

О. Ю. РЕБРОВ, О. Г. ПЕТРЕНКО

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТИПОРОЗМІРІВ ШИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ПИТОМОГО ТИСКУ НА ГРУНТ

У статті проаналізовано сучасні методи визначення раціональних типорозмірів шин для підвищення технічного рівня транспортних засобів подвійного призначення за рахунок зниження питомого тиску на ґрунт. Обґрунтовано доцільність застосування шин із пониженим тиском у системах регулювання тиску, що забезпечують адаптацію транспортних засобів до різних умов експлуатації. Проведений аналіз застосування сучасних технічних рішень і інновацій у шинній галузі, спрямованих на підвищення прохідності, зменшення ущільнення ґрунту та підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів у цивільному та оборонному секторах.

Ключові слова: колісний трактор, ґрунт, понижений тиск, шина, транспорт подвійного призначення.

O. REBROV, O. PETRENKO

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING OPTIMAL TIRE SIZES TO IMPROVE THE TECHNICAL LEVEL OF DUAL-PURPOSE VEHICLES BY REDUCING SPECIFIC GROUND PRESSURE

The article analyzes modern methods for determining rational tire sizes aimed at improving the technical performance of dual-purpose vehicles through the reduction of specific ground pressure. The feasibility of using low-pressure tires equipped with automatic pressure control systems is substantiated to ensure adaptability to different operating conditions. The research examines recent technological innovations in the tire industry, including the implementation of IF and VF tire technologies, and their impact on traction efficiency, soil protection, and energy consumption. Experimental data demonstrate that properly selected tire dimensions and pressure adjustment significantly enhance vehicle passability, reduce fuel usage, and minimize soil compaction. The obtained results can be applied in the modernization of agricultural and military vehicles to improve operational efficiency and environmental sustainability.

Keywords: wheeled tractor, soil, low pressure, tire, dual-purpose vehicle.

Вступ.

З початку збройної агресії російської федерації проти України у 2014 році, а особливо після повномасштабного вторгнення у 2022 році, національна економіка зазнала глибоких структурних змін. Території, які до війни забезпечували значну частку видобутку стратегічно важливих ресурсів, зокрема Донбас і Крим, були тимчасово окуповані. Втрата контролю над цими регіонами спричинила істотне скорочення видобутку кам'яного, коксівного та антрацитового вугілля, а також інших мінеральних ресурсів — залізної й марганцевої руд, каолінів, вогнетривких глин, природного та сланцевого газу, рідкоземельних металів, наведено на рис. 1.

В аграрному секторі наслідки війни проявилися у зниженні валового збору зернових та олійних культур, зокрема через втрату частини орних земель, які наразі заміновані або перебувають у зоні бойових дій. За оцінками, понад **19% ріллі** (приблизно **5 млн га**) не можуть бути використані за призначенням. У таких умовах аграрному виробництву України необхідно підвищувати ефективність за рахунок технічної модернізації та впровадження інновацій.

Одним із важливих напрямів є оновлення машинно-тракторного парку подвійного призначення, застосування сучасних технологій, а також **раціональний вибір типорозмірів шин колісних тракторів**. Від правильного підбору шин залежить не лише енергоефективність техніки, а й рівень ущільнення ґрунту, витрати пального, тривалість виконання агротехнічних операцій та збереження родючості земель.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Дослідженнями в галузі шин та шинних інновацій серед вітчизняних і світових вчених займаються О.Ю. Ребров [1, 2], А.П. Кожушко [3] М.Є. Якунін [1, 4], Jorge L. García-Alcazart [5], та ін., де розглядаються питання формування типорозмірного ряду шин, методи зниження питомого тиску на ґрунт і підвищення прохідності колісних тракторів, що можна застосувати до машинно-тракторних агрегатів (далі – МТА) подвійного призначення. У своїх дослідженнях автори акцентують на необхідності комплексного підходу до вибору шин з урахуванням конструкції, навантаження, типу ґрунту та умов експлуатації.

