

<https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-04>

УДК . 621. 87

¹ СУПОНЄВ В.М., доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин
e-mail: v-suponev@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

¹ РАГУЛІН В.М., кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова
e-mail: ragulinrvn@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>

¹ РОЗЕНФЕЛЬД М.В., старший викладач кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова
e-mail: kr426571@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6397-7319>

¹ НАВОЛОКОВ В.В., аспірант кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин
e-mail: slaviknavolokov@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0258-1397>

¹ ЛЕМЕЦЬ О.О. аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова
e-mail: m1a24loo@stud.khadi.kharkov.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0433-9736>

¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА БЕЗТРАНШЕЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті наведено аналіз сучасних безтраншейних технологій будівництва комунікаційних мереж, до яких належать трубопроводи для постачання води та енергоносіїв, електричні кабелі та кабелі зв'язку. Оскільки безтраншейне прокладання комунікацій полягає у створенні порожнини в ґрунті, то були розглянуті відповідні технічні засоби та процеси, які при цьому відбуваються.

У зв'язку з тим, що метою екологічної експертизи проектів виробництва робіт є мінімізація антропогенного та технічного впливу на довкілля, збереження та покращення їх властивості заради здоров'я людини метою статті було виявлення особливостей цих технологій саме з точки зору екологічної безпеки. У роботі були проаналізовані діючі нормативи та вимоги екологічної безпеки по кожному об'єкту стандартизації окремо. А саме: охорона водних ресурсів, охорона повітряного басейну, охорона якості та властивості ґрунтів.

Враховуючи, що земляні роботи пов'язані зі значною втратою врожайності сільськогосподарських культур, то додатково була дана оцінка впливу на неї процесів структурних змін ґрунту при створенні скважин у ґрунті шляхом його радіального ущільнення. Зроблені відповідні висновки та практичні рекомендації для безтраншейного прокладання підземних комунікацій.

Тенденції розвитку сучасних технологій будівництва йде шляхом безтраншейних методів ведення будівельних робіт, які мають свої особливості та вплив на екологічну безпеку довкілля. Розглядання сучасних безтраншейних технологій з точки зору екологічної безпеки навколишнього середовища є актуальним питанням.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: розподільні трубопроводи, газопроводи, нафтопроводи, земляні роботи, реконструкція трубопроводів, техногенні катастрофи, надійність постачання енергоносіїв, екологічна безпека, навколишнє середовище.

Як цитувати: Супонєв В.М., Рагулін В.М., Розенфельд М.В., Наволоков В.В., Лемець О.О. (2025). Екологічна безпека безтраншейних технологій. Машинобудування. 2025. Вип. 36 С. 38-50.
<https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-04>



Вступ

На сьогоднішній день в Україні перебувають в експлуатації десятки тисяч кілометрів магістральних та розподільчих трубопроводів різного призначення. Як правило, свого часу вони були виготовлені зі сталевих труб, на які гарантійний термін служби при підземній схемі будівництва складає 25 років. Якщо врахувати, що активне будівництво газо-, нафто-, водо- та продуктопроводів припадає на 60-ті та 70-ті роки, то можна припустити, що фізичне зношування багатьох з них уже досягло свого критичного стану. Надійність роботи після цього різко падає, а ризик аварій

зростає. Витоку транспортованого середовища при цьому призводять не тільки до великих економічних втрат, а й наносять вред довкіллю. Особливо якщо йдеться про транспортування нафти, аміаку, газу та води. Встановлено [1], що продовження терміну експлуатації трубопроводів після гарантійного може бути збільшено до 40-50 років шляхом їхнього капітального ремонту, якщо стан труби залишається задовільним. Однак цей період обмежений. Згодом економічні витрати будуть такими, що доцільніше просто збудувати новий трубопровід.

Аналіз технічного стану трубопровідних мереж

Аналіз технічної інформації та офіціальних даних показав, що Україна має одну з найрозвиненіших трубопровідних транспортних систем енергоносіїв у світі. Нафтотранспортна система України за даними АТ «Укртранснафта» має загальну протяжність понад 4766 км та побудована з трубопроводів діаметром 219 мм...1220 мм.

Гарантійний термін безпечної експлуатації нафтопроводів, залежно від їх типу та ізоляційного покриття, становить 25...33 роки. Наразі вони на 90 % відпрацювали свій амортизаційний рядок [1], що підтверджує термін фактичної експлуатації трубопроводів за роками рис.1 [2, 3]. Технічний стан нафтопроводів України є вкрай незадовільним, а їхня лінійна частина трубопроводів підтримується у працездатному стані лише завдяки виконанню ремонтних робіт на ділянках, які потребують невідкладного відновлення.

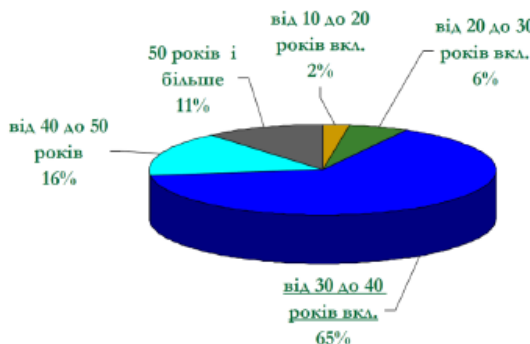


Рис. 1 – Термін експлуатації нафтопроводів

Fig. 1 – Lifespan of oil pipelines

Газотранспортна система (ГТС) країни, згідно з даними ПАТ «Укртрансгаз», на цей час складає понад 35710 км різного діаметру. Але поточний стан ГТС України (див. рис. 2) [4], внаслідок загальних кризових явищ у країні та в Європі, також є вкрай незадовільним. У більшості трубопроводів необхідно замінити ізоляційне покриття, покращити засоби захисту від корозії, а на деяких ділянках повністю замінити зношений трубопровід на новий.

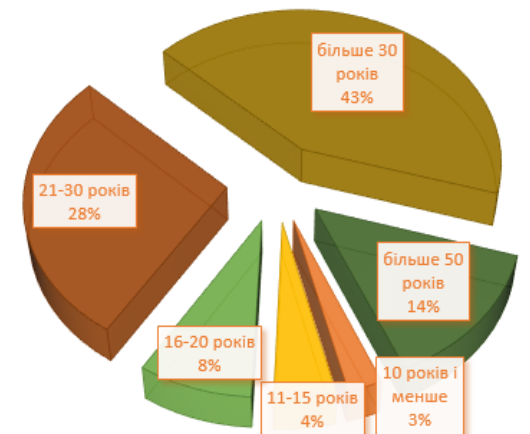


Рис. 2 – Термін експлуатації газопроводів
Fig. 2 – Lifespan of gas pipelines

На сьогоднішній день 43 % газопроводів відпрацювали вже свій амортизаційний ресурс та майже 57 % знаходяться в експлуатації понад 30 років, що є критичною межею їх безпечної експлуатації. Щорічна потреба у ремонті трубопроводів складає до 2,5 тис. км...3,0 тис. км. Але в

наш час, у зв'язку з важкою економічною ситуацією в Україні, роботи з відновлення газопроводів майже не ведуться.

