

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В ПРОЦЕСІ БЕЗТРАНШЕЙНОГО СПОРУДЖЕННЯ ЛІНІЙНО-ПРОТЯЖНИХ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ І СПОСОБИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

Супонєв В. М.<sup>1</sup>, Рагулін В. М.<sup>1</sup>, Кравець С.В.<sup>2</sup>, Посвятенко Н. І.<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування

<sup>3</sup>Національний транспортний університет

***Анотація.** У статті наведено аналіз технологій спорудження лінійно-розподільних трубопроводних мереж сучасними безтраншейними методами заглиблення, протягування та проколу ґрунту. Визначено, що основою для створення ґрунтових порожнин для інженерних комунікацій цими методами є процес ущільнення ґрунту. У цьому випадку відбувається витиснення вологи, зменшення пористості та розповсюдження на велику відстань пружного стану та структурних змін у ґрунті, які також викликають зміну екологічного стану навколишнього середовища.*

***Ключові слова:** розподільні трубопроводи, лінійно-протяжні мережі, екологія, розроблення ґрунтів, комунікаційні порожнини, безтраншейне прокладання трубопроводів, щілина в ґрунті, свердловина.*

### Вступ

Забезпечення міст і селищ енергоносіями та водою здійснюється вздовж розподільних трубопроводних мереж. Останнім часом альтернативою траншейного способу їх будівництва стали так звані безтраншейні методи прокладання. Вони полягають у створенні свердловин у ґрунті або щілині, крізь які протягуються, або укладаються трубопроводні батоги. Процес здійснюється з повним, або частковим ущільненням ґрунту в прилеглий масив.

Зміни в ньому пористості, щільності та вологості порушують природній стан та викликають важкі екологічні наслідки, які пов'язані з низьким проростанням рослин і кореневою системою дерев у ньому, а також відображається на продуктивності сільськогосподарських культур. З огляду на те, що щорічно тільки в Україні треба прокладати сотні та тисячі кілометрів таких трубопроводів, витрати можуть бути дуже значними. Визначення розміру зон структурних змін ґрунту навколо створених безтраншейними методами порожнин у ґрунті є важливим практичним і актуальним питанням.

### Аналіз публікацій

Сучасні тенденції розвитку технологій прокладання підземних інженерних комунікацій спрямовані на вдосконалення безтраншейних методів створення горизонтально-спрямованих комунікаційних порожнин у

вигляді щілин і свердловин в ґрунті. Формування таких комунікаційних порожнин може здійснюватись різноманітними методами, які умовно можна поділити на два напрями [1]: без ущільнення в ґрунті та з ущільненням навколо робочого інструменту. До першого напряму належать методи буріння ґрунту, промивання гідравлічною рідиною під тиском та продавлювання кільцеподібними наконечниками [2]. До другого належать методи створення лінійно-протяжної щілини в ґрунті ножовими робочими орієнструментами та створення свердловин методами проколу ґрунту або його комбінація з методом буріння під час горизонтально-спрямованого буріння з попереднім керованим проколом ґрунту [3].

Процес визначення розміру зон ущільнення ґрунту під час його прорізання ножовим робочим інструментом досліджено в роботі [4], де зазначено, що руйнування ґрунту вздовж глибини здійснюється в 2 етапи: перший – в межах критичної глибини, коли відбувається руйнування ґрунту та випирання його назовні; другий – нижня частина повністю ущільнюється в дно та стінки щілини.

Робочі процеси зі створення комунікаційних порожнин циліндричної форми способом його радіального ущільнення навкрузи наведено в роботах [5].

Опір просуненню робочого інструменту циліндричної форми визначається його па-

раметрами та властивостями ущільненого ґрунту проаналізовано авторами в [6].

У роботі [7] розглянуто активні методи безтраншейних технологій, але авторами майже не досліджено статичний прокол.

У дослідженні [8] проаналізовано вибір способу здійснення робіт та подано детальний аналіз переваг і недоліків різноманітних технологій. А в роботах [9] досліджено безтраншейні технології спорудження та ремонту лінійно-протяжних трубопроводів.

У роботі [10] описані можливості розширення безтраншейних технологій до потрібних розмірів і способи здійснення цих процесів.

У дослідженні [11] визначено вплив напруженого стану ґрунту на комунікації, що розташовані над ними, та на труби, що прокладені на певній глибині.

Вирішенню проблеми зниження енерговитрат присвячено роботи [2, 12], де розглянуто процес проколювання ґрунту на невелику відстань до 50 м установками статичної дії. Також аналіз процесу статичного проколу ґрунту та його напружень навколо робочого органу під час формування свердловини подано в роботі [13].

Зону руйнування ґрунту навколо конічно-циліндричних робочих органів, що здійснюють прокол ґрунту та циліндричних наконечників з кільцевидним перерізом визначали в [1, 14, 15]. Було зазначено, що зона ущільнення досягає 4...6 діаметрів свердловини для конусно-циліндричних наконечників та в межах 2 діаметрів для циліндричних наконечників з кільцевидним перерізом, що працюють за комбінованим принципом. В останньому випадку зона руйнування визначена експериментально для конкретного типу ґрунту з конкретними фізико-механічними властивостями.

Ущільнення ґрунту є 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 до харчових речовин, що так само обмежує врожайність культур, і такі обмеження можуть досягати до 50% і більше.

На сьогодні проблема впливу щільності ґрунту на розвиток сільськогосподарських культур найкраще вивчена на прикладі ущільнення ґрунту від сільськогосподарської техніки. Було визначено, що збільшення щільності на  $0,1 \text{ г/см}^3$  призводить до знижен-

ня врожайності зернових на 6 ц/га, а картоплі на 15–25 ц/га. Проведеними дослідженнями також визначено, що на суглинистих ґрунтах з глибини 0,4 м за абсолютної вологості 15–20 % зі збільшенням щільності збільшується її твердість та категорія. Це доведено під час дослідження слідів трактора К-701. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту від кількості проходження трактора подано в роботі М. М. Погодіна (рис.1).

