



4. Встановлено, що виявлені тріщини мають змішаний характер похдження – технологічний із подальшим розвитком під дією експлуатаційних навантажень.

5. Отримані результати підтверджують доцільність застосування комплексного підходу до контролю якості зварних з'єднань посудин під тиском для запобігання аварійним руйнуванням.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Cherfaoui, M. (2012). Innovative techniques in non-destructive testing and industrial applications on pressure equipment. *Procedia Engineering*, 46, 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.472>

2. EN 10028-3. (2017). Flat products made of steels for pressure purposes – Part 3: Weldable fine grain steels, normalized. European Committee for Standardization.

3. Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., Srikanth, D., Surendran, H., & Nickolas, M. M. (2021). Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 44(5), 3732–3737. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.578>

4. Щудро, А. Є. (2020). Особливості формування структури і властивостей зони термічного впливу зварних з'єднань із мікролегованих будівельних сталей (Дисертація канд. техн. наук). Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро.

5. Jiang, C., Du, Y., Pan, W., & Zhang, X. (2021). Analysis and treatment of cracks in LPG spherical tank. *Journal of Physics: Conference Series*, 1820(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1820/1/012065>

6. Босий, М. В., & Боса, О. А. (2025). Дослідження впливу пластичної деформації на властивості та структуру сталі після термооброблення. *Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*, (4), 21–28. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-21>

7. Świerczyńska, A., Fydrych, D., & Łabanowski, J. (2011). The effect of welding conditions on diffusible hydrogen content in deposited metal. *Solid State Phenomena*, 183, 193–200. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.183.193>

УДК 621.43:621.923:621.882

## МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЇ ХОНІНГУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВЗ

В.Є. Олішевська<sup>1</sup>, В.В. Кривда<sup>2</sup>, Г.С. Олішевський<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: [olishevskav@nmu.one](mailto:olishevskav@nmu.one)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: [krivdav@nmu.one](mailto:krivdav@nmu.one)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, e-mail: [Olishevskiy.H.S@nmu.one](mailto:Olishevskiy.H.S@nmu.one)

<sup>1,2,3</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** В роботі розглянуто особливості технології хонінгування гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Визначено сучасні тенденції розвитку технології, зокрема підвищення точності обробки, застосування plateau-хонінгування та інтеграцію з сучасними покриттями.

*Ключові слова:* гільза циліндра ДВЗ, хонінгування, параметри хонінгування, мікро-рельєф поверхні, тенденції розвитку технології хонінгування.

## CAPABILITIES AND PROSPECTS OF HONING TECHNOLOGY FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDER LINERS

Valentyna Olishevskaya<sup>1</sup>, Vitalii Krivda<sup>2</sup>, Hennadii Olishevskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Transport, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [olishevskaya.v.ye@nmu.one](mailto:olishevskaya.v.ye@nmu.one)

<sup>2</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Transport, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one)

<sup>3</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [Olishevskiy.H.S@nmu.one](mailto:Olishevskiy.H.S@nmu.one)

**Abstract.** The paper considers the features of the honing technology for internal combustion engines cylinder liners. Modern trends in the development of the technology are determined, in particular, increasing the accuracy of processing, the use of plateau honing and integration with modern coatings.

*Keywords:* internal combustion engine cylinder liner, honing, honing parameters, surface microrelief, trends in honing technology development.

**Вступ.** Гільзи циліндрів належать до відповідальних деталей ДВЗ, які створюють (разом з поршнем та головкою блока) камеру згорання, спрямовують рух поршня та відводять тепло.

Гільзи циліндрів ДВЗ працюють у складних умовах високих температур, тиску та тертя; визначають якість роботи пари «поршень-циліндр»; безпосередньо впливають на ресурс і надійність двигуна.

Основними дефектами гільз циліндрів є: зношення внутрішньої поверхні (76 %); зношення зовнішньої поверхні (18 %); зношення посадкових місць гільзи (4 %); тріщини на поверхні гільзи (1 %); руйнування бурту (1 %) [1-5]. В результаті зносу внутрішньої робочої поверхні гільзи циліндра, циліндрична форма по довжині робочої частини перетворюється в неправильний конус, а по циліндричності – в овал [1], [5].

Знос гільзи циліндра серйозно впливає на надійність та термін служби ДВЗ.

Відновлення внутрішньої робочої поверхні гільзи циліндра виконується різними методами, але найбільш часто використовуються розточування і

наступне хонінгування. Процес хонінгування зазвичай є останнім процесом обробки гільзи циліндра тому, що вимоги до точності обробки гільзи циліндра дуже високі, а процес хонінгування забезпечує високу точність та якість поверхні гільзи. Крім того, підвищення сучасних вимог до ресурсу, енергоефективності та екологічності ДВЗ, використання нових матеріалів гільз і покриттів потребує удосконалення технологій хонінгування.