З наведеного видно, що технічний стан лінійної частини магістральних нафто- та газотранспортних систем знаходиться в дуже незадовільному стані.

Через це все частіше виникають витоки та втрати продуктів через свищі крізь втомлені тріщини в трубах та через корозійне зношування металу труб. Такі втрати стають дедалі безпечнішими, що призводить до аварій та значних фінансових втрат та екологічних проблем. Статистичні дані [5] свідчать, що кількість аварій неухильно зростає, особливо на трубопроводах, у яких термін експлуатації перевищує 25...35 років.

Аналіз причин аварій на нафто- та газопроводах свідчить, що переважною причиною (37 %) з усіх аварій є корозійне руйнування металу труб.

Загальна протяжність магістральних нафто- та газопроводів у США, у тому числі місцевого значення, становить понад 716 тис. км, з яких понад 448 тис. км – газопроводи та 268 тис. км. нафто- та продуктопроводи. Технічний стан цих трубопроводів не набагато кращий, ніж в Україні. Їх відновлення можливе лише за рахунок виконання капітального ремонту труб, що обумовлює виконання величезних об'ємів земляних робіт з відкриттям та закриттям підземних транспортних комунікацій або прокладання нових сіток [6].

Аналіз технологій безтраншейного прокладання трубопроводів та методів розробки ґрунту

Технологія будівництва трубопроводів передбачає проведення цілого циклу робіт пов'язаних з рекультивацією земель, розробки ґрунту, укладання нового трубопроводу та його засипання [7]. На кожному етапі задіяна важка будівельна техніка: бульдозери, екскаватори, трубоукладачі, транспортні засоби тощо. Загальна ширина смуги відводу для будівництва тільки для труб діаметром до 426мм становить 25м. Для великих діаметрів до 1420 мм до 36 м. Оскільки траси трубопроводів проходять, як правило, по сільськогосподарських угіддях і пахатних землях, то можна собі уявити масштаби руйнувань природи та екологічних порушень, які відбуваються внаслідок впливу на навколишнє середовище від техніки, що застосовується. Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки при будівництві та ремонті трубопроводних систем є застосування сучасних безтраншейних технологій, які багато в чому дозволяють уникнути вище перелічених проблем: відмовитися від масової вирубки дерев, перемішування родючого та мінерального шарів ґрунту, переущільнення ґрунту, забруднення ґрунту.

Під безтраншейними технологіями розуміють методи прокладання, заміни, ремонту, інспекції, виявлення та ліквідації дефектів підземних комунікацій різного призначення з мінімальним порушенням поверхні ґрунту [8].



Рис. 3 – Класифікація безтраншейних технологій прокладання комунікацій

Fig. 3 – Classification of trenchless communication laying technologies

До таких технологій відносяться (рис.3): прокладання трубопроводів методами заглиблення та протягування, призначених для лінійно протяжних об'єктів (ЛПО) та прокладання відносно коротких ділянок трубопроводів під водними перешкодами та дорогами методами проколу, продавлювання, розкочування та керованого буріння. Для великих діаметрів застосовуються технології тунелювання та щитової проходки.

Принцип роботи машин для безтраншейних технологій прокладання трубопроводів щодо невеликих діаметрів для розподільчих мереж та міжселяльних трубопроводів, діаметр яких зазвичай не перевищує 300мм, пояснюється рисунком 4.

Ці технології прокладання комунікацій отримали широке використання також і у світовій практиці [9-13].

Особливий інтерес останнім часом мають технології горизонтально-спрямованого буріння. Головним їх призначенням є подолання перешкод по дорозі траси трубопроводу як річок, доріг, об'єктів садово-паркової архітектури тощо. Висока точність проколу дозволяє використовувати технологію в обмежених міських умовах та місцях скупчення перетину комунікацій.

Принцип роботи технології горизонтально спрямованого буріння подано на рис. 5. Полягає він у виконанні піонерного проколу спеціальної прокольної головки керованої шляхом її обертання чи припиненням у потрібний момент. При цьому завдяки зміщенню центру головки відбувається зміщення траєкторії при статичному тиску головки на ґрунт через штанги. Контроль за процесом здійснюється за допомогою навігатора, що приймає сигнали від вбудованого в прокольної головки датчика.