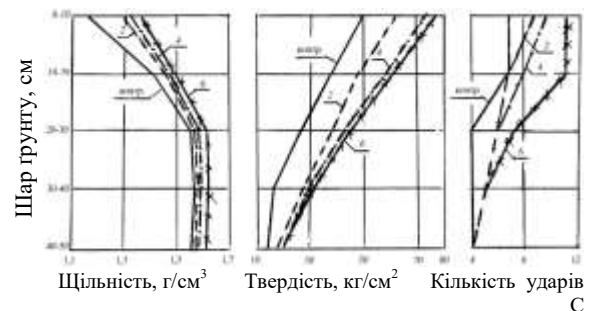


Рис. 1. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту за глибиною під впливом коліс трактора К-701: 2, 4, 6 – кількість проходів трактора вздовж одному сліду

Згідно з наведеними графіками, що ущільнення ґрунту призводить до зміни його категорії міцності, яка з другої за кількості ударів ударника ДорНДІ (кількість С – 5–8) після 4 шести проходів трактора К-701 на глибині до 0,25 м переходить до третьої (кількість ударів С – 9...16). Крім втрати врожайності, збільшився опір оброблення ґрунту, який також збільшив витрати палива.

Різке погіршення властивостей ґрунту призвело до зниження врожаю, наприклад, врожайність зеленої маси кукурудзи на знизилась до 40–60 %. Наслідок такого ущільнення спостерігався і в наступні роки.

Дослідження впливу ущільнення ґрунту після прокладання мереж розглянутими способами на продуктивність сільськогосподарських культур та їхню врожайність не проводились. Тому питання визначення розміру зон і зміни фізико-механічних властивостей ґрунту навколо свердловин або щілини, що утворюються статичним методом ущільнення ґрунту, для прокладання в них інженерних комунікацій є важливим практичним та актуальним.

### Мета роботи

Метою роботи є визначення рівня екологічної безпеки під час використання ножового та ґрунтопроколювального обладнання

під час безтраншейного прокладання лінійно-протяжних інженерних комунікацій.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) визначити розміри зон зміни щільності ґрунту навколо робочого обладнання, яке формує комунікаційні порожнини за принципом статичного ущільнення ґрунту, та закономірності зміни їхніх фізико-механічних властивостей;

2) порівняти отримані результати з результатами досліджень впливу ущільненості ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур і розвиток кореневої системи рослин;

3) подати науково-обґрунтовані рекомендації щодо вибору більш екологічно безпечних технологій і робочого обладнання для прокладання лінійно-протяжних об'єктів інженерних комунікацій.

### Безтраншейне спорудження інженерних комунікацій

Під час процесу безтраншейного прокладання інженерних комунікацій використовують два методи будівництва – заглиблення та протягування.

Для визначення зон деформування ґрунту навколо кожного типу робочого обладнання, що використовується, розглянемо закономірності їх роботи.

Схема прокладання комунікацій методом заглиблення у вертикальну ґрунтову щілину наведена на рисунку 2, де 1 – тракторна навіска; 2 – ножовий робочий орган; 3 – рамки, що направляють; 4 – трубоукладальне обладнання з клиновидною лобовою поверхнею; 5 – універсальний шарнір; 6 – тяглова балка; 7 – притискальний пристрій; 8 – ролики, що направляють; 9 – трубопровідний батіг; 10 – ґрунтова щілина.

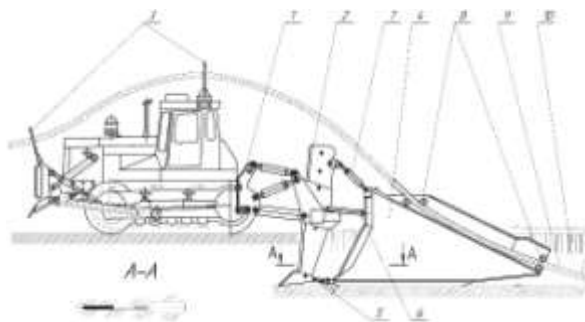


Рис. 2. Конструктивна схема ножового трубозаглиблювача для прокладання лінійно-протяжних інженерних комунікацій методом заглиблення

Традиційною формою ножового робочого інструменту у є загострена стійка з нахилом до горизонту під кутом  $\alpha$ . Схема руйнування ґрунту та розподіл напруження в ньому навколо ножа наведені на рисунку 3. Руйнування ґрунту розподіляється на дві зони. Ближче до поверхні відбувається часткове ущільнення ґрунту та випірання його зруйнованих частинок назовні. А в нижній частині відбувається повне ущільнення. Між ними існує ще одна перехідна зона, яку умовно можна прив'язати до так званої критичної глибини глибокого різання ґрунту  $H_{кр}$ , [10, 16]. Її значення може бути розраховано за залежністю (1), [5, 6].

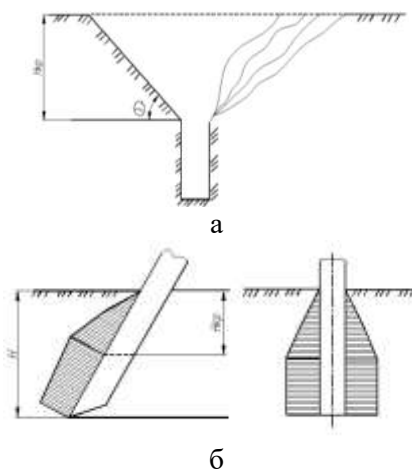


Рис. 3. Схема руйнування ґрунту ножовим робочим органом: а – профіль руйнування; б – епюри пружного стану ґрунту

Запропонована схема способу наведення дорожньої розмітки та автоматичного керування рухом автотранспортних засобів має такі елементи (рис. 3): узбіччя; проїзна частина; технологічний відсік; акумуляторні батареї (АКБ).

$$H_{кр} = \frac{a}{(\operatorname{tg}\alpha)^n K_{пер}} \epsilon, \quad (1)$$

де  $\epsilon$  – ширина ножа;  $\alpha$  – кут різання ґрунту ножом,  $H_{кр}$  – критична глибина різання ґрунту;  $K$  – коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту та геометричних параметрів ножа, 0,02–0,04 МПа;  $K_{пер}$  – коефіцієнт переходу від глибини сколу ґрунту до критичної глибини, 0,9...0,95;  $n$  – коефіцієнт апроксимації, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Ширина ножа  $b$  визначаються діаметром  $d$  комунікації, що прокладається, або футляра (захисної труби, в яку потім протягують комунікації), які мають вільно прокладатись в утворену щілину.