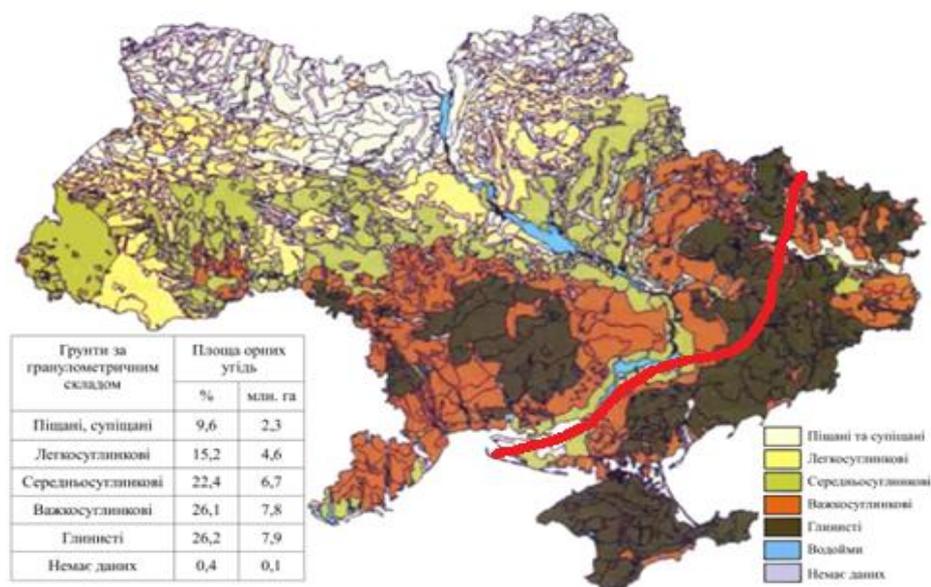


Рис. 1 – Гранулометричний склад ґрунтів території України

Однак перелічені дослідження не в повній мірі враховують специфічні умови експлуатації колісних тракторів подвійного призначення.

Мета та постановка задачі.

Аналіз сучасних методів визначення раціональних типорозмірів шин для колісних тракторів подвійного призначення, для вибору шляхів покращення їх експлуатаційних характеристик.

Аналіз застосування транспортних засобів подвійного призначення.

У матеріалах О.Ю. Реброва [1, 2] розглядаються питання визначення раціональних типорозмірів шин для комплектування колісних сільськогосподарських тракторів. Розроблені показники колісних тракторів при комплектуванні перспективними шинами таких виробників як Mitas, Trelleborg, Michelin, GoodYear, Firestone.

В науковій праці А.П. Кожушко [3], розглядається питання зсуву колеса, відносно опорної поверхні, за допомогою рівняння дотичної сили тяги на ведучих колесах, що можна змодельовати для шин з системою зміни тиску в умовах застосування МТА, під час експлуатації у військовій сфері.

У роботі М.Є. Якуніна [4] розглядаються питання шляхів зменшення питомого тиску на ґрунт колісних тракторів сільськогосподарського призначення, заснованих на багаторазових проходах по полю все більш потужних і важких машинно-тракторних агрегатів.

Для зниження ущільнюючого впливу колісних тракторів на ґрунт використовують наступні методи:

1. зменшення внутрішнього тиску в шині, для збільшення плями контакту;
2. встановлення здвоєних або зтроєних коліс;
3. удосконалення складу гуми IF (Improved Flexion) та VF (Very Flexible);
4. оптимізацією профілю каркаса та геометрії поперечного перерізу;
5. заповненням шин водою.

Jorge L. García-Alcazar мексиканський вчений, пропонує застосування чіткої систем критеріїв FAHP-TOPSIS або подібного багатокритеріального методу для оцінювання ефективності тракторів подвійного призначення за комплексом показників (продуктивність, енергоефективність, гнучкість, універсальність, витрати та тиск коліс на ґрунт). Дану модель автори протестували на основі реальних даних від фермерів у Мексиці, що в результаті дозволило отримати об'єктивний рейтинг тракторів, де оптимальний вибір не обов'язково найдешевший або найпотужніший, а той, що найкраще відповідає конкретним умовам господарства [5].

Проте для досягнення довгострокової ефективності найперспективнішим є впровадження технологій, що поєднують адаптивність, надійність та економічність у процесі експлуатації.