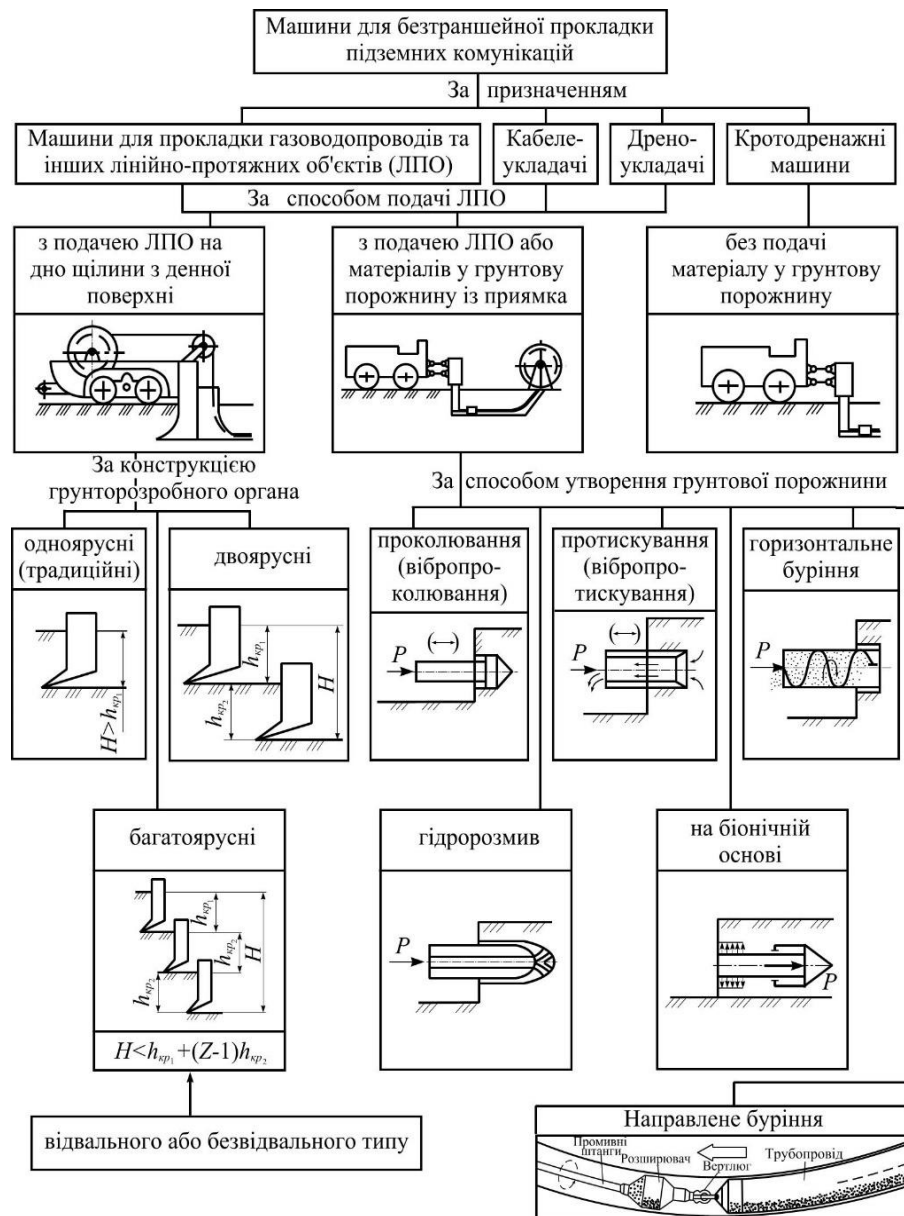


Рис. 4 – Основні технологічні схеми укладання ЛПО у підземний горизонт безтраншейними способами

Fig. 4 – Main technological schemes for laying LPO in the underground horizon using trenchless methods

Використання нових прогресивних технологій будівництва інженерних комунікацій призводить до появи «нових» чинників на довкілля (повітря, ґрунт, флору і фауну). Відсутність розритий та перемішування мінеральних шарів із гумусом безсумнівно позитивний екологічний прогрес. Однак використання бентонітових розчинів, порушення процесів тепло-, волого-, повітрооб-

міну в шарах ґрунту, різка зміна «щільності забудови» у світі підземних комунікацій теж буде позначатися на природній збалансованості довкілля багатьох живих істот, рослин, мікроорганізмів і тощо.

Метою досліджень є виявлення особливостей процесів безтраншейного прокладання інженерних комунікацій та встановлення їх впливу на довколишнє середовище.

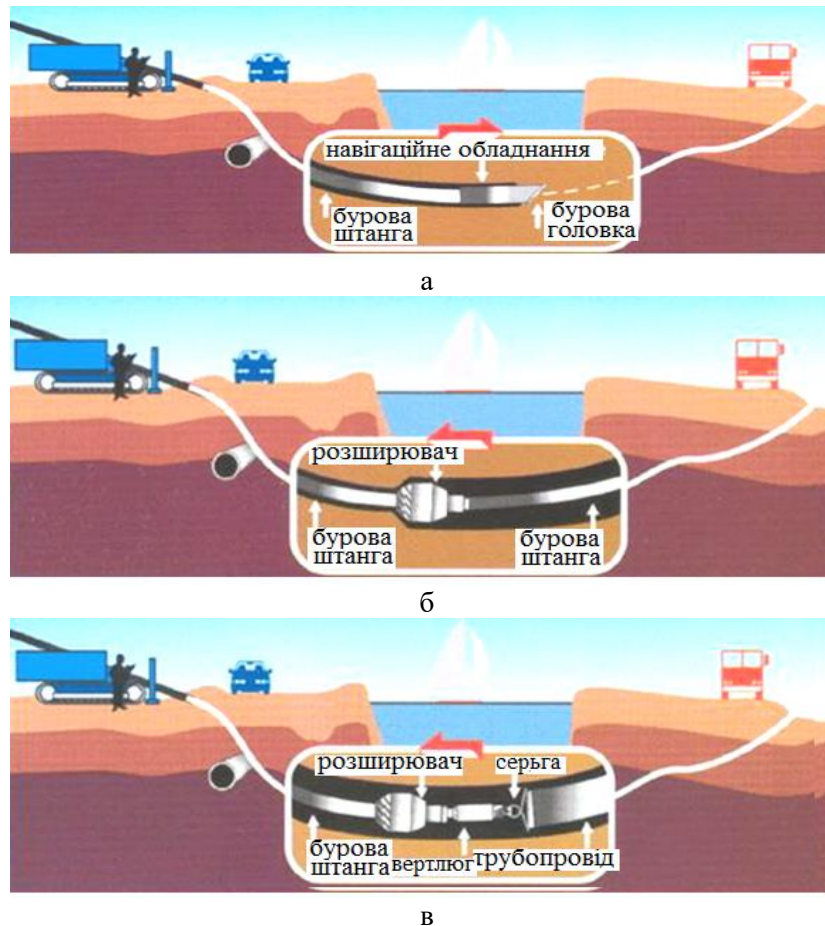


Рис. 5 – Технологічна схема будівництва переходів трубопроводів під перепонами методом горизонтально спрямованого буріння: а – формування пілотної свердловини статичним проколом з керуванням траєкторії; б – розширення пілотної свердловини методом буріння; в – затягування трубопроводу

Fig. 5 – Technological scheme for the construction of pipeline crossings under obstacles using the horizontal directional drilling method: a – formation of a pilot well by static puncture with trajectory control; b – expansion of a pilot well by drilling; c – tightening of the pipeline

Антропогенний та техногенний вплив безтраншейних технологій та нормативні вимоги екологічної безпеки до них

Враховуючи, що головною метою екологічної експертизи проектів виконання робіт є мінімізація антропогенного та техногенного впливу на навколишнє середовище, збереження та покращення її якості заради здоров'я та працездатності

людини проаналізуємо нормативи та вимоги екологічної безпеки щодо кожного об'єкта стандартизації окремо.

