



УДК 621.402.32

DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-10

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЧАСТИНОК ПАЛИВА У ЗМІШУВАЧІ

БУРЛАКА Сергій Андрійович, Ph.D., старший викладач
Вінницький національний аграрний університет
ГАЛУЩАК Олександр Олександрович, к.т.н., доцент
БОРИСЮК Дмитро Вікторович, к.т.н., доцент
БАРАНОВ Владислав Анатолійович, аспірант
Вінницький національний технічний університет

Serhii BURLAKA, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer
Vinnytsia National Agrarian University
Oleksandr HALUSHCHAK, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Dmytro BORYSIUK, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Vladyslav BARANOV, Postgraduate Student
Vinnytsia National Technical University

Дана стаття присвячена проведенню вивчення траєкторій руху частинок палива в змішувачі, що є ключовим аспектом для вдосконалення технологічних процесів сучасних систем згоряння. Зазначено, що ефективно змішування та розподіл паливних частинок відіграє визначальну роль у забезпеченні оптимального згоряння, що, в свою чергу, призводить до підвищення ефективності та зменшення викидів шкідливих речовин.

Стаття охоплює різноманітні аспекти дослідження, включаючи вивчення гідродинамічних характеристик змішувача, моделювання руху частинок пального та визначення оптимальних параметрів змішування. Важливою частиною дослідження є аналіз траєкторій руху частинок, що дозволяє точно визначити їхні шляхи в середовищі змішування.

Застосування новітніх методів моделювання та експериментальних досліджень дозволяє отримати глибше розуміння внутрішніх процесів у змішувачі, що сприяє розробці оптимальних конструкцій та режимів роботи. Отримані результати можуть мати значущий вплив на розробку та вдосконалення систем згоряння, спрямовані на зменшення викидів та підвищення ефективності використання паливних ресурсів.

Ця стаття присвячена ретельному аналізу траєкторій руху частинок палива у змішувачах. Основні аспекти дослідження включають гідродинамічні характеристики змішувача, моделювання руху частинок та визначення оптимальних параметрів змішування для досягнення максимальної ефективності та мінімізації викидів. Отримані результати можуть внести значний внесок у розробку ефективних та екологічно чистих систем згоряння палива.

Ключові слова: змішувач палива, турбулентність рідини, геометрія змішувача, інтенсивність змішування, частинки палива, траєкторія руху, оптимізація геометрії, фізичні властивості рідини, ефективність змішування, енергоефективність.

Ф. 2. Рис. 3. Літ. 8.

1. Вступ

В сучасному контексті постійного зростання вимог до стійкості та екологічної чистоти енергетичних процесів, дослідження та оптимізація технологічних аспектів систем згоряння є ключовим завданням. Однією з критичних сфер удосконалення є вивчення траєкторій руху частинок палива у змішувачах, оскільки це безпосередньо впливає на ефективність згоряння та викиди шкідливих речовин [1].

Спричинені зростанням використання відновлювальних джерел енергії та необхідністю зменшення викидів CO², дослідження руху частинок палива стає ключовим фактором для досягнення високої ефективності та екологічної безпеки енергетичних систем [2]. Дослідження траєкторій руху частинок палива в змішувачах є кроком у напрямку раціонального використання енергетичних ресурсів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.



2. Постановка проблеми

У контексті сучасних технологічних вирішень та зростаючих вимог до сталого розвитку, ефективність систем згорання пального є визначальною для забезпечення необхідного рівня енергопостачання та мінімізації впливу на довкілля. Однією з ключових складових оптимізації цих систем є вивчення траєкторій руху частинок палива в змішувачах, які визначають рівномірність розподілу та інтенсивність змішування пального.

Проблема полягає в тому, що існуючі технології та підходи до змішування пального в змішувачах не завжди забезпечують оптимальне розподілення частинок, що може призводити до неповного згорання, підвищених викидів та неефективного використання енергоресурсів. Невідомі аспекти гідродинамічних процесів та траєкторій руху частинок стають чинниками, які ускладнюють досягнення високої ефективності та екологічної безпеки [3].

