

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.13:622.268.3

Й. Й. ЛУЧКО*

* Кафедра будівельних конструкцій, Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Україна, 80381, тел. +38 (097) 033 18 36, ел. пошта lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ПІД ЧАС РУХУ ҐРУНТУ В ЦИЛІНДРИЧНІЙ ТРУБІ ПРИ БЕЗТРАНШЕЙНІЙ ПРОКЛАДЦІ

Мета. Метою роботи є розробка експериментально-теоретичного методу визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який у сучасних умовах будівництва необхідно знати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту та інших чинників при прокладці інженерних комунікацій закритим методом. **Методика.** На основі аналізу сучасних методів і способів силового впливу на ґрунтовий масив та механічних і технологічних процесів, які відбуваються у ґрунтовому масиві при прокладці інженерних комунікацій методом статичного проколу та методом продавлювання. Розробити та описати експериментально-теоретичну методику визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який необхідно визначати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту та інших факторів. Сформулювати основні задачі, які необхідно розв'язати у майбутньому та встановити критерії їх використання для дослідження механічних процесів при виконанні горизонтальних виробок способом ущільнення ґрунтового масиву. **Результати.** Виконано аналіз вітчизняних та закордонних науково-технічних джерел щодо прокладки інженерних комунікацій закритим способом. Зокрема, розроблено та описано експериментально-теоретичну методику визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який необхідно визначати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту та інших факторів при прокладці інженерних комунікацій закритим методом. Сформульовано основні задачі, які необхідно розв'язати у майбутньому та встановити критерії їх використання для дослідження механічних процесів при виконанні горизонтальних виробок способом ущільнення ґрунтового масиву. Також потрібно розв'язати задачу нестационарного рівняння руху ґрунту із врахуванням коефіцієнта тертя до зовнішньої поверхні труби. **Наукова новизна.** В даній роботі, на основі аналізу науково-технічних джерел силового впливу на суцільний ґрунтовий масив, встановлені відомості про процеси в ґрунтовому масиві при виконанні виробки методом статичного проколу і методом продавлювання. Зокрема, встановлені основні динамічні властивості ґрунтів та сформульовані теоретичні засади для дослідження механічних процесів при проведенні горизонтальних виробок способом ущільнення ґрунтового масиву. **Практична значимість.** На підставі цих даних вдалось розробити експериментально-теоретичну методику для визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту циліндричній трубі, зокрема, при прокладці труб способом продавлювання закритим способом. Цей коефіцієнт необхідно знати для оцінки величини тиску, густини ґрунту та зони пластичності ґрунту та інших чинників.

Ключові слова: продавлювання; коефіцієнт тертя; прокол ґрунту; густина ґрунту; ґрунтовий масив

Вступ

Проблема та її актуальність. Особливу увагу потрібно надавати впровадженню прогресивних конструкцій будівельних матеріалів та використання сучасних технологій при будівництві споруд та інженерних комунікацій, а також при усуненні наслідків часткового чи повного руйнування проблемних ділянок земляного полотна залізничних та автомобільних доріг, наприклад під час повеней, чи посилення цих ділянок дренаю.

© Й. Й. Лучко, 2020

Утворення горизонтальних виробок і свердловин при підземному прокладанні інженерних комунікацій закритим способом можуть бути реалізовані статичним вібраційним та віброударним впливами на робочий орган або їх поєднання. Будуючи інженерні комунікації під автомобільними і залізничними дорогами, трамвайними шляхами та іншими перешкодами більш ефективний є закритий метод, який не вимагає прокладання траншей. Доцільність закритого способу, методом статичного проколу чи методом продавлювання на практиці дове-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

дена, особливо при прокладання інженерних комунікацій у мегаполісах. Отже проблема, методу безтраншейної прокладки водопропускних труб, каналізації, теплових трас, підземних комунікацій, переходів і т. ін. є актуальна і очевидна.

Наше завдання, на перспективу, провести теоретичні дослідження і встановити вплив силових факторів та технологічних процесів на суцільний масив ґрунту. Зокрема, механічних процесів ущільнення ґрунтового масиву методом статичного проколу та методом продавлювання за безтраншейного прокладання труб. Змодельовати динаміку руху ґрунту у циліндричній трубі в умовах плоскої осесиметричної деформації. Визначити зону плинності ґрунту при прокладці труб, та теоретично-експериментальне визначення коефіцієнта тертя до зовнішньої поверхні труб та інші аспекти проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механічні процеси, які проходять при руйнуванні ґрунтового або гірського масиву можна поділити на статичні та динамічні. Зокрема, впливом цих процесів займалось багато дослідників і досить добре вивчені та описані в працях (Васильєв, 1964; Баловнев, 1981; Васильєв, & Лещенко, 1993; Беляєв, 2013; Беляєв, 2014; Балесный, 2017). Статичні – проходять за дії постійного довготривалого навантаження, яке викликає у масиві пружні та пластичні деформації (Лучко, 2013; Лучко, 2014). Пружні деформації не змінюють структурний стан масиву і його міцності. Пластичні – проходять з порушенням структурних зв'язків між частинками і приводять до ущільнення та зменшення його початкового об'єму цими дослідженнями займалися автори вказаних вище праць.

