsia National Agrarian University (Solnechnaya St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: maniy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5470-7413>)