Метою даного дослідження є врівноваження розуміння та оптимізація траєкторій руху частинок палива в змішувачах для покращення процесів згорання та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Обґрунтування вибору методів моделювання та експериментальних підходів є ключовим для розкриття резервів підвищення продуктивності та сталості систем згорання.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останні дослідження у галузі траєкторій руху частинок палива в змішувачах свідчать про високий ступінь актуальності даного напряму досліджень. Однак, більшість робіт фокусуються на загальних аспектах гідродинамічного змішування, залишаючи питання точного руху частинок палива відкритими [4]. Важливим підкресленням стає відсутність вичерпного аналізу траєкторій та їх впливу на ефективність згорання.

Однією з найперспективніших областей дослідження виявляється використання комплексного підходу, що поєднує в собі числове моделювання та експериментальні методи. Дослідження, що використовують числові методи, такі як обчислювальна гідродинаміка та методи складених частинок, стали популярними для аналізу гідродинамічних процесів, але їх використання в контексті траєкторій руху частинок палива є недостатнім [5].

Варто відзначити, що існуючі дослідження дещо обмежені врахуванням впливу різних параметрів, таких як розмір частинок, властивості рухливої рідини та конструкційні особливості змішувачів. Отже, існує необхідність у глибшому розгляді цих факторів для розробки більш точних та ефективних систем згорання.

Це дослідження прагне вирішити ці обмеження, розширюючи аналіз траєкторій руху частинок палива в змішувачах, враховуючи вплив різноманітних факторів на ефективність та екологічні характеристики систем згорання.

4. Виклад основного матеріалу

Змішування дизельного палива та біопалива є важливим етапом виробництва біопалива та зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Оптимізація цього процесу може значно покращити якість кінцевої суміші та, отже, підвищити ефективність споживання пального. Очікується проведення детального аналізу процесу змішування за допомогою програми FlowVision CFD в рамках наших досліджень.

Один з ключових елементів змішувача, який впливає на характеристики турбулентного потоку та інтенсивність змішування рідин, - це його геометрія. Геометричні параметри лопатевого змішувача, такі як форма лопаток, їх довжина, кут нахилу, а також конфігурація змішувача в цілому, можуть значно впливати на процеси турбулентного змішування рідини.

Незважаючи на численні дослідження в області турбулентного змішування, питання впливу геометрії лопатевого змішувача на характеристики турбулентного потоку та інтенсивність змішування рідини залишається недостатньо вивченим. Відомо, що різні геометричні параметри можуть змінювати структуру турбулентного потоку, проте точні взаємозв'язки та закономірності між ними та турбулентними характеристиками залишаються недостатньо визначеними [6].

Отже, основна проблема, яку потрібно вирішити це системний аналіз впливу геометрії лопатевого змішувача на турбуленцію та інтенсивність змішування рідини. Моделювання виконується в наступній послідовності.



Взаємодія між частинками палива в змішувачі може бути представлена моделлю міжчастинкової взаємодії, де вплив однієї частинки на іншу визначається силою, що діє між ними. Можна використовувати модель міжчастинкового потенціалу, наприклад, Леннарда-Джонса:

$$U(r)=4\epsilon[(\sigma/r)^{12}-(\sigma/r)^6], \quad (1)$$

де r – відстань між частинками; ϵ – потенціальна енергія взаємодії; σ – рівень стабільності.

Траєкторії руху частинок палива можна описати рівняннями Ньютона для кожної частинки:

$$m d^2 \vec{r} / dt^2 = \vec{F}, \quad (2)$$

де m – маса частинки; \vec{r} – вектор положення; t – час; \vec{F} – сила, що діє на частинку.

Траєкторії будуть залежати від розміру, форми та маси частинок, а також від сил, які взаємодіють між ними [7].

Зі збільшенням швидкості частинок підвищується їхня кінетична енергія, що може призводити до більш ефективного перемішування.