Короточасні та миттєві навантаження викликають у масиві динамічні процеси, які супроводжуються його руйнуванням або ущільненням. Комплексні дослідження цих процесів розглянуто в роботах Н. С. Васильєва і А. В. Лещенка (1993), Л. Т. Дворнікова і В. С. Данченка (1981), Г. Є. Лаврова і Т. Х. Саттарова (1973, 1978), Ю. А. Ветрова (1971), В. І. Баловнева (1981) та ін. Їхні дослідження дають певне уявлення про залежність зусиль, які діють на робочі органи, від фізичних властивостей масиву, параметрів технологічного процесу і конструктивних особливостей робочих органів.

На основі аналізу науково-технічних джерел наведених у працях (Беляєв, 2013; Беляєв, 2014), серед існуючих технологій це метод статичного проколу, метод продавлювання, метод горизонтального буріння чи метод щитової проходки формування горизонтальних свердловин для безтраншейного прокладання комунікацій діаметром до 2000 мм, на наш погляд доцільним для застосування є комбінований метод, який використовує особливості двох методів: статичного проколу та продавлювання (Васильєв, 1964; Васильєв, & Лещенко, 1993; Данилов, 2012).

Серед сучасних досліджень в яких вирішуються різні аспекти проблеми безтраншейного прокладання комунікацій слід відзначити роботи (Кравець, Каслин, Руднев, & Супонев, 2008; Кравець, Кованько, & Лук'ячук, 2015; Супонев, & Олексин, 2010; Балесный, 2017; Кравець, Посмітюха, & Супонев, 2017; Супонев, 2018a; Супонев, 2018b).

Стан дослідження способу виконання виробок горизонтальним бурінням дає змогу стверджувати (Лучко, Бубняк & Кравець, 2020), що не всі процеси достатньо вивчені. Проте, добре вивчені процеси тиску на кріплення і взаємодія кріплення з масивом ґрунту і зусилля яке необхідне для пересування кріплення з проведенням виробки.

Мета

Розробити експериментально-теоретичну методику визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який необхідно знати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту та інших чинників при прокладці труб закритим методом.

Методика

Постановка задачі. При побудові кривих стиснення ґрунту від тиску, а також порівняння результатів експериментів для різних σ , ρ і r_0 при рухові ґрунту у трубі і їх використання при теоретичних дослідженнях необхідно оцінити величину сили тертя, її залежність від тиску, густини і інших факторів. Оцінку коефіцієнта тертя будемо проводити за методикою, викладеною в роботі (Рахматулин, Сагомоян, & Алексеев, 1964).

Нехай зразок сипучого середовища (або інший) затиснений у жорстку обойму мають форму циліндра з зовнішнім діаметром d_0 і початковою довжиною l_0 . Припустимо, що за вимірювальний проміжок часу збурення, яке виникло на поверхні поршня, розповсюджується по всьому об'ємі зразка і кожна частинка знаходиться у стані статичної рівноваги.

Результати

Розв'язок задачі. Складемо рівняння рівноваги середовища для шару початкової товщини Δz

$$\Delta p = -\frac{2\pi r_0}{\pi r_0^2} \lambda(p) \Delta z \quad (1)$$

або після скорочення отримаємо

$$\Delta p = -\frac{r}{r_0} \lambda(p) \Delta z,$$

де Δp – зміна тиску по товщині шару; $\lambda(p)$ – сила тертя, яка припадає на величину початкової поверхні, z – координата шару у початковий момент часу.

Після інтегрування (1) отримаємо:

$$\int_{p_T}^{p_T(t)} \frac{dp}{\lambda_T(p)} = -\frac{2z}{r_0} \text{ або} \\ \eta(p) = \eta(p_T^*) = \frac{2z}{r_0}, \quad (2)$$

де p_T – тиск у шарі при $z=0$; $p_T = p(t)$ – тиск у шарі при $z=0$; в залежності від часу.