Зона ущільнення  $a_{деф}$  ґрунту (рис. 4) формується способом його деформації ножовою стійкою, яка має в перетині клинову форму (рис. 2). Вона може досягати  $a_{деф} = (4...6)b$ , залежно від типу ґрунту. Рекомендовано враховувати зону до  $10b$ . Але ці дані, отримані експериментально або за допомогою емпіричних розрахунків, є приблизними. Аналітичного визначення зони деформації ґрунту навколо ножа не виявлено.

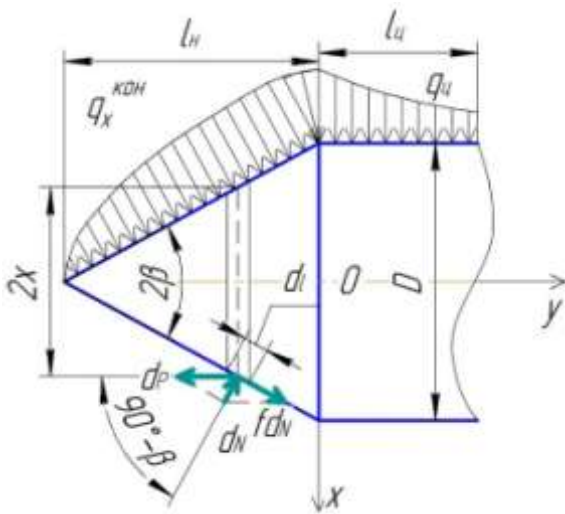


Рис. 4. Зони ущільнення ґрунту після деформації його ножовою стійкою

Розмір зони визначимо на основі закономірності збереження маси ґрунту до і після ущільнення клиновим наконечником згідно з формулою, яка запропонована в роботі [3]:

$$\left(a_{деф} + \frac{b}{2}\right)(H - H_{кр})\rho_{нр} = (H - H_{кр})b \int_0^{a_y} \rho_x dx, \quad (2)$$

де  $a_{деф}$  – відстань, на яку деформується ґрунт клиновією стійкою;  $\rho_x$  – закономірність зміни щільності ґрунту в деформованій зоні.

Закономірність зміни щільності ґрунту наведена на рисунку 3 та може бути записана як залежність (3):

$$\rho_x = \rho_{нр} + (1 - x/a_{деф})(\rho_{маx} - \rho_{нр}), \quad (3)$$

де  $\rho_{маx}$  – максимальна щільність ґрунту в боковій стінці отриманого отвору.

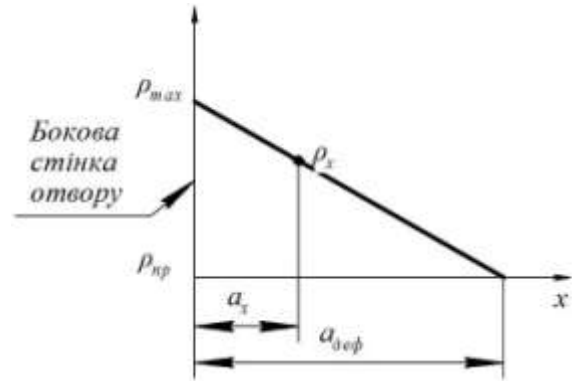


Рис. 5. Прийнята закономірність зміни щільності ґрунту

З огляду на (3) рівність (2) можна записати так:

$$\begin{aligned} \left(a_{деф} + \frac{b}{2}\right)\rho_{нр} &= \rho_{нр}a_{деф} + \\ + (\rho_{маx} - \rho_{нр})a_{деф} - (\rho_{маx} - \rho_{нр})\frac{a_{деф}}{2} &= \quad (4) \\ &= \frac{\rho_{маx} + \rho_{нр}}{2}a_{деф}. \end{aligned}$$

Середня щільність ґрунту  $(\rho_{маx} + \rho_{нр})/2 = \rho_{сеп}$  після проходження ножа визначено в роботі [17]:

$$\rho_{сеп} = \frac{\rho_{нр}}{1 - 1/\lambda^2}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  визначає розповсюдження зони пружно-пластичних деформацій ґрунту та залежить від типу ґрунту й глибини проходки:

$$\lambda = \frac{\left(\gamma_{сп}h + \frac{c}{tg\varphi_0}\right)tg^4\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sigma_1}, \quad (6)$$

де  $\sigma_1$  – напруження за (4) [5].

Якщо додати залежності (4) та (5) до рівняння (6), отримаємо

$$\begin{aligned} a_{деф} &= (\lambda^2 - 1)\frac{b}{2} = \\ &= \left[ \frac{\left(\gamma_{сп}h + \frac{c}{tg\varphi_0}\right)^2 tg^8\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{b}{2}. \quad (7) \end{aligned}$$

Для ідеального сипучого середовища, в якому зчеплення відсутнє ( $c = 0$  – пісок)

$$a_{\text{деф}} = \left[ \frac{\text{tg}^8 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{(1 + \sin \varphi_0)^2} \times \right. \quad (7)$$

$$\left. \times \sin^2 \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0)^2 - 1 \right] \frac{e}{2}.$$

Для невагомого зв'язного середовища ( $\lambda h = 0$ ,  $c \neq 0$ )

$$a_{\text{деф}} = \left[ \frac{\frac{c^2}{\text{tg}^2 \varphi_0} \text{tg}^8 \left( \frac{\pi}{4} + \varphi_0 \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{e}{2}. \quad (8)$$

Якщо коефіцієнт  $\lambda = 5,4 \dots 6,0$  для супіску твердого,  $\lambda = 4,3 \dots 4,8$  для суглинку напівтвердого,  $\lambda = 4,0 \dots 4,3$  для глини тугопластичної [5], тоді щільність ґрунту в пружно-пластичній зоні для тугопластичної глини –  $\rho_{\text{сер}} = (1,06 \dots 1,07) \rho_{\text{пр}}$ , для напівтвердого суглинку  $\rho_{\text{сер}} = (1,05 \dots 1,06) \rho_{\text{пр}}$ , для твердого супіску  $\rho_{\text{сер}} = (1,03 \dots 1,04) \rho_{\text{пр}}$ .

За даними виробничих випробувань безтраншейних дреноукладачів, які працюють з утворенням закритичної зони,  $\rho_{\text{сер}} = (1,05 \dots 1,08) \rho_{\text{пр}}$  [5, 11, 14].