**Мета роботи.** Аналіз тенденції розвитку технології хонінгування гільз циліндрів ДВЗ.

**Матеріал і результат досліджень.** *Хонінгування* – процес чистової обробки гільз циліндрів ДВЗ, який дозволяє вирішувати важливі технологічні завдання – отримувати високу точність розміру та форми (IT6...IT8), малу шорсткість оброблюваних поверхонь ( $R_a \leq 0,32$  мкм), мікрорельєф на робочій поверхні у вигляді сітки (cross-hatch pattern), що утримує на поверхні моторну оливу під час експлуатації деталей (рис. 1) [1-2], [3].

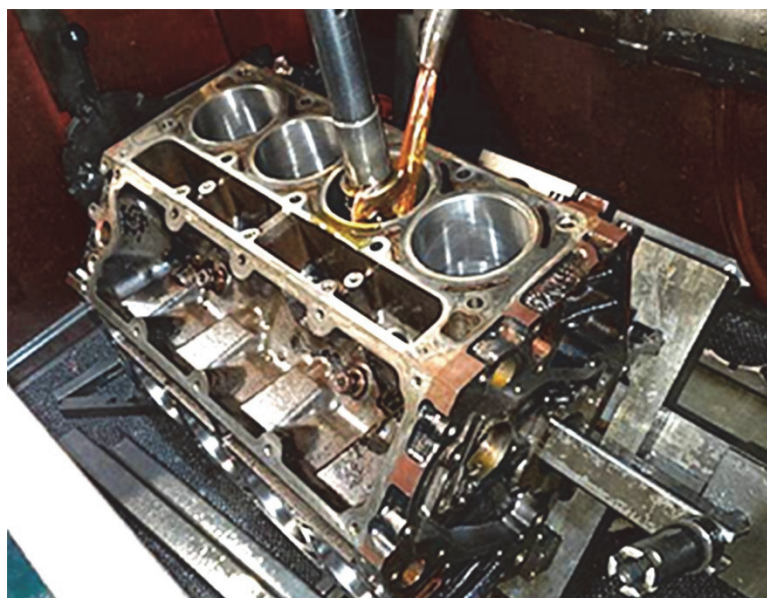


Рис. 1. – Хонінгування гільзи циліндра ДВЗ

Хонінгування виконується на хонінгувальних верстатах хонінгувальними головками (хонами). У хонінгувальних головках застосовують переважно абразивні бруски, алмазні бруски. Хонінгування силікатними брусками забезпечує високу якість поверхні, що обумовлено утворенням в процесі хонінгування аморфного кремнезему, а оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію [6]. При збільшенні контактного тиску брусків якість поверхні погіршується після обробки алмазними брусками і покращується після обробки абразивними та силікатними брусками [6].

Процес хонінгування проводиться за умов рясної подачі мастильно-охолоджуючої рідини в зону різання [1], [3].

Найбільший вплив на відхилення циліндричності гільз циліндрів ДВЗ мають тиск **брусків на поверхню** гільзи та кінематичні параметри процесу (**швидкість обертання шпинделя верстата, швидкість зворотно-поступального руху хонінгувальної головки, кут нахилу траєкторії руху**), які визначають рівномірність зняття матеріалу по довжині гільзи [7].

Суттєвий вплив на поверхню гільзи, особливо на етапі платохонінгування, мають тиск брусків та кількість ходів [8].

На точність обробки глибоких отворів сильно впливає величина робочого ходу хонінгувальної головки.