Сьогодні особливої актуальності набуває використання колісних тракторів у оборонному секторі як енергетичних модулів для машинно-тракторних агрегатів, які застосовуються під час будівництва фортифікаційних споруд, а також для забезпечення польотів авіації. Такі транспортні засоби відносяться до категорії подвійного призначення, тобто можуть використовуватися як у цивільній, так і у військовій сфері.

До транспортних засобів подвійного призначення належать:

- автомобілі, що здатні перевозити як цивільні, так і військові вантажі;
- колісні трактори, що можуть бути використані у складі засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів (далі – ЗАТЗП) для догляду за аеродромами цивільної та військової авіації;
- будівельно-дорожні машини, які можуть застосовуватись для облаштування оборонних позицій.

У Повітряних Силах Збройних Сил України експлуатується понад двадцять зразків ЗАТЗП, у складі яких використовуються спеціальні установки на базі колісних тракторів — теплова машина ТМ-59МГ на базі Т-155, комбінована очисна машина Т-16МГ, шнекороторні очищувачі ХТЗ-150К, техніка для догляду за ґрунтовими посадковими смугами ЮМЗ-6МГ тощо. Ці машини комплектуються пневматичними шинами з підвищеною прохідністю, що забезпечує ефективну роботу на різних типах ґрунтів [6].

Для підвищення прохідності таких машинно-тракторних агрегатів у військовій сфері та зменшення ущільнення ґрунту в аграрному секторі застосовуються шини з можливістю регулювання тиску. Ці системи дозволяють швидко адаптувати техніку до умов руху — від твердого покриття до м'якого або заболоченого ґрунту, наведено на рис. 2.

Основні заходи для запобігання ущільненню ґрунту:

- скорочення кількості проїздів техніки по полю;
- використання шин низького тиску;
- застосування багатоосних машин.

Виробники KUNN та Continental у межах кампанії *“Eliminating Soil Compaction”* продемонстрували ефективність правильного підбору шин і регулювання тиску в них [7]. Випробування з використанням агрегата KUNN Optimer XL 5000 показали, що зниження тиску в шинах трактора Fendt 720 майже удвічі порівняно з дорожнім режимом (9/12 psi проти 21 psi) істотно зменшує ущільнення ґрунту, пробуксовку та витрати пального, підвищуючи ефективність агротехнічних операцій [8].

Згідно з даними Continental, до 39% витрат, пов'язаних з ущільненням ґрунту, можна зменшити завдяки оптимальному вибору шин і тиску в них. Компанія також розробила

мобільний застосунок, який допомагає операторам визначати рекомендований тиск залежно від навантаження.



Рис. 2 – Евакуаційний колісний транспортний засіб з системою перемінного тиску в шинах

Таким чином, проблема раціонального підбору типорозмірів шин для транспортних засобів подвійного призначення є надзвичайно актуальною. Вона безпосередньо впливає на ефективність використання техніки, енергозбереження, збереження ґрунтів і розвиток оборонно-промислового комплексу України.

Огляд сучасних технологій виготовлення шин.

Сучасний розвиток шинної промисловості спрямований на підвищення довговічності, енергоефективності та адаптивності шин до різних умов експлуатації. Виробники розробляють нові матеріали каркаса, вдосконалюють конструкцію протектора, використовують цифрові технології контролю тиску та навантаження.

Одним із перспективних напрямків є впровадження технологій IF (Increased Flexion) та VF (Very High Flexion), що забезпечують підвищену гнучкість боковини шини. Такі шини дозволяють зменшити тиск у контакті з ґрунтом без втрати несучої здатності. Це, у свою чергу, сприяє зменшенню ущільнення ґрунту та підвищенню прохідності МТА у важкодоступних місцях театру бойових дій.

Компанії Michelin, Trelleborg, Mitas, BKT, Continental активно впроваджують ці технології у своїх продуктах. Наприклад, шини серій Michelin Ultraflex та Trelleborg TM1000 High Power здатні працювати при зниженому тиску до 0,8 бар, що значно знижує питомий тиск на ґрунт і покращує зчеплення.

Важливим напрямом є також застосування вбудованих систем моніторингу тиску (TPMS), які дозволяють автоматично регулювати тиск у шинах у процесі руху техніки. Такі системи вже інтегровані у трактори провідних виробників, зокрема John Deere, Fendt та Claas.