Припустимо, що стиск тонкого шару δ ґрунту відбувається за законом

$$\frac{\Delta \delta z}{\delta_z} = \varphi(p)$$

де $\Delta \delta z$ – деформація тонкого шару ґрунту під тиском.

Тоді загальна (сумарна) деформація при довжині l і тиску p визначається із співвідношення

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{\substack{l=l_0, \\ p=p_T, \\ z=0}} = \frac{1}{l_0} \int_0^l \varphi(p) dz. \quad (3)$$

Якщо із експериментальних досліджень відомі криві стиску

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{l=2l_0} = f_2(p_T), \quad (4)$$

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{l=l_0} = f_1(p_T), \quad (5)$$

то використовуючи співвідношення (3) разом з (2) отримаємо систему трьох рівнянь для визначення функції $\eta(p)$ тобто $V[\eta(p)] = p$ тоді рівняння (3) буде мати вигляд:

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{\substack{l=l_0, \\ p=p_T}} = \frac{1}{l_0} \int_0^l \varphi \left\{ V \left[\eta(p_T) - \frac{2z}{r_0} \right] \right\} dz. \quad (6)$$

Із цього рівняння для визначення деформації при довжині $z=2l_0$ і тиску p_T на торці $z=0$; отримаємо таке співвідношення

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{l=2l_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{\substack{l=2l_0 \\ p=p_T}} + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{\substack{l=l_0 \\ p=p_T}}, \quad (7)$$

де p_T^* – визначається з рівняння

$$\eta(p_T^*) = \eta(p_T) = \frac{2l_0}{r_0} \text{ або } p_T^* = V \left\{ \eta(p_T) - \frac{2l_0}{r_0} \right\} \quad (8)$$

Із рівняння (7) видно, що відносна деформація зразка довжиною $2l_0$ при тиску $p = p_T$ на торці $z=0$ рівна півсумі відносних деформацій зразків довжиною l_0 при тиску відповідно p_T і p_T^* на торці $z=0$. Ця деформація від p_T^* визначається із рівняння (8) і є тиском у середньому перерізі експериментальної установки при довжині її $2l$ і тиску p_T на торці $z=0$. Окрім того, знаючи функції (4) та (5) і використовуючи (7) можемо побудувати залежність $p_T^* = \psi(p^*)$.

Із співвідношення (8) отримаємо функціональне рівняння для визначення функції $\eta(p_T)$:

$$\eta(p) = \eta \left\{ \psi(p_T) \right\} + \frac{2l_0}{r_0}; \quad (9)$$

$$\lambda_T(p) = \frac{1}{\psi'(p)} \lambda \left\{ \psi(p) \right\}. \quad (10)$$

Рівняння (9) або (10) можна розв'язати методом послідовного наближення в залежності від виду функції $\psi(p)$, використовуючи той факт, що у початковий момент стиску зразка

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

густина по його висоті постійна і сила тертя при $p = 0$ відсутня, тобто $\lambda(0) = 0$.

$$\psi(p) = ap, \quad (11)$$

де a – постійна величина.

Із (10) для визначення сили тертя маємо функціональну залежність:

$$\lambda(p) = \frac{1}{a} \lambda\{ap\}. \quad (12)$$

Використовуючи метод послідовного наближення

$$\lambda(p) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{a^n} \lambda\{a^n p\}. \quad (13)$$

Визначимо величину під знаком границі і враховуючи, що $a < 1$ і $\lambda(p) \rightarrow 0$ при $p \rightarrow 0$ отримаємо $\lambda(p) = p\lambda(0)$ звідки отримуємо $\lambda(p) = bp$, де $b = const$, а із рівняння (10) одержимо:

$$\lambda(p) = -\frac{r \ln a}{rl_0} p. \quad (14)$$

Таким чином, при прямолінійній залежності сил тертя, коефіцієнт тертя постійний. У подальших дослідженнях це припущення залишаємо в силі і будемо вважати, що сили тертя ґрунту до жорсткої поверхні можна у першому наближенні представити у вигляді залежності (11)

$$\lambda(p) = \lambda_T p. \quad (15)$$

Отже, наведено експериментально-теоретичну методику визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який необхідно знати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту і інших факторів.

Наукова новизна та практична значимість

В даній роботі, на основі аналізу науково-технічних джерел, встановлені відомості про процеси в ґрунтовому масиві. Зокрема, встановлені основні динамічні властивості ґрунтів та сформульовані теоретичні засади для дослідження механічних процесів при проведенні горизонтальних виробок способом ущільнення ґрунтового масиву. На підставі цих даних вдалось розробити експериментально-теоретичну методику для визначення коефіцієнта тертя під

час руху ґрунту циліндричній трубі, зокрема, при прокладці труб способом продавлювання закритим способом. Цей коефіцієнт необхідно знати для оцінки величини тиску, густини ґрунту та зони пластичності ґрунту та інших чинників.