Малий розмір сприяє легшому переміщенню в середовищі, але може викликати проблеми агломерації. Великі частинки можуть бути менш мобільними, але їхня наявність може важливо впливати на масоперенесення та розподіл палива.

Густина визначається співвідношенням маси до об'єму. Висока густина може призводити до гравітаційної седиментації, що впливає на рівномірність розподілу в змішувачі.

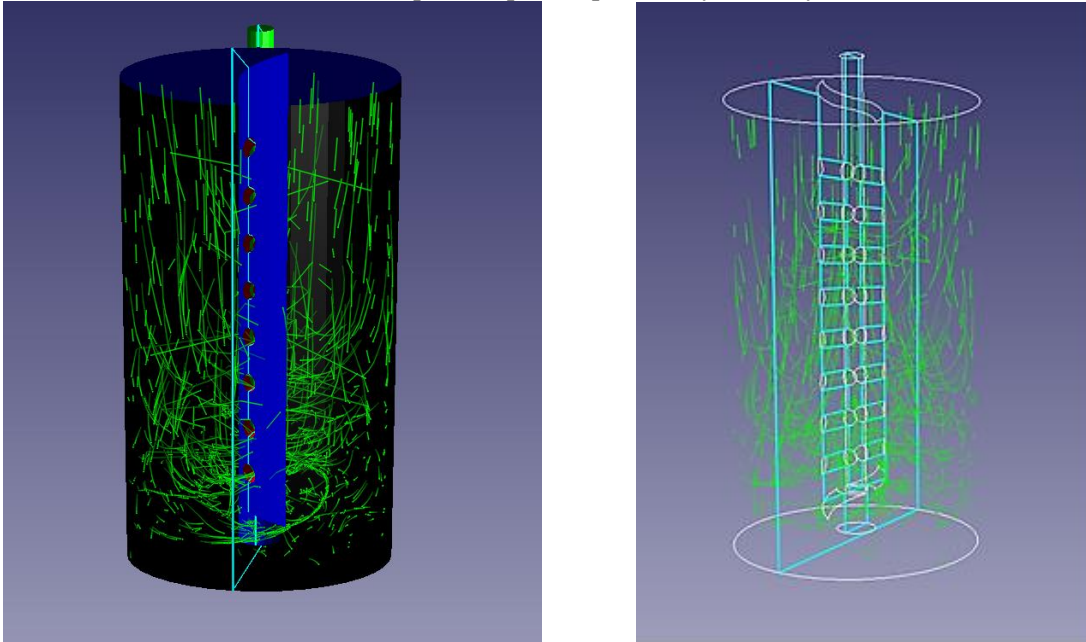


Рис. 1. Моделювання руху потоків палива у змішувачі за допомогою програми FlowVision

Враховуючи ці параметри в математичних моделях, можна аналізувати та оптимізувати траєкторії руху частинок палива для максимізації якості перемішування та покращення ефективності систем згоряння.

Згідно з рівнянням, задача вирішення рівняння конвективного переносу перетворюється на задачу реконструкції функції $f(x,t)$ всередині скінченного об'єму відповідно до його середніх значень. Якість реконструкції визначає поведінку схеми: монотонна реконструкція дає монотонну схему, висока точність реконструкції призводить до низького рівня ланцюгового дифузії.

Діаграми, згенеровано за допомогою представлення Лагранжа, стабільні для будь-яких кроків інтегрування τ (для будь-яких чисел Куранта $CFL = \delta_{1-1/2}/h$). Точність часової інтеграції визначається точністю розрахунку довжини оберненої характеристики [7].

Різні реконструкції $f(x,t)$ всередині скінченного об'єму з лінійного неперервного класу показані на рисунку. Реконструкція I за частинами константної функції призводить до відомої схеми контротока першого порядку апроксимації. Реконструкція II вводить нахил функції $f(x)$ всередині V_i , який розраховується за допомогою симетричної скінченної різниці. Ця реконструкція має другий порядок апроксимації, але не є однорідною. Монотонна реконструкція III отримується розрахунком нахилу $f(x)$ всередині V_i як мінімум нахилів, розрахованих за допомогою скінченних різниць з обох боків скінченного об'єму.