Охорона водних ресурсів. При виконанні робіт з використанням установок спрямованого буріння, трубозаглиблювачів, кабеле-

укладачів, пробійників необхідно неухильно виконувати технологічні, гідротехнічні, санітарні заходи, заплановані у проєктах організації будівництва та виконання робіт, особливо, якщо роботи ведуться поблизу річок, озер та водойм. При виконанні робіт підрядник зобов'язаний:

- не порушувати режиму використання водоохоронних зон; утримувати у справному стані очисні та інші водогосподарські споруди та технічні пристрої;
- склади-сховища витратних матеріалів та бурового шламу розміщувати поза водоохоронними зонами і при необхідності виконувати протифільтраційне екранування;
- в межах водоохоронної зони не заправлення машин ПММ, їх миття та ремонт;
- будівельні майданчики для організації виконання робіт розміщувати поза прибережною захисною смугою;
- не допускати погіршення якості поверхневих і ґрунтових вод, довкілля мікрофлори та фауни;
- проводити технічну та біологічну рекультивацию земель після завершення робіт;
- інформувати органи нагляду про аварійні та інші надзвичайні ситуації, що впливають на якість та стан водних ресурсів.

Скидання очищених стічних вод навіть у межах допустимого рівня має бути узгоджене з територіальними органами нагляду міністерства охорони здоров'я, Рибводгоспу, Мінекології та інших державних служб та комітетів. Вимоги до стічних вод та їх осад викладено, а технічні вимоги до методів випробувань сигналізаторами токсичності викладено у ДСТУ 4004-2000. Отримані дозволи на обсяг, концентрацію та періодичність дають право здійснювати скидання, зрошення, добриво або повторне використання стічних вод та розчинів.

Після завершення робіт передбачається проведення:

- робіт із відновлення системи місцевих водопотоків; розчищення русел, улоговин, каналів від ґрунту, що потрапив тощо;
- оцінки якості виконаних робіт та виявлення порушень рельєфу, укосів каналів, схилів ярів, балок та ін.
- вимірів якості води та водних об'єктів, зміни їх фізико-хімічного та біологічного складу; визначення можливості подальшого використання для господарсько-технічних та питних потреб.

Методики цих оцінок та випробувань, умови пробовідбору затверджені Держстандартами: ДСТУ 3913-99, 3920-99, ДСТУ ISO 5667-3-2001, ДСТУ 4107-2002 (ISO 5667-16-1998) та їх виконання є керівника.

Охорона повітряного басейну. Особливістю проведення будівельних робіт та експлуатації техніки є те, що більшість джерел, що забруднюють атмосферу, постійно змінює місце своєї дислокації, змінюється і навантаження на машини, за часом використання, за характером роботи, погодними умовами тощо тому визначення комплексного індексу забруднення повітря (за сукупністю впливу кількох шкідливостей) дещо утруднено. Як норматив якості атмосферного повітря встановлюють максимальну разову або середньодобову концентрацію шкідливих речовин (ГДК_{мр}, ГДК_{сд}) для робочої зони та для території будівельного майданчика, яка приймається як $ГДК_{тп} \leq 0,3 ГДК_{рз}$. У разі потреби регламентують і обсяги викидів в одиницю часу (ГДВ), і орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ), якщо немає нормативів ГДК (ГДК).

Методи вимірювання цих параметрів, а також самі норми для транспортних засобів з двигунами, що працюють на бензині, газі, дизпаливі, встановлені ДСТУ 4276-2004; 4277-2004; ДСТУ ISO 4226-2004 тощо.

Аналізатори вихлопних газів транспортних засобів та інші прилади контролю використовуються ДСТУ 2501-94 для вимірювання концентрацій окису вуглецю, вуглеводів, визначення димності вихлопу газових дизелів та інших показників забруднення атмосфери. З метою охорони повітряного басейну під час виконання будівельних робіт рекомендується планувати та виконувати наступні заходи:

- періодично змочувати будівельно-монтажні майданчики для зниження пилу під час виконання робіт;
- своєчасно проводити регламентні роботи з регулювання та ремонту ДВЗ з метою зниження викидів шкідливих речовин у продуктах згоряння;
- за несприятливих метеоумов знижувати інтенсивність викидів на 15% (посилення вітру, зміна його напрямку, висока температура повітря, підвищення атмосферного тиску);
- створювати санітарно-захисні зони (СЗЗ) у населених пунктах з урахуванням вимог ДНАОП 0.03-3.01-71 (СН 245-71);

наприклад, для будівельного об'єкта 5-го класу – мінімальний розмір $C_{33} = 50$ м;

- аналізувати спільну дію різних шкідливостей, одночасно які знаходяться в повітрі робочої зони, з урахуванням ефекту суматії та синергізму (взаємного посилення впливу або зниження захисних механізмів органів дихання людини).

У зоні будівництва можливе підвищення концентрації окису та двоокису азоту, сажі суматії двоокису азоту та сірчистого ангідриду, а також пилення порошоків для бентонітових сумішей.

Охорона якості та властивостей ґрунтів. Виконання земляних робіт, використання бентоніту при безтраншейних технологіях прокладання інженерних комунікацій навіть за дотримання всіх вимог ПОС та ППР все-таки призведе до деяких забруднення ґрунтів та зміни показників їх якості. Це можуть бути фонові, локальні зони забруднення, рідше регіональні та глобальні.

Найбільшу небезпеку для рослинного шару ґрунтів становлять хімічні забруднення, засолення та підвищена ерозія. Паспорт ґрунту, який дає найбільш повну характеристику фонових концентрацій (ДСТУ 4288-2004), дозволяє оцінити рівень забруднення за змінами рівнів забруднення за кожним показником. При цьому середнім ступенем вважається рівень вищий за фоновий, але не перевищує ГДК. Основні поняття, термінологія, забруднення та охорона якості ґрунтів викладені у серії міжнародних стандартів ДСТУ ISO 11074-1(2.4):2004. Порівнюючи чинні в Україні нормативи ГДК з аналогічними показниками країн західної Європи та США, можна зробити висновок, що у 80%

випадків українські нормативи є більш жорсткими. Але не завжди ці вимоги можна технічно та економічно реалізувати сьогодні. Ущільнення ґрунту вважається головним показником, який впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Ущільнене з'єднання його мінеральних частинок призводить до того, що коренева система рослин отримує обмежений доступ до води, повітря та харчових речовин, що в свою чергу обмежує зростання та врожайність культур, яка може досягати до 50% та більше [14].