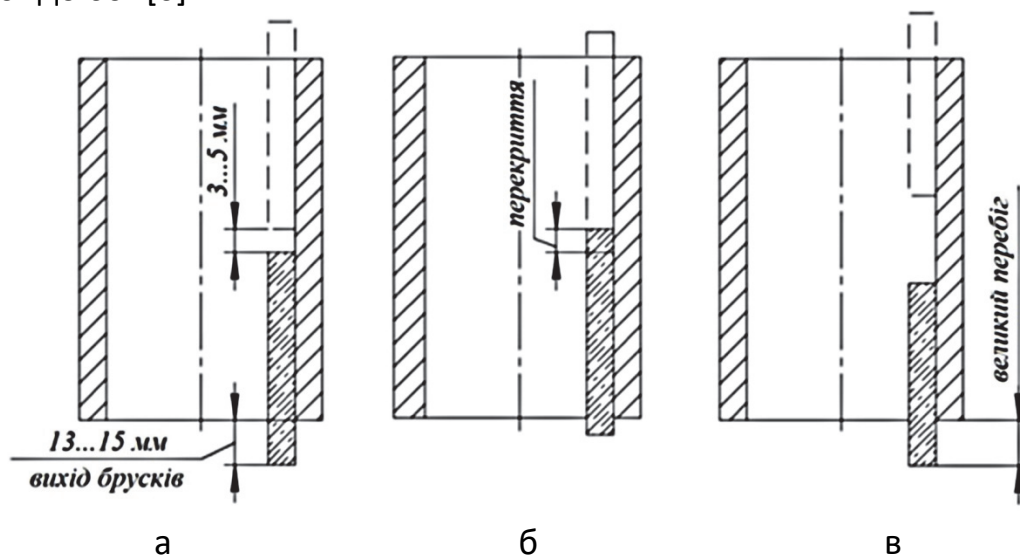
Для забезпечення правильної форми циліндрів (тобто відсутності «бочки» або «корсету»), повинно бути певне співвідношення між довжиною брусків, величиною ходу головки та висотою циліндрів (рис. 2, а). Зазор між ходом брусків, що гарантує відсутність утворення «бочки», знаходиться в межах 3...5 мм.

При використанні довгих брусків і короткому робочому ході відбувається перекриття брусків і утворення «бочки» (рис. 2, б).

Для уникнення утворення «корсета» (рис. 2, в), необхідно тримати вихід брусків при їх зворотно-поступальному русі в межах 13...15 мм в кожную сторону, залежно від розміру ріжучого інструменту та зазору, що рекомендується.

На якість обробки істотно впливає як абсолютне значення швидкостей  $V_0$  і  $V_{зп}$ , так і їх відношення  $\lambda = \frac{V_0}{V_{зп}}$ , що визначає кут  $\alpha$  сітки рисок (рис. 3).

Кут нахилу траєкторії руху (**кут хонінгування**) визначає характер перехресної сітки на поверхні гільзи та істотно впливає на її експлуатаційні властивості [1], [6]. Оптимальний кут хонінгування може знаходитися в межах від 40° до 60° [6].



а – нормальна форма; б – «бочка»; в – «корсет»

Рис. 2. – Вплив співвідношення між довжиною брусків, величини ходу

головки та висоти циліндрів на правильну форму циліндрів

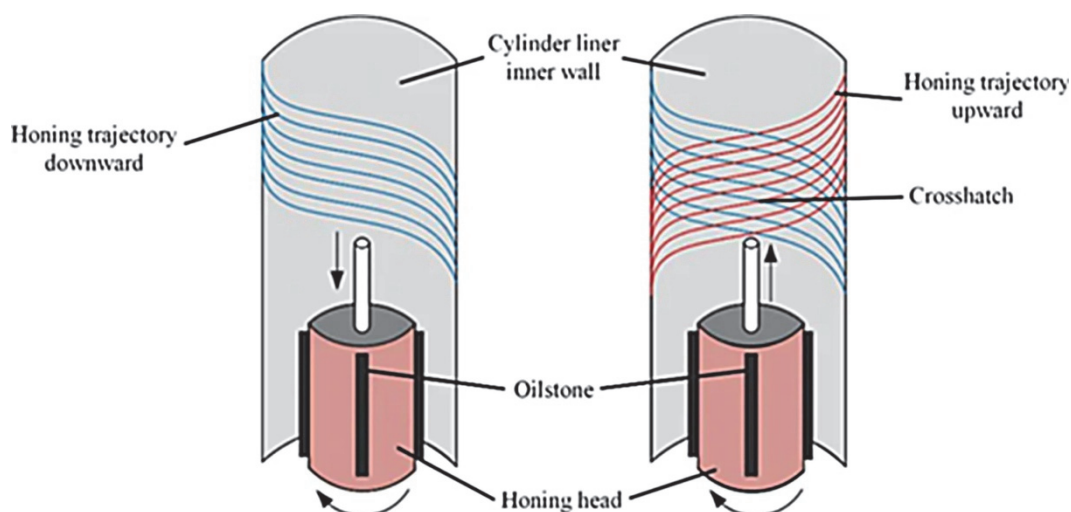


Рис. 3. – Схема процесу хонінгування та розгортка сітки слідів обробки [7]