Для середньої щільності ґрунтів величина зони їх деформування складає: для тугопластичної глини –  $a_{\text{деф}} = (7,5 \dots 8,7)e$ ; для напівтвердого суглинку –  $a_{\text{деф}} = (8,7 \dots 11,0)e$ ; для твердого супіску –  $a_{\text{деф}} = (14,0 \dots 17,5)e$ .

Розглянемо процес безтраншейного прокладання підземних комунікацій способом протягування трубопроводів у ґрунті: (рис. 6).

За допомогою тягача відбувається переміщення робочого обладнання в ґрунті, яке складається з ножового робочого інструменту та розширювача. Ножовий робочий інструмент має форму вузької загостреної стойки та призначений для прорізання в ґрунті щілини на глибину залягання трубопроводу та протягування в ґрунті робочого інструменту конічно-циліндричної форми (розширювача). Розширювач призначений для формування горизонтально спрямованої

свердловини в ґрунті та протягування крізь неї трубопровідного батога. Процес роботи ножового трубозаглиблювача та схему його роботи можна поділити на два процеси – ножове різання ґрунту та формування свердловини розширювачем. Перший процес був наведений вище, тому розглянемо лише другу його складову, яку ще називають процесом проколу ґрунту.

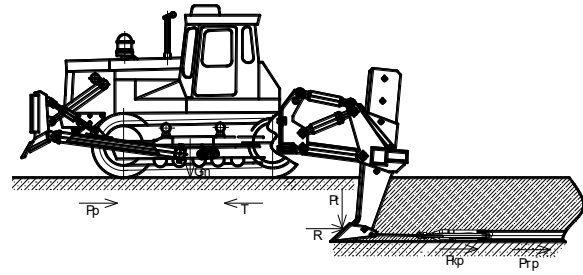


Рис. 6. Конструктивна схема ножового трубозаглиблювача для прокладання лінійно-протяжних інженерних комунікацій методом заглиблення

Під час проведених досліджень [1, 4, 6, 15] було визначено, що після радіального витиснення ґрунту на боки свердловини навколо неї утворюється зона структурних змін, яку можна навести схематично (рисунком 7).

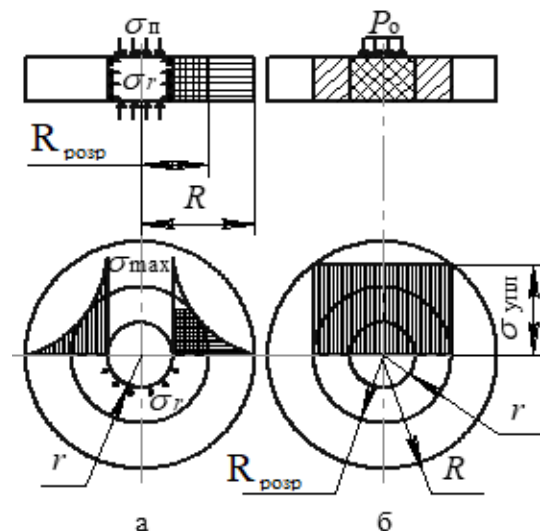


Рис. 7. Схема напруженого стану ґрунту під час його проколювання (а) та розрахункова схема структурних змін ґрунту (б)

Згідно з положеннями В. А. Вазентдинова, створення свердловини відбувається внаслідок витиснення твердих частинок ґрунту, які розташовані в цій зоні вздовж усього

об'єму пор. Тоді розрахунковий радіус  $R_{розр}$  зони структурних змін ґрунту може бути визначений рівнянням

$$R_{розр} = \frac{r}{\sqrt{0.01 \cdot n_0}} \quad (9)$$

де  $r$  – радіус свердловини, мм;  $n_0$  – пористість природного ґрунту, %.

Розрахунки, які можуть також дати уявлення про розміри зони ущільнення ґрунту навколо свердловини, запропоновано в дослідженнях В. І. Олексія Його залежність визначає відстань, на яку треба відступати від поверхні доріг, щоб не допустити руйнування її основи від деформації та структурних змін ґрунту.

Запропонована прив'язка діаметра зони структурних змін ґрунту від його пористості наведена на рис. 8.

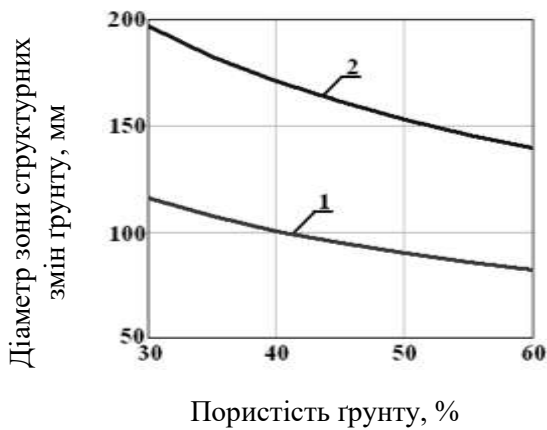


Рис. 8. Залежність структурних змін ґрунту від його пористості: 1 –  $d_1 = 65$  мм; 2 –  $d_2 = 108$  мм

Отримана експериментальним способом залежність, яку умовно можна порівняти з зоною деформування навколо свердловини  $D_p$ :

$$H_{min} = \left[ 4,4 + \frac{1}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}} \right] \cdot d \quad (10)$$

На рисунку 9 подано графіки залежності мінімальної глибини закладання свердловини, яка є зоною руйнування ґрунту навколо свердловини. Розрахункова залежність, як і (9), розповсюджуються на ґрунти з пористістю 38–53 %.

Розглянуті залежності (9) та (10) є емпіричними орієнтовними. Автори пропонують аналітичний підхід до вирішення цього питання.