Компанія Mitas розробила систему AirCell — резино-кордний ресивер, що монтується безпосередньо в шину на обід та займає близько 30% внутрішнього об'єму шини, наведено на рис. 3. Система дозволяє змінювати тиск у шині в межах 80–180 кПа за 12–40 секунд, що забезпечує високу оперативність адаптації до змін умов експлуатації. У поєднанні з радіальними шинами ця технологія виступає конкурентною альтернативою категоріям IF та VF.

У контексті транспортних засобів подвійного призначення ці технології особливо важливі, оскільки забезпечують швидке переналаштування колісної техніки при переході з твердого покриття на м'який ґрунт або пісок. Це підвищує універсальність техніки та її придатність до роботи в умовах військової або надзвичайної ситуації.

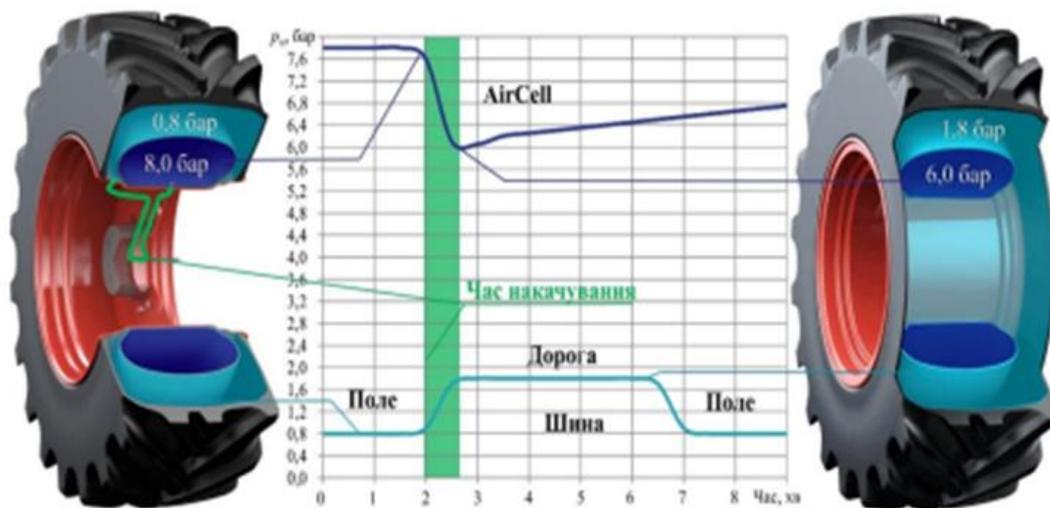


Рис. 3 – Система AirCell від компанії Mitas

Методика визначення раціональних типорозмірів шин.

Для вибору оптимального типорозміру шини враховуються такі параметри:

- маса транспортного засобу;
- площа контакту з ґрунтом;
- допустимий питомий тиск;
- конструкційні особливості (кількість осей, тип приводу, геометрія профілю).

Раціональний типорозмір визначається з умови мінімізації питомого тиску на ґрунт при забезпеченні необхідної тягової сили. При цьому тиск у шині p має задовольняти співвідношення:

$$p = \frac{G}{F_c} \quad (1)$$

де: G — навантаження на колесо; F_c — площа контакту шини з ґрунтом. Збільшення діаметра та ширини шини збільшує F_c , що дає змогу знизити p , проте водночас впливає на енергетичні витрати та керованість.

Для транспортних засобів подвійного призначення доцільно використовувати шини з можливістю змінного тиску в діапазоні 0,6–1,8 бар, що дозволяє адаптувати техніку до різних дорожніх умов без втрати стійкості.

Результати дослідження та практичні рекомендації

На основі аналізу експериментальних даних встановлено, що:

- зниження тиску в шинах на 20–25% порівняно з номінальним значенням забезпечує зменшення ущільнення ґрунту до 35%;
- використання шин типу VF 650/65R38 замість стандартних моделей дає змогу підвищити коефіцієнт зчеплення на 12–15%;
- застосування систем автоматичного регулювання тиску знижує витрати пального на 4–6% під час польових робіт.