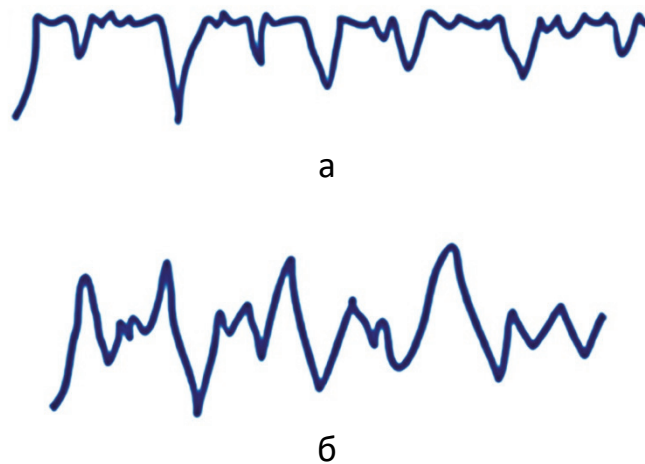
Зносостійкість робочої поверхні гільзи циліндра ДВЗ визначає поєднання механічних характеристик: твердості і пластичності [9].

**Сучасні тенденції хонінгування** гільз циліндрів ДВЗ формуються під впливом підвищених вимог до **точності обробки, довговічності деталей, економічності, екологічності**. Проведений аналіз дозволяє виділити актуальні напрями розвитку технології хонінгування:

**Підвищення точності та контроль мікрогеометрії.** Технологічна якість оброблюваної поверхні гільзи циліндра характеризується геометричними, структурними, хімічними і механічними показниками поверхневих шарів і їх деформацією. Глибина та ширина рисок від хонінгування впливає на коефіцієнт тертя, надійність роботи пари тертя циліндр-поршневі кільця, витрати мастильного матеріалу на вигорання [3]. Широкі та глибокі риси викликають підвищену витрату оливи на вигорання, збільшують механічні втрати на тертя, витрати пального на їх подолання [3]. Контроль мікрогеометрії і точності виконуються на рівнях нано- та мікрометрів, що забезпечує перехід від «геометрії» до функціональної поверхні (tribological surface engineering).

**Плосковершинне (plateau) хонінгування** дозволяє формувати глибокі риси (для мастильного матеріалу), а потім згладжувати вершини, що забезпечує зменшення зношення поверхні гільзи під час експлуатації (рис. 4) [2]. Плосковершинне хонінгування сьогодні активно досліджується і впроваджується у виробництво та дозволяє досягти швидкого припрацювання, зниження тертя, підвищення ресурсу деталей [3], [4], [8], [10].

Авторами роботи [10] проведена оптимізація параметрів платохонінгування гільз циліндрів із сірого чавуну за критерієм мінімізації середньої шорсткості поверхні  $R_a$ . Результати дисперсійного аналізу показали, що найважливішим фактором, що впливає на шорсткість поверхні, є розмір зерна, тоді як кількість ходів має незначний вплив.



а – плосковершинне хонінгування; б – традиційне хонінгування

Рис. 4. – Види хонінгування гільз [2]

**Інтеграція покриттів і хонінгування.** Сучасні гільзи можуть мати різні покриття. Гільзи з покриттям Ni-SiC (алюмінієва основа, покриття Ni + SiC (5...10 %)) забезпечують високу зносостійкість, низький коефіцієнт тертя [4], [5]. Покриття гільз термічно обробленим Ni-P (ENP) дозволяє збільшити мікротвердість поверхні на 65,8 % [5]. Досліджуються гільзи з DLC покриттям (Diamond-Like Carbon, алмазоподібні покриття), плазмовими або напиленними шарами. Великий потенціал мають композитні матеріали (наприклад, Al-Si + SiC, Al-graphite), але висока вартість і складність обробки обмежують їх застосування [5]. Хонінгування гільз з покриттям виконує фінішну обробку покриттів і формує мікрорельєф, що знижує тертя до 10...20 % залежно від матеріалу покриття та параметрів обробки.

**Адаптація до нових матеріалів гільз.** Гільзи циліндрів виготовляють з різних матеріалів: чавунів (наприклад, СЧ200), іноді зі вставкою у верхній частині з легованого чавуну; сталей (наприклад, 38ХМЮА); кераміки або полімерних матеріалів [1-5].

Удосконалення сучасних гільз циліндрів пов'язане зі зменшенням споживання паливо-мастильних матеріалів та забрудненням навколишнього середовища. Цього можна досягти, використовуючи легші матеріали та зменшуючи втрати на тертя [4].

Використання нових матеріалів для виробництва гільз циліндрів ДВЗ, покриттів і композитних матеріалів потребує розробки спеціальних режимів хонінгування, які забезпечать ефективну обробку поверхонь високої твердості при мінімальному знятті шару металу. Хонінгування стає більш високоточною обробкою.