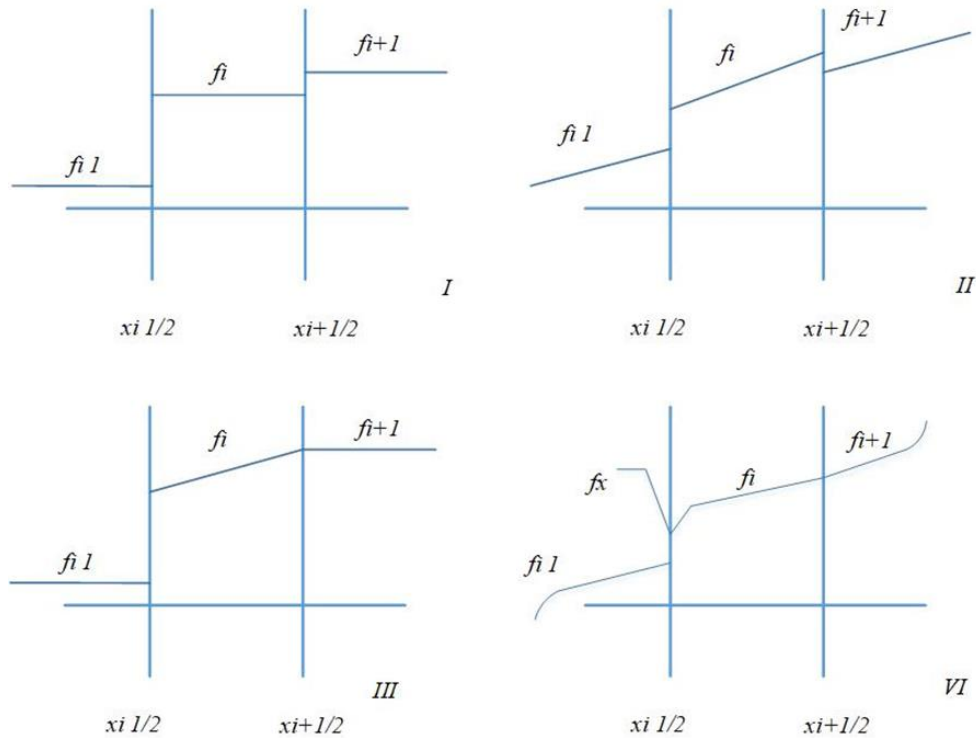


Рис. 2. Типи лінійної реконструкції $f(x)$

Лінійна реконструкція може допомогти в контексті змішування палив, особливо коли важлива точність моделювання розподілу концентрацій та інших параметрів всередині системи. Рух частинок обчислюється в FlowVision CFD на основі рівнянь руху рідини, фізичних властивостей частинки та її взаємодії з рідиною. Ця інформація дозволяє нам вивчати траєкторію руху частинок під час їх змішування дизельного та біопалива в визначеному об'ємі або змішувачі [8].

Взаємодія швидкості та тиску частинок при змішуванні дизельного та біопалива визначається законами руху рідини та розрахунками рівнянь Нав'є-Стокса. Співвідношення між цими двома параметрами відіграє ключову роль у визначенні руху та розподілу частинок в системі.