Практичні випробування з використанням тракторів ХТЗ-150К-09 та John Deere 7310R підтвердили, що шини низького тиску забезпечують не лише підвищення прохідності, а й зменшення буксування, особливо на вологих ґрунтах.

Розрахунки показали, що оптимальним для машинно-тракторних агрегатів подвійного призначення є застосування шин типорозмірів IF 600/65R34 (передні колеса) та VF 710/70R38 (задні колеса). Це поєднання забезпечує баланс між тяговими характеристиками, стабільністю та мінімальним впливом на структуру ґрунту.

Висновки.

У статті проведено аналіз сучасних методів вибору раціональних типорозмірів шин транспортних засобів подвійного призначення з урахуванням вимог енергетичної ефективності та збереження ґрунтів.

Визначено, що використання шин з пониженим тиском (IF/VF технології) дозволяє істотно зменшити питомий тиск на ґрунт без втрати несучої здатності.

Запровадження систем регулювання тиску в шинах забезпечує адаптацію техніки до змінних умов експлуатації, що особливо важливо для транспортних засобів цивільного та військового призначення.

Практичні результати підтверджують, що раціональний підбір шин за типорозміром та конструкційними параметрами сприяє підвищенню прохідності, зменшенню енерговитрат і продовженню терміну служби як шин, так і машинно-тракторних агрегатів.

Використання транспортних засобів з системою регулювання тиску в шинах суттєво зменшує деградаційний вплив на ґрунтове середовище. Для екологічно безпечної експлуатації важливо оптимізувати параметри тиску залежно від типу ґрунту, вологості та маси машини.

Отримані результати можуть бути використані у процесі модернізації машинно-тракторного парку, техніки військового призначення її підготовки для роботи в умовах надзвичайних ситуацій та під час проектування транспортних засобів подвійного призначення.

Перспективним напрямом є розроблення автоматизованих систем регулювання тиску, які враховують показники ґрунту в реальному часі. Змінний (або регульований) тиск шин впливає на поведінку транспортного засобу, на покриття дороги, на тягу та керуваність.

Список літератури:

1. Ребров О. Ю. Наукове обґрунтування підвищення ефективності колісних рушіїв сільськогосподарських тракторів на енергоємних технологічних операціях обробітку ґрунту [Електронний ресурс] : дисертація доктора технічних наук; НТУ "ХПІ". – Харків, 2021. – 423 с.
2. Ребров О.Ю., Малько М.М., А.О Реброва, М.С. Якунін. Методика визначення раціональних типорозмірів шин для комплектування колісних сільськогосподарських тракторів. Харків: Вісник НТУ "ХПІ". Серія Автомобіле- та тракторобудування 2023 №1. С. 117 – 125.
3. Кожушко А.П., Ткачов В.Ю. Імітаційне моделювання руху електротрактора з урахуванням експлуатаційних режимів роботи. Харків: Вісник НТУ "ХПІ". Серія Автомобіле- та тракторобудування 2023 №1. С. 83 – 90.
4. Якунін М.С. Аналіз методів зменшення питомого тиску на ґрунт колісних тракторів сільськогосподарського призначення / М.С. Якунін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 2023.: XXXI міжнар. науково-практич. конф. MicroCAD-2023, 17-20 травня 2023 р.: тези доп. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – С. 271. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/69404>.
5. J. L. García-Alcaraz, J. A. Cano-Carrillo, A. R. Vargas-Rodríguez. "Agricultural Tractor Selection: A Hybrid and Multi-Attribute Approach", Sustainability, 2016, Vol 8, No 2, 157.
6. Леоненко О.М., Краснокутський В.М. Проблемні питання щодо норм напруцювання пневматичних шин автомобільної та електрогазової техніки під час забезпечення польотів авіації «Актуальні проблеми діяльності складових сектору безпеки і оборони України (до 10-ої річниці створення Національної гвардії України)» всеукраїнська науково-практична конференція Національна академія Національної гвардії України 24 жовтня 2024 року м. Харків. С. 387-389.
7. Ребров О.Ю., Петренко О.Г. Формування методів визначення раціональних типорозмірів шин для комплектування колісних тракторів. Новітні технології – для захисту повітряного простору XXI міжнародна наукова конференція Харківського Національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба 09 – 10 квітня 2025 року Харків. С. 461.