На сьогодні ця проблема впливу щільності ґрунту на розвиток сільськогосподарських культур найкраще вивчена на прикладі ущільнення ґрунту від сільськогосподарської техніки [15-18]. Було встановлено, що збільшення щільності на $0,1 \text{ г/см}^3$ призводить до зниження врожайності зернових на 6 ц/га, а картопля на 15-25 ц/га. Проведеними дослідженнями також виявлено, що на суглинистих ґрунтах із глибини 0,4 м при абсолютній вологості 15-20% із збільшенням щільності збільшується її твердість та категорія. Це добре видно з дослідження слідів трактора К-701. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту від кількості проходки трактора наведено на рисунку 1.

З наведених графіків видно, що ущільнення ґрунту призводить до зміни його категорії міцності, яка з іншої при числі ударів ударника ДорНДІ (число С – 5-8) після 4 шести проходів трактору К-701 на глибині до 0,25 м переходить до третини (число ударів). Крім втрати врожайності зріс опір обробки ґрунту, який у свою чергу збільшив витрати палива.

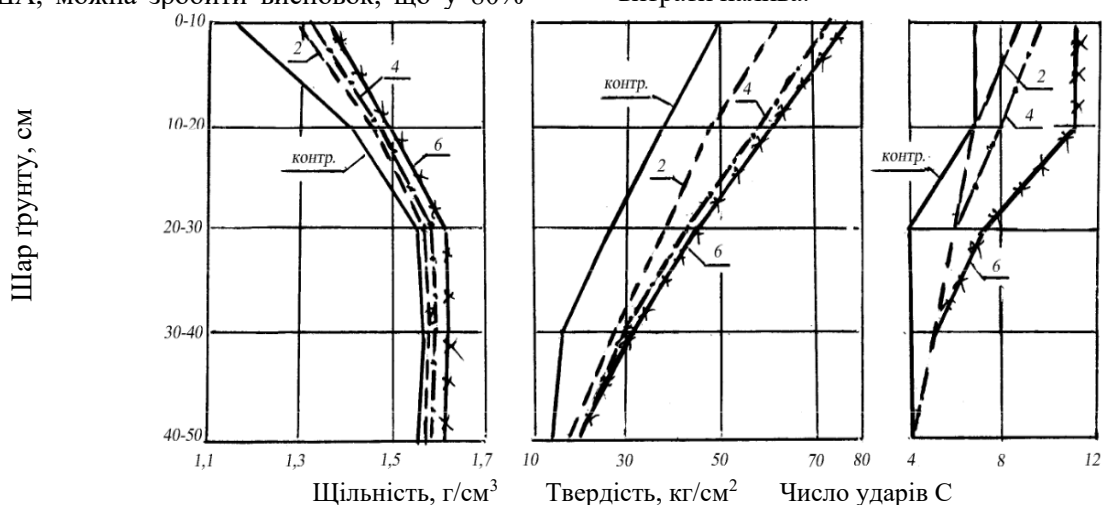


Рис. 6 – Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту по глибині під впливом коліс трактором К-701: 2, 4, 6 – число проходів трактора по одному сліду

Fig. 6 – Change in physical and mechanical properties of soil along the depth under the influence of wheels of the K-701 tractor: 2, 4, 6 – the number of tractors passes along one track

Різке погіршення властивостей ґрунту призвело до зниження врожаю, наприклад, зеленої маси кукурудзи на 40-60%.

Негативний вплив на стан ґрунту на врожайність та розвиток рослин впливає ущільнення ґрунту. Воно виникає як від тиску на поверхню гумусного шару від важкої техніки, так і від глибинного ущільнення ґрунту при його глибокому різанні та радіальному ущільненні ґрунту при формуванні свердловини.

У роботах [19, 22] пропонується вважати, що розмір зони структурних змін, що утворюється безпосередньо прилеглої до свердловини, має постійну твердість. Її розміри визначають відповідно зону пружно-пластичних деформацій, в якій щільність ґрунту поступово згасає в міру видалення в масив ґрунту від свердловини. Розмір мінімального діаметра зони структурних змін D_p безпосередньо пов'язаний з пористістю ґрунту n_0 , яка добре описується формулою:

$$D_p = D_{\text{скв}} \left[4,4 + \frac{1}{(0,01n_0)^{2,25}} \right] \quad (1)$$

де $D_{\text{скв}}$ – діаметр свердловини, м;

n_0 – природна пористість ґрунту, %

На рисунку представлено графічне зображення розмірів зони структурних змін ґрунту для двох найбільш характерних діаметрів свердловин. $d_1 = 65$ мм і $d_2 = 108$ мм, які використовують при лідерній проходці.

На рисунку представлений графік залежності мінімального розміру зони структурних деформацій для трьох значень пористості ґрунту: $n_0 = 38\%$; $n_0 = 45\%$; $n_0 = 53\%$, які характерні для найпоширеніших ґрунтів на території України суглинку та супіску з числом ударів ударника ДорНДІ 5-7 разів.

Як видно із графіків, представлених на рис.7–8 залежності зони структурних змін та мінімальної глибини проколу справді носять однаковий характер залежності від пористості ґрунту. Також проглядається пряма залежність мінімального розміру зони структурних змін при проколі ґрунту.

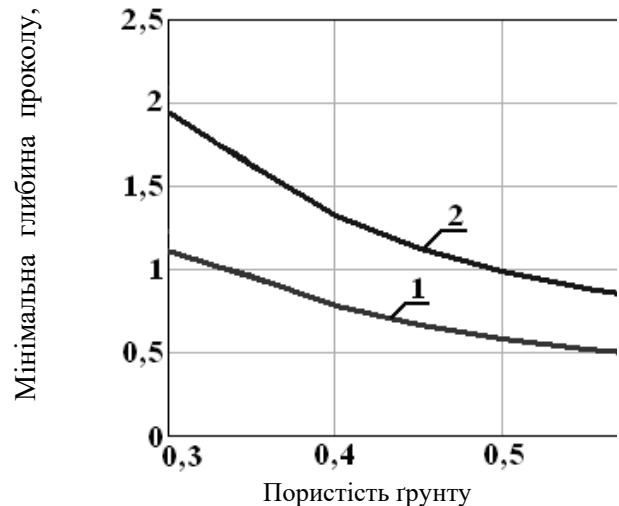


Рис. 7 – Залежність мінімальної глибини проколу від пористості ґрунту: 1 – для проколу $d_1 = 65$ мм; 2 – для діаметра проколу $d_2 = 108$ мм

Fig. 7 – Dependence of the minimum puncture depth on soil porosity 1 – for puncture $d_1 = 65$ mm; 2 – for puncture diameter $d_2 = 108$ mm