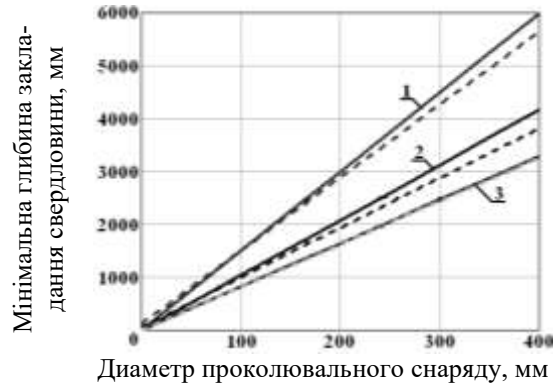


Рис. 9. Залежність мінімальної глибини закладання свердловини (зони руйнування ґрунту) від діаметра проколювального робочого інструменту: — графік, що побудований за залежністю 11; --- графік, що побудований за залежністю 10; 1 –  $n_0 = 38\%$ ; 2 –  $n_0 = 45\%$ ; 3 –  $n_0 = 53\%$

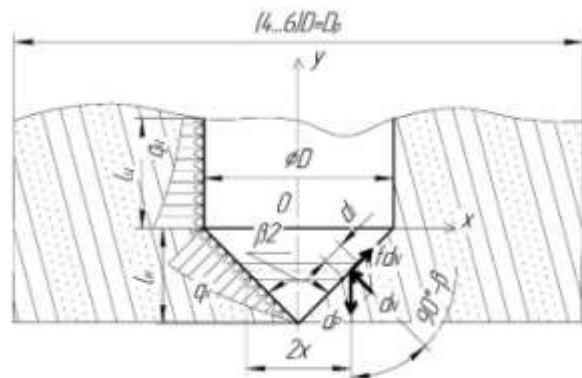


Рис. 10. Зони ущільнення ґрунту після деформації його конічно-циліндричним робочим інструментом

За аналогією з різанням ґрунту ножом пропонується використання закону збереження маси ґрунту до і після руйнування, який для випадку створення свердловини в ґрунті має такий вид:

$$\left( \frac{\pi D^2}{4} + DS_p \right) \rho_{пр} = D \int_0^{S_p} \rho_x dx \quad (11)$$

де  $\frac{\pi D^2}{4} + DS_p$  – площа поперечного перерізу ґрунту до руйнування;  $S_p$  – зона руйнування ґрунту;  $\rho_x$  – змінна щільність ґрунту вздовж довжини зони руйнування;  $\rho_{пр}$  – щільність ґрунту в природньому стані.

У першому наближенні закономірність зміни щільності в масиві ґрунту  $\rho_x$  є лінійною залежно від відстані до бічної стінки [17], як і в попередньому варіанті.

$$\rho_x = \rho_{\max} - (\rho_{\max} - \rho_{\text{пр}}) \frac{x}{S_p}, \quad (12)$$

де  $\rho_{\max}$  – максимальна щільність ґрунту в бічній стінці отвору.

Згідно з (12) рівняння (11) можна записати так:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\pi D^2}{4} + DS_p \right) \rho_{\text{пр}} = \\ & = D \int_0^{S_p} \left[ \rho_{\max} - (\rho_{\max} - \rho_{\text{пр}}) \frac{x}{S_p} \right] dx = \quad (13) \\ & = D \left[ \rho_{\max} S_p - (\rho_{\max} - \rho_{\text{пр}}) \frac{S_p}{2} \right] = \\ & = \frac{\rho_{\max} + \rho_{\text{пр}}}{2} DS_p = \rho_{\text{сеп}} DS_p. \end{aligned}$$

Відповідно до наведених даних у літературі [1, 17] значення середньої щільності ґрунту  $\rho_{\text{сеп}}$  залежно від початкового його природного стану становить

$$\rho_{\text{сеп}} = \frac{\lambda^2 \cdot \rho_{\text{пр}}}{\lambda^2 - 1}, \quad (14)$$

де  $\lambda = 4,0 \dots 6,0$  – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту та глибини проколювання [6];

$\rho_{\text{пр}}$  – природна щільність ґрунту до руйнування. Орієнтовно значення середньої щільності ґрунту може бути

$$\rho_{\text{сеп}} = (1,05 \dots 1,1) \cdot \rho_{\text{пр}}. \quad (15)$$

Якщо для твердого супіску  $\rho_{\text{сеп}} = 2,05 \text{ т/м}^3$ , для напівтвердого суглинку  $\rho_{\text{сеп}} = 2,10 \text{ т/м}^3$ , для тугопластичної глини  $\rho_{\text{сеп}} = 2,00 \text{ т/м}^3$ , то відповідно до рівності (13) розмір зони руйнування ґрунту може бути визначений виразом

$$S_p = (7,85 \dots 15,7) D, \quad (16)$$

де  $S_p = 7,85D$  – для наконечника діаметром  $D = 0,13 \text{ м}$ ;  $S_p = 15,7D$  – для наконечника діаметром  $D = 0,325 \text{ м}$ .

Під час проведених експериментальних досліджень було доведено, що після проколу ґрунту конічно-циліндричним робочим інструментом навколо свердловини після його радіального ущільнення виникають дві зони (рис. 11).

Зона біля свердловини – це зона максимального стиснення ґрунту, тобто зона руйнування. Пористість ґрунту та кількість ударів ударника ДорНДІ на усьому етапі є незмінною. Друга зона визначає пружний стан деформованого ґрунту, коли його щільність плавно зменшується поки не досягне природного стану. Перша становить 3,9–4,6 від  $D$ , тобто діаметра свердловини

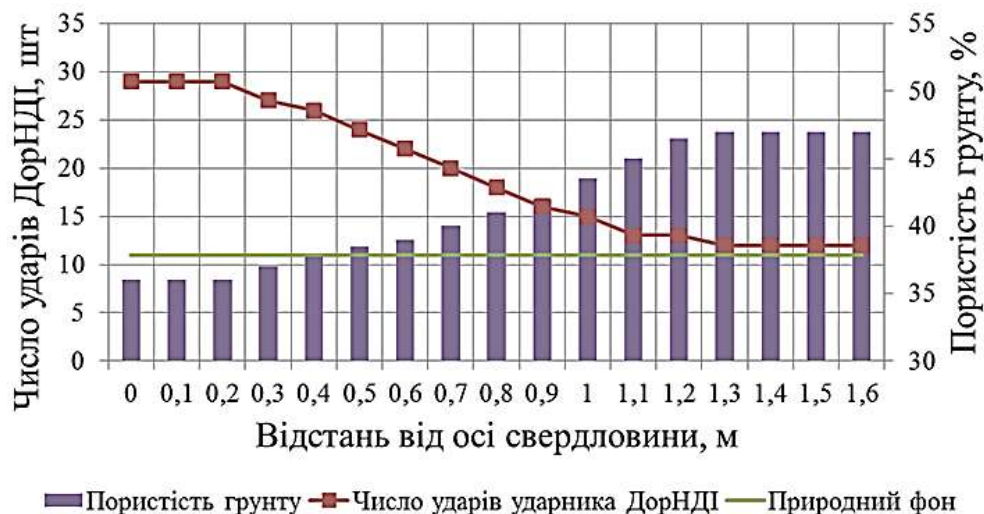


Рис. 11. Результати визначення щільності ґрунту в радіальному віддаленні від осі свердловини під час його проколювання кільцево-циліндричним наконечником діаметром 140 мм