8. Коваленко А. Зниження тиску в шинах зменшує ущільнення ґрунту [Електронний ресурс] / А. Коваленко // AgroTimes. – 20 січня 2022. – Режим доступу: <https://agrotimes.ua/tehnika/znyzhennya-tysku-v-shynah-zmenshuje-ushhchilnennya-gruntu/> (дата звернення: 27.01.2026).

References (transliterated):

1. Rebrov O. Yu. Naukove obgruntuvannya pidvyshchennia efektyvnosti kolisnykh rushiiv silskohospodarskykh traktoriv na enerhoiemnykh tekhnolohichnykh operatsiiakh obrobitku ґрунту [Elektronnyi resurs] : dysertatsiia doktora tekhnichnykh nauk; NTU "KhPI". – Kharkiv, 2021. – 423 s.
2. Rebrov O.Iu., Malko M.M., A.O Rebrova, M.Ie. Yakunin. Metodyka vyznachennia ratsionalnykh typorozmiriv shyn dlia komplektuvannya kolisnykh silskohospodarskykh traktoriv. Kharkiv: Visnyk NTU "KhPI". Serii Avtomobile- ta traktorobuduvannya 2023 №1. S. 117 – 125.
3. Kozhushko A.P., Tkachov V.Iu. Imitatsiine modeliuвання rukhu elektrotraktora z urakhuvanniam ekspluatatsiinykh rezhymiv roboty. Kharkiv: Visnyk NTU "KhPI". Serii Avtomobile- ta traktorobuduvannya 2023 №1. S. 83 – 90.
4. Iakunin M.Ie. Analiz metodiv zmeshennia pytomoho tysku na hrunt kolisnykh traktoriv silskohospodarskoho pryznachennia / M.Ie. Yakunin // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia. 2023.: KhXKhI mizhnar. naukovo-praktych. konf. MicroCAD-2023, 17-20 travnia 2023 r.: tezy dop. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2023. – S. 271. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/69404>.
5. J. L. García-Alcaraz, J. A. Cano-Carrillo, A. R. Vargas-Rodríguez. “Agricultural Tractor Selection: A Hybrid and Multi-Attribute Approach”, Sustainability, 2016, Vol 8, No 2, 157.
6. Leonenko O.M., Krasnokutskyi V.M. Problemni pytannia shchodo norm napratsiuвання pnevmatychnykh shyn avtomobilnoi ta elektrohozovoi tekhniki pid chas zabezpechennia polotiv aviatsii «Aktualni problemy diialnosti skladovykh sektoru bezpeky i oborony Ukrainy (do 10-oi richnytsi stvorennia Natsionalnoi hvardii Ukrainy)» vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia Natsionalna akademiia Natsionalnoi hvardii Ukrainy 24 zhovtnia 2024 roku m. Kharkiv. S. 387-389.
7. Rebrov O.Iu., Petrenko O.H. Formuvannya metodiv vyznachennia ratsionalnykh typorozmiriv shyn dlia komplektuvannya kolisnykh traktoriv. Novitni tekhnolohii – dlia zakhystu povitrianoho prostoru XXI mizhnarodna naukova konferentsiia Kharkivskoho Natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl im. I. Kozheduba 09 – 10 kvitnia 2025 roku Kharkiv. S. 461.
8. Kovalenko A. Znyzhennia tysku v shynakh zmenshuie ushchilnennia ґрунту [Elektronnyi resurs] / А. Коваленко // AgroTimes. – 20 січня 2022. – Режим доступу: <https://agrotimes.ua/tehnika/znyzhennya-tysku-v-shynah-zmenshuje-ushhchilnennya-gruntu/> (data zvernennia: 27.01.2026).

Надійшла (received) 13.12.2025 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Ребров Олексій Юрійович (Rebrov Oleksii) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автомобіле- та тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-9992>; e-mail: alexrebrov0108@gmail.com

Петренко Олексій Геннадійович (Petrenko Oleksii) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автомобіле- та тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4479-8608>; e-mail: aleksej.petrenko88@gmail.com