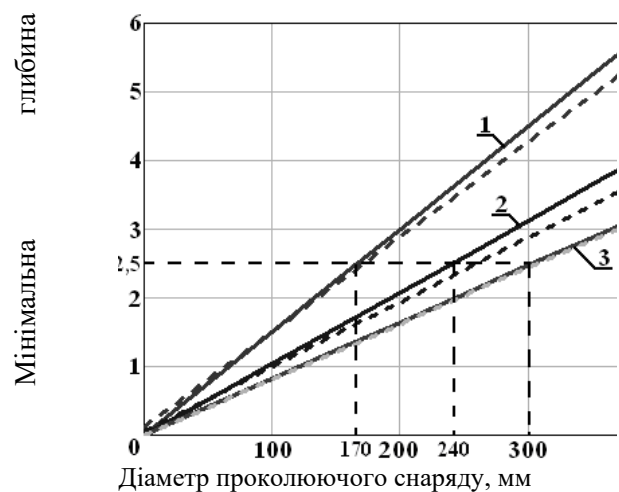


Рис. 8 – Залежність мінімальної глибини проколу свердловини від діаметра конусного наконечника

— розрахункові значення;

--- експериментальні значення;

1 – $n_0 = 38\%$; 2 – $n_0 = 45\%$; 3 –

$n_0 = 53\%$

Fig. 8 – Dependence of the minimum depth of the well puncture on the diameter of the cone tip

— calculated value; --- experimental value;

1 – $n_0 = 38\%$; 2 – $n_0 = 45\%$; 3 –

$n_0 = 53\%$

З метою запобігання забруднення та деградації ґрунтів, а також зниження прямих втрат ґрунтового гумусу під час виконання робіт необхідно виконувати наступне:

- контролювати межі землевідведення за проектними дослідженнями, не допускаючи руху транспорту та будівельної техніки поза встановленими маршрутами;
- по можливості застосовувати будівельні машини та механізми, що мають мінімальний питомий тиск рушія;
- виключати скидання та витік ПММ, неочищених промстоків та інших забруднювачів на поверхню ґрунту;
- виконувати гідроізоляцію майданчиків для зберігання техніки та під іншими об'єктами, де можливий витік забруднюючих рідин;
- дотримуватись вимог екологічних, агротехнічних, санітарно-гігієнічних, будівельних та інших нормативів, пов'язаних з подальшим використанням та ре культивациєю земель.

Для запобігання ерозії рекомендується:

- максимально зберігати природний стік та водопропускні пристрої;
- застосовувати настили, сітки для стабілізації схилів з крутістю 2 і більше градусів;
- при рекультивациі розорювати ґрунт уперек схилу з метою недопущення утворення лінійних борозден, колії, канави.

Всі ці заходи дозволяють зберегти властивості та якість ґрунту, особливо його родючого шару.

Основні завдання, які потрібно вирішувати підвищення екологічної безпеки будівельних технологій, зокрема. та безтраншейних, пов'язані зі створенням сучасних будівельних машин, їх робочих органів при звичайному режимі експлуатації, зниження техногенного впливу на середовище при аварійних ситуаціях та катастрофах.

Залишається маловивченим і вплив коливальних впливів (шум, вібрація, віброударне руйнування) на довкілля. Особливо шкідливий вплив вібровпливів. Існуючі нормативи стосуються переважно захисту людини (ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99) та техніки (СТСЕВ 1932-79, СТСЕВ 2602-80). А вплив цих факторів, що мають як прямий, так і опосередкований вплив на навколишнє середовище (у будівництві – це в основному земляні роботи) на сьогоднішній день взагалі ніяк не регламентуються.

Україна пов'язана підписаними договорами та ратифікованими конвенціями більш ніж за 20 міжнародними зобов'язаннями. Тому не можна допустити без системного та безконтрольного використання природних ресурсів, руйнування природи, надмірного впливу на середовище, а отже, і згубного впливу шкідливих наслідків внаслідок порушення екологічної рівноваги на людину.

Висновки

З проведеного аналізу технічного стану трубопроводів встановлено, що вони вимагають постійної підтримки та відновлення. Це пов'язано з фізичним зношенням труб, їх пошкодженням ізоляційного покриття та ржавінням металу. Ризики отримання катастроф техногенного та екологічного характеру зростають із збільшенням строку їх експлуатації.

З урахуванням економічної нецільності подальшої підтримки робочого стану трубопроводів шляхом безкінечного латання дір пропонується замінити їх на нові використання безтраншейних технологій ремонту, або нового будівництва.

Перехід на такі технології у порівнянні з традиційними траншейними дозволяють значно зменшити смугу відведення

для будівництва, що в свою чергу скорочує обсяг вирубки лісів, руйнування паханих земель, зменшує кількість важкої техніки.

У статті виявлено особливості роботи спеціальних машин та обладнання для створення комунікаційних полостей у ґрунті та встановлено їх вплив на екологічну безпеку довколишнього середовища.

У роботі проаналізовано діючі нормативи та вимоги екологічної безпеки по кожному об'єкту стандартизації окремо. А саме: охорона водних ресурсів, охорона повітряного басейну, охорона якості та властивості ґрунтів. Науково було доведено, що безтраншейне формування комунікаційних порожнин шляхом радіального ущільнення ґрунту змінює його структуру на відстань до 15 діаметрів

свердловин. Що значно впливає на розвиток рослин та фруктових дерев.

Також виявлено вплив на продуктивність сільськогосподарських від ущільнення орної кулі ґрунту від коліс чи гусениць машин.

Отримані результати роботи можуть бути рекомендовані при створенні екологічної експертизи проектів та при виборі найбільш ефективних безтраншейних технологій та машин для їх використання.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувалась етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