Пористість в цій зоні на 6,1 % менше за зону в природному стані, а кількість ударів ударника ДорНДІ збільшується приблизно в 2,5–3,0 рази. Перехід щільності ґрунту в другій зоні залежно від діаметра свердловини становить декілька метрів. Наприклад, для конічного наконечника діаметром 140 мм цієї зони можна досягти за 1,5–1,8 м залежно від типу ґрунту.

Під час експериментальних досліджень було визначено, що зона ущільнення ґрунту навколо свердловини теж має значні розміри та великі значення ущільнення.

Проаналізувавши технічні рішення та дослідження [3], можна дійти висновку, що найбільш ефективною щодо екологічної безпеки є безтраншейна технологія прокладання лінійно-протяжних інженерних комунікацій методом заглиблення способом використання багатоярусних ножових робочих інструментів. Конструкція такого трубозаглиблювача наведена на рис. 12.

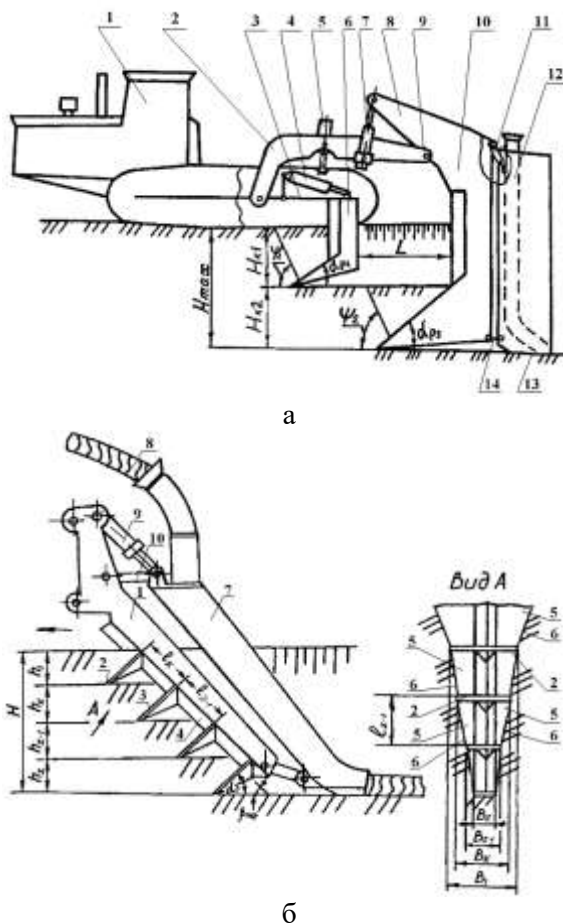


Рис. 12. Конструкції багатоярусних кабелеукладачів безвідвальної конструкції: а – двоярусна з автономною системою керування ґрунторозробних інструментів (дреноукладач); б – із шириною ярусів, яка збільшується знизу доверху

В основу роботи покладено руйнування ґрунту кожним ярусом у межах критичної глибини різання ґрунту.

Тобто кожний ступінь є лемішем з відвальною частиною, яка переміщує зруйнований ґрунт у вільний простір, який утворюється під кожним ярусом.

Конструкції багатоярусних кабелеукладачів безвідвальної конструкції: а – двоярусної з автономною системою керування ґрунторозробних приладів (дреноукладач), 1 – тягач; 2 – тягова рама; 3 – додаткове навісне обладнання; 4, 5, 7, 11 – гідроциліндри керування; 6 – піонерний ніж; 8 – коромисло; 9 – шарнір кріплення; 10 – основний ніж; 12 – трубоукладач; 13 – опорна лижа; 14 – тяга; б – із шириною ярусів, яка збільшується знизу доверху, 1 – несна рама; 2 – різальні кромки; 3 – ґрунтонаправлювачі; 4 – кліноподібний розсікач; 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини; 7 – трубозаглиблювач; 8 – ЛПО; 9 – гідроциліндр; 10 – тяга.

### Висновки

Під час комплексного аналізу технічної літератури було визначено таке:

1) ущільнення ґрунтів призводить до погіршення його плодородних властивостей та знижує врожайність, наприклад зеленої маси кукурудзи, на 40–60 %. Дослідниками розглядалося ущільнення ґрунту лише від проходів колісних тракторів, коли щільність за кількістю ударів ударника ДорНДІ змінювалося з  $C = 5 - 8$  у природному стані та після шести проходів трактора К-701 на глибині 0,25 м до кідкості ударів  $C = 9 \dots 16$ . Більші значення не розглядалися. Також не було досліджено вплив на екологічну безпеку технологій безтраншейного прокладання інженерних комунікацій;

2) під час аналізу літератури було визначено, що найбільш ефективними сучасними методами безтраншейного прокладання лінійно-протяжних інженерних мереж є технології зі створенням комунікаційних порожнин у ґрунті з використанням методів заглиблення та протягування комунікацій;

3) під час дослідження процесу утворення вертикальної щілини в ґрунті ножовим робочим приладом було визначено, що зона ущільнення ґрунту може досягати великих значень та, наприклад, для тугопластичної глини вона складає  $a_{\text{деф}} = (7,5 \dots 8,7) \text{ в}$ ; для напівтвердого суглинку –  $a_{\text{деф}} = (8,7 \dots 11,0) \text{ в}$ ; для твердого супіску –  $a_{\text{деф}} = (14,0 \dots 17,5) \text{ в}$ ;

4) експериментально визначено, що ущільнення ґрунту може досягати максимальних значень у зонах руйнування безпосередньо навколо стінок щілини після ножового різання ґрунту та навколо стінок свердловини після проколу, які за кількістю ударів ударника ДорНДІ досягають 25–30 ударів. Поступове зменшення тієї величини до природного стану відбуваються в межах зони деформування та для розподільних комунікацій, у яких діаметри складають до 0,225 м, розповсюджуються на відстань 1,5–2,5 м у кожен бік від утворених порожнин;

5) відповідно проведених досліджень можна дійти висновку, що вздовж комунікаційної траси під час безтраншейного прокладання інженерних комунікацій буде порушений природний стан ґрунту та на велику кількість років буде порушений розвиток кореневої системи рослин.