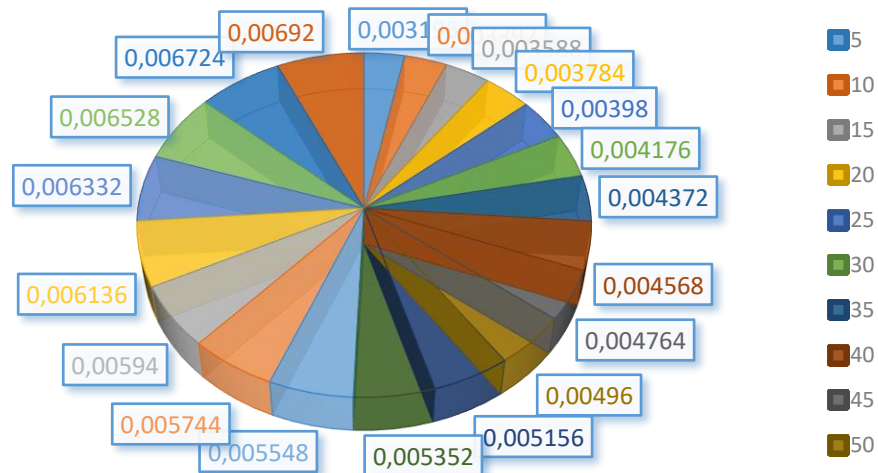


Рис. 3. Залежність динамічної в'язкості при $T=323\text{K}$, Па·с від вмісту біопалива, % у дизельному пальному

Частинки, які рухаються разом із рідиною, переносяться з відповідною швидкістю рідини. Якщо в системі відбудеться зміна швидкості руху рідини, це також вплине на швидкість та розподіл частинок.

Турбуленція у потоці рідини може призводити до змін тиску та швидкості в різних точках системи. Це може призвести до переміщення частинок з області високого тиску в область низького тиску або навпаки. Фізичні властивості рідини, такі як щільність, в'язкість, температура та тиск,



визначають середовище, в якому рухаються частинки. Частинки будуть рухатися в напрямку зменшення потенційної енергії, що може бути викликано градієнтом тиску чи щільністю рідини. Ця взаємодія може змінювати швидкість та напрямок руху частинок.

5. Висновки

1. Експериментальні, теоретичні та числові аналізи підтверджують, що різні параметри геометрії змішувача, такі як форма лопаток, кут нахилу, їх розмір і розташування, суттєво впливають на розподіл турбулентності та інтенсивність змішування.

2. Встановлено, що оптимізація геометрії змішувача може значно покращити якість та ефективність процесів змішування палива. Це може включати зменшення витрат енергії та ресурсів.

3. Частинки будуть рухатися вздовж напрямку зменшення потенційної енергії, що може бути викликано градієнтом тиску або щільністю рідини.

4. Турбулентність в рідині може змінювати тиск та швидкість в різних точках системи, впливаючи на рух частинок.

Список використаних джерел

1. Rutkevych V., Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Burlaka S. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (2). P. 64–69.
2. Shargorodskiy S., Rutkevych V., Kupchuk I., Hraniak V., Didyk A. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith. *Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 54. P. 27–38.
3. Burlaka S., Yemchuk T., Yelenych A., Okhota Y. Use of vegetable oils as environmental additives in diesel fuel. *Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 54. P. 39–48.
4. Бурлака С. А., Купчук І. М., Шаповалюк С. О., Черниш М. В. Аналіз впливу геометрії лопатевого змішувача на турбулентність та інтенсивність змішування рідини. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 2 (121). С. 16–23.
5. Бурлака С. А. Diesel fuel ways and their elimination methods. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. №3 (118). С. 26–30.
6. Гунько І. В., Бурлака С. А. Оцінка енергетичних показників ґрунтообробного агрегата. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 2 (117). С. 47–52.
7. Бурлака С. А. Алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням системи живлення зі змішувачем палив. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2022. № 1 (305). С. 140–144.
8. Бурлака С. А., Полевода Ю. А. Інноваційні методи розділення гліцериномісткої сировини від біопалива. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 4 (115). С. 124–135.