- 1 Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Каб. м-в України від 15.03.2006 № 145-р. – Режим доступу : www.zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc. (дата звернення 14.11.2025)
- 2 Діак І. В. Газова промисловість України на зламі століть / І. В. Діак, З. П. Осінчук ; за ред. І. М. Короп. – Івано-Франківськ : Лілея-НВ, 2000. – 231 с.
- 3 Заключний документ Гаазької конференції з Європейської енергетичної хартії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995_061. (дата звернення 14.11.2025)
- 4 Костенко Є. О. Енерготранзитний потенціал України та перспективи його реалізації у контексті забезпечення енергетичної безпеки / Є. О. Костенко, В. В. Мірошніченко // Ефективна економіка. – 2012. – № 9.
- 5 Музико В. Д. Безпека та ресурсозбереження під час виконання капітального ремонту магістрального трубопроводного транспорту / В. Д. Музико, М. П. Кузьмінець, В. Х. Баланин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Харків : ХДМІ, 2010. Т. 1. С. 175–179.
- 6 Трубопровідний транспорт газу ; за ред. М. П. Ковалка. – Київ : Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. – 600 с.
- 7 Василюк В. М. Надійність та безпека транспортування нафти територією України [Електронний ресурс] / В. М. Василюк // Нафтогазовий комплекс України на шляху реформування, модернізації, розвитку : міжнар. конф. – Київ, 2016. – Режим доступу : oilgas-expro.com/static/content/img_razdel/demo/2/7.pdf. (дата звернення 14.11.2025)
- 8 Василюк В. М. Основні напрямки забезпечення надійності експлуатації магістральних нафтопроводів України / В. М. Василюк // Забезпечення експлуатаційної надійності систем трубопроводного транспорту : зб. доп. наук.-техн. семінару. – Київ : ІЕЗ ім. О. О. Патона, 2009. – С. 5–8.
- 9 Укртрансгаз. Ми транспортуємо та зберігаємо енергію незалежності [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://utg.ua>. (дата звернення 14.11.2025)
- 10 ДСТУ ISO 19011:2003. Настанови щодо здійснення аудитів систем керівництва якістю та (або) екологічного управління [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=7242 (дата звернення 14.11.2025)
- 11 13.020.30 – ISO. Група стандартів – оцінювання впливу на довкілля : електрон. ресурс. Режим доступу : <https://www.iso.org/ua/ics/13.020.30.html>. (дата звернення 14.11.2025)
- 12 ДСТУ 2984-95 Засоби транспортні дорожні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://dnaop.com/html/60087/doc-ДСТУ_2984-95. (дата звернення 14.11.2025)
- 13 ДСТУ 4276:2004. Система стандартів у галузі охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання ресурсів. Атмосфера. Норми і методи вимірювань димності [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY/dsty_4276-2004.pdf. (дата звернення 14.11.2025)
- 14 Alaoui A. Changes in soil structure guiding trafficability / Alaoui A., Diserens E. // Geoderma. – 2011. – Vol. 163, № 3–4. – P. 283–290.
- 15 Batey T. Soil compaction and soil management – a review / T. Batey // Soil Use and Management. – 2009. – Vol. 25, № 4. – P. 335–345.
- 16 Horn R. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment / Horn R., Domżzał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Van Ouwerkerk C. // Soil and Tillage Research. – 1995. – Vol. 35, № 1. – P. 23–36.

- 17 Nawaz M. F. Soil compaction and modelling: a review / Nawaz M. F., Bourrié G., Trolard F. // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2013. – Vol. 33. – P. 291–309. DOI: 10.1007/s13593-011-0071-8.
- 18 Sakai H. Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and tracks and Possibility of Accurate Estimate / Sakai H., Nordfjell T., Suadican K., Talbot B., Bøllehuus E. // *Croatian Journal of Forest Engineering*. – 2008. – Vol. 29, № 1. – P. 15–27.
- 19 Супонев В. М. Визначення величини зони деформування ґрунту конусно-циліндричним наконечником та тиску на бічній поверхні / В. М. Супонев // *Вісник ХНАДУ*. – 2018. – Вип. 83. – С. 22–28.
- 20 Suponiev V. Determination of deformation zone and lateral pressure on underground utilities / Suponiev V., Kravets S., Posmitukha A., Kulashenko Y. // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2018. – № 5/1 (43). – P. 11–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.146626.
- 21 Сучасний технічний стан магістральних трубопроводів та оцінка екологічної безпеки при транспортуванні по ним енергетичних носіїв / Богатов О. І., Супонев В. М., Рагулін В. М., Ярижко О. В., Мусійко В. Д. // *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. – 2022. – Вип. 99. – С. 151–158.
- 22 Determining the angle of the frontal working surface of the soil-piercing head asymmetrical tip for static soil-piercing / Suponyev, V., Ragulin, V., Oleksyn, V., Koval, O., Koval, A., Vysokovych, Y. // *Automobile Transport*. – 2024. – no 54, –25–31. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.54.0.03>. (дата звернення 14.11.2025)

Отримано: 10.10.2025 Прийнято: 14.11.2025 Опубліковано: 30.12.2025

¹**SUPONYEV V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Operation, Testing, and Service of Construction and Road Machinery

email: v-suponev@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

¹**RAGULIN V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Road Machinery
named after A. M. Kholodov

e-mail: ragulinrvn@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>

¹**ROZENFELD M.**, Senior Lecturer, Department of Construction and Road Machinery
named after A. M. Kholodov

email: kr426571@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6397-7319>

¹**NAVOLOKOV V.**, Postgraduate student of the Department of Operation, Testing, and Service
construction and road machinery

email: slaviknavolokov@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0258-1397>

¹**LEMETS O.**, postgraduate student of the Department of Construction and Road Machinery
email: m1a24loo@stud.khadi.kharkov.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0433-9736>

¹*Kharkiv National Automobile and Highway University
Yaroslava Mudrogo str. 25,61002, Kharkiv, Ukraine*

ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRENCHLESS TECHNOLOGIES

The article provides an analysis of modern trenchless technologies for the construction of communication networks, which include pipelines for water and energy supply, electrical cables and communication cables. Since trenchless laying of communications involves creating a cavity in the soil, the relevant technical means and processes that occur in this process were reviewed.

Due to the fact that the purpose of the environmental expertise of works production projects is to minimize anthropogenic and technical impact on the environment, preserve and improve their properties for the sake of human health, the purpose of the article was to identify the features of these technologies from the point of view of environmental safety. The paper analyzed the current standards and requirements for environmental safety for each standardization object separately. Namely: protection of water resources, protection of the air basin, protection of the quality and properties of soils.

Considering that earthworks are associated with a significant loss of crop yields, an additional assessment of the impact of soil structural changes on the yield was made when creating wells in the soil by

radial compaction. Relevant conclusions and practical recommendations for trenchless laying of underground communications were made.

Trends in the development of modern construction technologies are moving towards trenchless methods of construction work, which have their own characteristics and impact on environmental safety. Consideration of modern trenchless technologies from the point of view of environmental safety is a relevant issue.

KEYWORDS: distribution pipelines, gas pipelines, oil pipelines, earthworks, pipeline reconstruction, man-made disasters, reliability of energy supply, environmental safety, environment.