**Комбіновані технології обробки** включають різні варіанти поєднання технологій, наприклад, хонінгування + хімічну обробку (фосфатування), хонінгування + нанесення трибопокриттів. Комбінування технологій дозволяє підвищувати зносостійкість, довговічність гільз циліндрів ДВЗ.

**Автоматизація та CNC-хонінгування** (Industry 4.0, **Computer Numerical Control**). Це сучасний напрямок розвитку технології хонінгування, який забезпечує високоточний процес обробки отворів з використанням ЧПК-верстатів, роботизованих систем, онлайн-контролю параметрів (вібрації, сили різання, температури). Автоматичне керування програмою параметрів руху інструмента та режимів різання забезпечує стабільну якість поверхні та точність геометрії.

**Екологічні технології** повинні забезпечити захист навколишнього середовища, зокрема шляхом переходу на синтетичні та біорозкладні хонінгувальні рідини і зменшення VOC-викидів.

**Висновки.** Хонінгування внутрішньої поверхні гільз циліндрів ДВЗ визначає точність геометричних параметрів, шорсткість поверхні та формування функціонального мікрорельєфу поверхні.

Застосування плосковершинного хонінгування дозволяє одночасно зменшити зношення та забезпечити утримання мастильного матеріалу, що підвищує ресурс двигуна. Обґрунтовано перспективність інтеграції хонінгування із сучасними покриттями (Ni-SiC, DLC) та використання нових матеріалів, що дозволяє знизити тертя і підвищити зносостійкість.

Визначено, що подальший розвиток технології пов'язаний з автоматизацією процесів (CNC-хонінгування), підвищенням точності на мікро- та нанорівнях, застосуванням комбінованих технологій та екологічно безпечних мастильно-охолоджувальних середовищ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Олішевська В. Є., Бас К. М., Кривда В. В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Практикум : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2025. 223 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170985>.
2. Пузерець А. О. Підвищення післяремонтної довговічності гільз циліндрів дизельних двигунів : магістерська дипломна робота : 208 Агроінженерія. Дніпро, 2022. 77 с. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/7622>

3. Алексеев Ю. Розроблення технологічного процесу хонінгування гільз циліндрів 740.1002021 з метою підвищення їх трибологічної надійності : кваліфікаційна робота бакалавра : 274 Автомобільний транспорт. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 54 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42254> .
4. Pawlus P., Reizer R. Functional importance of honed cylinder liner surface texture: A review. *Tribology International*. 2022. Vol. 167, 107409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107409> .
5. Кривда В. В., Олішевський І. Г., Олішевська В. Є. Блок циліндрів і гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згоряння: матеріали і особливості дефектування при ремонті. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 4(112). С. 80–95. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/347574> .
6. Виноградов М. С., Макарова Т. В., Мастепан М. А., Савенок Д. В. Дослідження впливу параметрів процесу хонінгування силікатними брусками на якість обробленої поверхні. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2024. 1(19). С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-3-10> .
7. Lu Y., Li J., Liang R., Zhang Y., Luo M., Guo C. Investigation on the effect of honing parameters on cylindricity of engine cylinder liner. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. 111:3111–3122. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06321-7> .
8. Edberg S., Landqvist E. The impact of honing process parameters on the surface quality of cylinder liners : Master's Thesis at Department of Production Engineering KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2015. 85 p. URL: <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A820446&dsid=5634> .
9. Ляшенко С. В., Мигаль В. Д. Вплив технологічних операцій розточування та хонінгування на механічні властивості поверхневого шару гільз циліндрів двигунів MAN D0824/D0826. *Молодь і технічний прогрес в АПК: матеріали XX міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 26-27 листоп. 2025 р.)*. Харків : ДБТУ, 2025. С. 19–22. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/76591> .
10. Günay M., Korkmaz M. E. Optimization of Honing Parameters for Renewal of Cylinder Liners. *Gazi University Journal of Science*. 2017. 30(1): 111-119 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/290221> .

УДК 621.43:621.923:621.882

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ХОНІНГУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВЗ

В.Є. Олішевська<sup>1</sup>, Г.С. Олішевський<sup>2</sup>, Р.Ю. Гойденко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: [olishevska.v.ye@nmu.one](mailto:olishevska.v.ye@nmu.one)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, e-mail: [Olishevskiyi.H.S@nmu.one](mailto:Olishevskiyi.H.S@nmu.one)

<sup>3</sup>здобувач групи 274-23-1, e-mail: [Hoidenko.R.Y@nmu.one](mailto:Hoidenko.R.Y@nmu.one)

<sup>1,2,3</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