References

- [1] Rutkevych, V., Kupchuk, I., Yaropud, V., Hraniak, V., & Burlaka, S. (2022). Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. *Przeglad Elektrotechniczny*, 98(2), 64–69. [in English].
- [2] Shargorodskiy, S., Rutkevych, V., Kupchuk, I., Hraniak, V., Didyk, A. (2022). Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith. *Agricultural Engineering*, 54, 27–38. [in English].
- [3] Burlaka, S., Yemchuk, T., Yelenych, A., Okhota, Y. (2022). Use of vegetable oils as environmental additives in diesel fuel. *Agricultural Engineering*, 54, 39–48. [in English].
- [4] Burlaka, S.A., Kupchuk, I.M., Shapovalyuk, S.O., Chernysh, M.V. (2023). Analysis of the influence of the blade mixer geometry on the turbulence and intensity of liquid mixing. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 2(121), 16–23. [in Ukrainian].
- [5] Burlaka, S.A. (2022). Diesel fuel ways and their elimination methods. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 3(118), 26–30. [in Ukrainian].
- [6] Gunko, I.V., Burlaka, S.A. (2022). Evaluation of the energy indicators of the tillage unit. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 2(117), 47–52. [in Ukrainian].
- [7] Burlaka, S.A. (2022). Algorithm of operation of a machine-tractor unit using a power supply system with a fuel mixer. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*, 1(305), 140–144. [in Ukrainian].
- [8] Burlaka, S.A., Polevoda, Yu.A. (2021). Innovative methods of separating glycerol-containing raw materials from biofuel. *Engineering, Energy, Transport AIC*, 4(115), 124–135. [in Ukrainian].

**RESEARCH OF THE TRAJECTORY OF THE MOVEMENT OF FUEL PARTICLES IN THE MIXER**

This article is devoted to the study of the trajectories of the movement of fuel particles in the mixer, which is a key aspect for improving the technological processes of modern combustion systems. It is noted that effective mixing and distribution of fuel particles plays a decisive role in ensuring optimal combustion, which, in turn, leads to increased efficiency and reduced emissions of harmful substances.

The article covers various aspects of the research, including studying the hydrodynamic characteristics of the mixer, modeling the movement of fuel particles and determining the optimal mixing parameters. An important part of the research is the analysis of particle movement trajectories, which allows to accurately determine their paths in the mixing environment.

The application of the latest modeling methods and experimental studies allows to obtain a deeper understanding of the internal processes in the mixer, which contributes to the development of optimal designs and modes of operation. The obtained results can have a significant impact on the development and improvement of combustion systems aimed at reducing emissions and increasing the efficiency of using fuel resources.

This article is devoted to a thorough analysis of the trajectories of the movement of fuel particles in mixers. The main aspects of the study include hydrodynamic characteristics of the mixer, modeling of particle motion and determination of optimal mixing parameters to achieve maximum efficiency and minimize emissions. The obtained results can make a significant contribution to the development of efficient and environmentally friendly fuel combustion systems.

Key words: fuel mixer, fluid turbulence, mixer geometry, mixing intensity, fuel particles, motion trajectory, geometry optimization, physical properties of the liquid, mixing efficiency, energy efficiency.

Eq. 2. Fig. 3. Ref. 7.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БУРЛАКА Сергій Андрійович – доктор філософії з галузевого машинобудування, старший викладач кафедри «Технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>).

ГАЛУЩАК Олександр Олександрович – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет (Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Вінницька область, 21000, e-mail: galushchak.gs@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9393-6251>).

БОРИСЮК Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

БАРАНОВ Владислав Анатолійович – аспірант першого року навчання, спеціальності 133 Галузеве машинобудування Вінницького національного технічного університету (Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Вінницька область, 21000, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com).

Serhii BURLAKA – Doctor of Philosophy in Industrial Mechanical Engineering, Senior Lecturer at the Department of "Technological Processes and Equipment of Processing and Food Industries" of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>).

Oleksandr HALUSHCHAK – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytske Shosse, Vinnytsia, Vinnytsia Oblast, 21000, e-mail: galushchak.gs@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9393-6251>).

Dmytro BORYSIUK – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, VoinovInternationalistov st., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

Vladyslav BARANOV – first-year postgraduate student of study with separation from production, specialty 133 Industrial mechanical engineering, Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytske Shosse, Vinnytsia, Vinnytsia Oblast, 21000, e-mail: 1tt.17b.baranov@gmail.com).