In cites: Suponyev V., Ragulin V., Rozenfeld M., Navolokov V., Lemets O. (2025). Environmental safety of trenchless technologies. Engineering, (36), 38-50. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-04> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication

References

- 1 Kabinet Ministriv Ukrainy 2006, *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku* [Energy strategy of Ukraine for the period up to 2030], viewed <www.zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc> (Last accessed November 14, 2025)
- 2 Diak, IV & Osinchuk, ZP 2000, 'Hazova promyslovist Ukrainy na zlami stolitt' [Gas industry of Ukraine at the turn of the century], Lileia-NV, Ivano-Frankivsk.
- 3 Haazka konferentsiia z Yevropeiskoi enerhetychnoi khartii 2006, 'Zakliuchnyi dokument' [Final document of the Hague Conference on the European Energy Charter], viewed <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995_061> (Last accessed November 14, 2025)
- 4 Kostenko, EO & Miroshnychenko, VV 2012, 'Enerhetranzitivnyi potentsial Ukrainy ta perspektyvy yoho realizatsii u konteksti zabezpechennia enerhetychnoi bezpeky' [Energy transit potential of Ukraine and prospects for its implementation in the context of energy security], *Efektivna ekonomika*, Vol. 9 (in Ukraine)
- 5 Musiiko, VD, Kuzminets, MP & Balanin, VKh 2010, 'Bezpeka ta resursozberezhennia pid chas vykonannia kapitalnoho remontu magistralnoho truboprovodnoho transportu' [Safety and resource saving during major repairs of trunk pipeline transport], *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti*, Vol. 1, Pp. 175–179 (in Ukraine)
- 6 Kovalko, MP, Hrudz, VYa, Mykhalkiv, VB et al 2002, *Truboprovodnyi transport hazu* [Pipeline gas transport], Ahentstvo z ratsionalnoho vykorystannia enerhii ta ekologii, Kyiv. (in Ukraine)
- 7 Vasyliuk, VM 2016, 'Nadiinst ta bezpeka transportuvannia nafty terytoriei Ukrainy' [Reliability and safety of oil transportation in Ukraine], *Naftohazovi kompleks Ukrainy na shliakhu reformuvannia, modernizatsii, rozvytku*, Kyiv, 26.10.2016, viewed <oilgas-expo.com/static/content/img_razdel/demo/2/7.pdf> (Last accessed November 14, 2025)
- 8 Vasyliuk, VM 2009, 'Osnovni napriamky zabezpechennia nadiinosti ekspluatatsii magistralnykh naftoprovodiv Ukrainy' [Main directions for ensuring reliability of operation of trunk oil pipelines], *Zabezpechennia ekspluatatsiinoi nadiinosti system truboprovodnoho transport*, Kyiv, Pp. 5–8 (in Ukraine)
- 9 Ukrtranshaz 2023, *My transportuemo ta zberihaemo enerhiu nezaleznosti* [We transport and store the energy of independence], viewed <<http://utg.ua>> (Last accessed November 14, 2025)
- 10 DSTU ISO 19011:2003 2003, *Nastanovy shchodo zdiisnennia auditiv system kerivnytstva yakistiu ta (abo) ekolohichnoho upravlinnia* [Guidelines for auditing management systems], viewed <https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=7242> (Last accessed November 14, 2025)
- 11 ISO 2023, *Grupa standartiv – otsiniuvannia vplyvu na dovkillia* [Group of standards – environmental impact assessment], viewed <<https://www.iso.org/ua/ics/13.020.30.html>> (Last accessed November 14, 2025)

- 12 DSTU 2984-95 1995, *Zasoby transportni dorozhni* [Road transport means], viewed <https://dnaop.com/html/60087/doc-ДСТУ_2984-95> (Last accessed November 14, 2025)
- 13 DSTU 4276:2004 2004, *Systema standartiv u haluzi okhorony navkolyshnoho seredovyshcha ta ratsionalnoho vykorystannia resursiv. Atmosfera. Normy i metody vimiryuvan dymnosti* [Standards system in environmental protection and rational resource use. Atmosphere. Methods of smoke measurement], viewed <https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY/dsty_4276-2004.pdf> (Last accessed November 14, 2025)
- 14 Alaoui, A & Diserens, E 2011, 'Changes in soil structure guiding trafficability' [Changes in soil structure guiding trafficability], *Geoderma*, Vol. 163, Pp. 283–290
- 15 Batey, T 2009, 'Soil compaction and soil management – a review' [Soil compaction and soil management – a review], *Soil Use and Management*, Vol. 25, Pp. 335–345
- 16 Horn, R, Domżzał, H, Słowińska-Jurkiewicz, A & Van Ouwerkerk, C 1995, 'Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environmen', *Soil and Tillage Research*, Vol. 35, Pp. 23–36
- 17 Nawaz, MF, Bourrié, G & Trolard, F 2013, 'Soil compaction and modelling: a review', *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 33, Pp. 291–309, DOI: 10.1007/s13593-011-0071-8
- 18 Sakai, H, Nordfjell, T, Suadican, K, Talbot, B & Bøllehuus, E 2008, 'Complex of forest machinery trafficability assessment', *Croatian Journal of Forest Engineering*, Vol. 29, Pp. 15–27
- 19 Suponiev, VM 2018, 'Vyznachennia velychyny zony deformuvannia hruntu konusno-tsylindrychnym nakonechnikom ta tysku na bichnii poverkhni' [Determination of deformation zone and lateral pressure of soil by cone-cylinder tip], *Visnyk KhNAHU*, Vol. 83, Pp. 22–28
- 20 Suponiev, V, Kravets, S, Posmitukha, A & Kulashenko, Y 2018, 'Determination of deformation zone and lateral pressure on underground utilities', *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 5/1 (43), Pp. 11–16, DOI: 10.15587/2312-8372.2018.146626
- 21 Bohatov, O, Suponiev, V, Ragulin, V, Yaryzhko, O & Musiiko, V 2022, 'Suchasnyi tekhnichniy stan mahistralnykh truboprovodiv ta otsinka ekolohichnoi bezpeky pry transportuvanni po nym enerhetychnykh nosiiv' [Current technical condition of main pipelines and assessment of environmental safety when transporting energy carriers along them], *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, iss. 99, Pp. 151–158. (in Ukraine)
- 22 Suponyev, V, Ragulin, V, Oleksyn, V, Koval, O, Koval, A & Vysokovych, Y 2024, 'Determining the angle of the frontal working surface of the soil-piercing head asymmetrical tip for static soil-piercing', *Automobile Transport*, no 54, Pp. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.54.0.03> (Last accessed November 14, 2025)

Submission received: 10/10/2025 Accepted: 11/14/2025 Published: 12/30/2025