Для зменшення впливу на врожайність посівних культур від ущільнення ґрунту під час безтраншейного прокладання інженерних комунікацій краще використовувати метод протягування комунікацій, який має менший вплив на ущільнення від вузької ножової стойки, а формування свердловини можна розробити на більшій відстані від верхнього гумусного шару. Для методу заглиблення максимальний ефект досягається під час використання багатоступеневого ножового робочого обладнання, коли ущільнення ґрунту навколо щілини майже не утворюється.

### Література

1. Супонев В. М. Наукові основи робочих процесів створення горизонтальних порожнин статичним задавлюванням робочого обладнання в ґрунт. *Підйомно-транспортна техніка*. 2018. № 3 (59). С. 34–36.
2. Suponyev V., Kravets S., Posmituha A., Kulashenko Y. Determination of the size seal zone and the soil pressure on underground communications in the process of soil deformation by the wedge-shaped tool. *Technology audit and production reserves*. 2018. №5/1(43), P. 11–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.146626.
3. Кравець С. В., Супонев В. М., Посмітюхо О. П. Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конічно-циліндричного наконечника з виступами для проколювання ґрунту. *Наука та прогрес транспорту*. Вісник ДНУЖДТ. 2017. №4 (70). С. 89–98.
4. Кравець С. В., Кованько В. В., Лукянчук О. П. *Наукові основи створення землерийно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв*: монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 322 с.
5. Кравець С. В., Супонев В. М., Форсюк С. Л. Визначення критичної глибини напівблокованого руйнування ґрунту прямолінійним різцем. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. Вип. 101. Т. 1. С. 60–67.
6. Супонев В. М., Рагулін В. М., Кравець С. В. Визначення максимально допустимого діаметра свердловини при заданій глибині проходки методом статичного проколу ґрунту *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. Вип. 101. Т.2. С. 59–66
7. Erez N. Allouche, Samuel T. Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. Published online: April 26, 2012. [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55).
8. Pridmore A., Geisbush J. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling Pipelines *Planning and Design Book set*. 2017. P. 553–563. <https://doi.org/10.1061/9780784480878>
9. Hastak M., Gokhale S., Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference*. New York, 2009. DOI: 10.1115/1.802922.paper30
10. Zhao Jun Ling Bian. Trenchless technology underground pipes. *Machinery Industry Press*, 2014. P. 187.
11. Jian Xin. Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*. 2014. [https://doi.org/10.1061/9780784413821\\_051](https://doi.org/10.1061/9780784413821_051)
12. Najafi Mohammad, Gunnink Brett, Davis George. Details of Field Testing of Major Trenchless Technology Methods for Road Crossings *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference*, Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper4.
13. Chehab A. G., Moor I. D. One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations. *Ottava Geo*. 2007. P. 1140–1154.
14. Hastak Makarand, Gokhale Sanjiv. Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference*, Baosong Ma, ASME. doi: 10.1115/1.802922.paper30
15. Sterling Raymond L. International Technology Transfer in Tunneling and Trenchless Technology. *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference*. Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper6.
16. Nilo Tsung, Mingming Zheng, Mohammad Najafi, Saleh Mehraban. A Comparative Study of Soil Pressure and Deformation of Pipes Installed by the Open-Cut Method and Trenchless Technology *Pipelines 2016: Out of Sight, Out of*

- Mind, Not Out of Risk.* 2016. <https://doi.org/10.1061/9780784479957.132>
17. Guojun Wen, Xiaoming Wu, Han Chen. Trenchless Pipe-Paving in Complex Hard Stratum by Directional Drilling Technology *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Baosong Ma, ASME.* New York, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper26
  18. Супонев В. М. Визначення величини зони деформування ґрунту конусно-циліндричним наконечником і тиску на бічній поверхні Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2018. Вип. 83. С. 22–28.
- ### References
1. Suponiev, V. M. (2018). Naukovi osnovy robochych protse-siv stvorennia horyzontalnykh porozhnyh sta-tychnym zadavliuvanniam robochoho obladdannia v grunt. *Pidiomno-transportna tekhnika.* № 3(59). P. 34–36 [in Ukrainian].
  2. Suponyev, V., Kravets, S., Posmituha, A., Kulashenko, Y. (2018). Determination of the size seal zone and the soil pressure on underground communications in the process of soil deformation by the wedge-shaped tep. *Technology audit and production reserves.* №5/1(43). P. 11–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.146626.
  3. Kravets, S. V., Suponiev, V. M., Posmitukho, O. P. (2017). Vyznachennia ekvivalentnoho ta optymalnoho diametriv konichno-tsilindrychnoho nakonechnyky z vystupamy dlia prokoliuvannia ґрунту. *Nauka ta prohres transportu Visnyk DNUZhDT.* №4 (70). P. 89–98 [in Ukrainian].
  4. Kravets S. V., Kovanko V. V., Lukianchuk O. P. (2015). *Naukovi osnovy stvorennia zemleryinyarusnykh mashyn i pidzemnorukhomykh prystroiv.* Monohrafiia. Rivne: NUVHP. 322 p. [in Ukrainian].
  5. Kravets, S. V., Suponiev, V. M., Forsiuk, S. L. (2023). Vyznachennia krytychnoi hlybiny napivblokova-noho ruinuвання hruntu priamoliniinym riztsem Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. *Vyp. 101. T.1. C. 60–67* [in Ukrainian]
  6. Suponiev, V. M., Ragulin, V. M., Kravets, S. V. (2023). Vyznachennia maksimalno dopustymoho diame-tru sverdllovyny pry zadanii hlybiny prokhod-ky metodom statychnoho prokolu hruntu Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. *Vyp. 101. T. 2. C. 59–66* [in Ukrainian].
  7. Erez, N. Allouche, Samuel T. (2012). Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig *Technologies for New Installations.* Published online: April 26. [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\) 55](https://doi.org/10.1061/40641(2002) 55).
  8. Pridmore, A., Geisbush, J. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling *Pipelines Planning and Design Book set.* P. 553–563. <https://doi.org/10.1061/9780784480878>
  9. Hastak, M., Gokhale, S., (2009). Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference.* New York. DOI: 10.1115/1.802922.paper30
  10. Zhao Jun Ling Bian. (2014). Trenchless technology underground pipes. *Machinery Industry Press.* P. 187.
  11. Jian Xin. (2014). Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology.* <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>
  12. Najafi Mohammad, Gunnink Brett, Davis George. Details of Field Testing of Major Trenchless Technology Methods for Road Crossings *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference,* Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper4.
  13. Chehab, A. G., Moor, I. D. (2007). One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations. *Ottava Geo.* P. 1140–1154.
  14. Hastak Makarand, Gokhale Sanjiv. Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference,* Baosong Ma, ASME. doi: 10.1115/1.802922.paper30
  15. Sterling Raymond L. International Technology Transfer in Tunneling and Trenchless Technology // *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference.* Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper6.
  16. Nilo Tsung, Mingming Zheng, Mohammad Najafi, Saleh Mehraban. A Comparative Study of Soil Pressure and Deformation of Pipes Installed by the Open-Cut Method and Trenchless Technology *Pipelines 2016: Out of Sight, Out of Mind, Not Out of Risk.* 2016. <https://doi.org/10.1061/9780784479957.132>
  17. Guojun Wen, Xiaoming Wu, Han Chen. Trenchless Pipe-Paving in Complex Hard Stratum by Directional Drilling Technology *Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Baosong Ma, ASME.* New York, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper26
  18. Suponiev, V. M. (2018). Vyznachennia velychyny zony de-formuvannia ґрунту konusno-tsilindrychnym nakonechnykom i tysku na bichnii poverkhni Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. *Vyp. 83. P. 22–28.* [in Ukrainian]
- Супонев Володимир Миколайович**<sup>1</sup>, д.т.н., професор кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, e-mail: [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net), тел.: +38 050-30-199-58, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7404-6691>
- Рагулін Віталій Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин

ім. А. М. Холодова, e-mail: [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net),  
 тел: +38 097-29-57-392,  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>  
**Кравець Святослав Володимирович**<sup>2</sup>, д.т.н.,  
 професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин,  
 e-mail: [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),  
 тел. +38 097-28-915-89  
 ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4063-1942>  
**Посвятенко Наталія Іванівна**<sup>3</sup>, к.т.н., доцент  
 кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: [natali1963@ukr.net](mailto:natali1963@ukr.net),  
 тел. +38 050-915-04-72  
 ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2217-4170>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, Україна;

<sup>3</sup>Національний транспортний університет, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна.

### Environmental Safety With Trenchless Construction Of Linear-Long Engineering Communications And Ways Of Its Development

**Abstract.** The article provides an analysis of technologies for constructing linear-distributing pipelines between current trenchless methods of deepening, stretching and puncturing the soil and identifying them by pouring them into an environmentally safe environment. **Problem.** It has been established that the creation of empty soil under engineering communications using these methods is based on the process of empty soil. In this case, there is a viscosity of the fibers, a change in porosity, and a rise in the size of the spring, and structural changes in the ground, which in turn cause a change in the ecological I'll become too gray.??? **Goal.** The method of work is to assess environmental safety when the knife and piercing equipment are frozen in the trenchless construction of line-long engineering utilities, such as a road. The significance of the actual dimensions of the zones is being strengthened and their alignment with the known research on the influx of rural cultural tourism. The **methodology** for determining the ground deformation zone is based on a mathematical calculation of limit stresses in soil and knowledge about the mechanics of granular opportunities. **Results.** The robot aims to trace the dimensions of the zones of hardened soil during static molding of drills in the soil and analyze the possibility of their incorporation into sprouting and productivity rural cultures. In this case, indicators such as porosity, thickness according to the number of blows of the striker Dorndya, and hairiness will become important. For healthcare providers, the length of separate pipelines for various purposes must pass through fields and onions? and can accumulate thousands of kilometers, then nutrition is based on real

*environmental costs during everyday life pipelines? using trenchless methods - important nutrition and viability?.* **Originality.** Based on the excavations, the dimensions of the structural and plastic zones of the soil near the creation of communication wastes were established to lie in the type of soil that is being developed by physical and mechanical forces. So, for example, for loam, the zone of structural changes can reach 4–6 times the width of the knife stands or the diameter of the drill bit. The zone of spring-plastic deformations can spread all over the cutting zone or puncture the soil at a distance of 10 to 15 diameters of the drill. **Practical value.** To reduce the influx on the yield of crops in the form of reinforced soil during the trenchless laying of engineering communications, it is better to use a more efficient method of stretching the communications, resulting in less influx. per It is strengthened from a narrow butt stand, and the molding of the long length can be formed on a larger surface from the upper humus ball. For the wedge method, the maximum effect is achieved with high-speed knife-working equipment as long as the reinforced ground near the gap is practically impossible to create.

**Key words:** separate pipelines, linear-extended lines, ecology, soil mining, utility drains, trenchless pipelines, gap in soil, bore.

**Suponyev Vladimir**<sup>1</sup>, DSci (Engineering), Professor of the Department of Operation, Testing, and Service of Commercial Vehicles and Road Vehicles, e-mail: [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net), Phone.: +38 (050)-30-199-58, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7404-6691>  
**Ragulin Vitaliy**<sup>1</sup>, PhD (Engineering), Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net), Phone: +38 (097) 29-57-392, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>  
**Kravets Svyatoslav**<sup>2</sup>, д.т.н., DSci (Engineering), Professor Department of building, road, melioration, agricultural machinery and equipment, e-mail: [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua), тел. +38 097-28-915-89  
 ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4063-1942>  
**Posviatenko Nataliia**<sup>3</sup>, Ph.D (Engineering), Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines e-mail: [natali1963@ukr.net](mailto:natali1963@ukr.net), Phone: +38 050-915-04-72, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2217-4170>

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>National University of Water and Environmental Engineering, Soborna str., 11, Rivne, 33000, Ukraine

<sup>3</sup>National Transport University, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 226, Kyiv, 01010, Ukraine.