Висновки

1. Розроблено та описано експериментально-теоретичну методику визначення коефіцієнта тертя під час руху ґрунту в циліндричній трубі, який необхідно визначати при теоретичних дослідженнях для оцінки величини тиску, густини ґрунту та інших факторів.

2. Сформульовано основні задачі, які необхідно розв'язати у майбутньому та встановити критерії їх використання для дослідження механічних процесів при виконанні горизонтальних виробок способом ущільнення ґрунтового масиву.

3. Надалі в процесі досліджень сформулювати і обґрунтувати основні припущення та побудувати загальну схему дослідження напружено-деформованого стану у стискаючому суцільному ізотропному масиві під дією рівномірно розподіленого навантаження за контуром виробки. Розв'язати задачу нестационарного рівняння руху ґрунту із врахуванням коефіцієнта тертя до зовнішньої поверхні труби та інші задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Балесный, С. П. (2017). Особенности процессов статического прокола ґрунта. *Вестник Харьковско-го национального автомобильно-дорожного университета*, 76, 138-141.
- Баловнев, В. И. (1981). *Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин*. Москва: Высшая школа.
- Беляев, В. С. (2013). *Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим ґрунтом*. Часть 2. Науковедение, 6 (19).
- Беляев, В. С. (2014). *Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим ґрунтом*. Часть 3. Науковедение, 1 (20).

- Васильев, Н. В. (1964). *Закрытая прокладка трубопроводов*. Москва: Недра.
- Васильев, С. Г., & Лещенко, А. В. (1993). *Технологические процессы проведения горизонтальных выработок*. Львов: Свит.
- Ветров, Ю. А. (1971). *Резание грунтов землеройными машинами*. Москва: Машиностроение.
- Данилов, Б. Б. (2012). Экспериментальное обоснование процесса транспортирования разрушенного грунта при горизонтальном бурении скважин. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, 3, 82-90.
- Дворников, Л. Т., & Данченко, В. С. (1980). *Основные закономерности разрушения горных пород при вращательном бурении скважин малого диаметра машинами ограниченной мощности*. Механика разрушения горных пород: Мат. 6-й Всесоюз. конф. механики горных пород, Фрунзе, 26-31.
- Кравець, С. В., Кованько, В. В., & Лук'янчук, О. П. (2015). *Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв*. Рівне: НУВГП.
- Кравець, С. В., Каслин, Н. Д., Руднев, В. К., & Супонев, В. Н. (2008). *Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций*. Харьков: ООО «Фавор».
- Кравець, С. В., Посмітюха, О. П., & Супонев, В. Н. (2017). Аналітичний спосіб визначення опору занурення конусного наконечника в ґрунт. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование*, (97), 91-98.
- Лавров, Г. Е., & Саттаров, Т. Х. (1973). Исследование конструктивных и рабочих параметров шнековых установок горизонтального бурения. *Механизация строительства магистральных трубопроводов*, 27.
- Лавров, Г. Е., & Саттаров, Т. Х. (1978). *Механизация строительства, переходов магистральных трубопроводов под автомобильными и железными дорогами*. Москва: ВНИИСТ Главгаза СССР.
- Лучко, Й. Й. (2013). *Ґрунтознавство, механіка ґрунтів та основи і фундаменти*. Львів: Каменяр.
- Лучко, Й. Й. (2014). *Мости, труби і тунелі*. Львів: Каменяр.
- Лучко, Й. Й., Бубняк Т. І., & Кравець, І. Б. (2020). Механічні процеси у ґрунтовому масиві при горизонтальних виробках (огляд). *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 41-52.
- Супонев, В. М. (2018а). Визначення величини зони деформування ґрунту конусоциліндричним наконечником і тиску на бічній поверхні. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, 83, 22-28.
- Супонев, В. М. (2018b). Технологія управління проколом ґрунту та вибір силового приводу установки для її реалізації. *Наукові вісті Дніпровського університету*, 15.
- Рахматулин, Х. А., Сагомоян, А. Я., & Алексеев, Н. А. (1964). *Вопросы динамики грунтов*. Москва.
- Супонев, В. Н., & Олексин, В. И. (2010). Обоснование параметров установок для бестраншейной прокладки распределительных сетей инженерных коммуникаций методом гидростатического прокола. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*, 5 (75), 66-74.

И. И. ЛУЧКО*

* Кафедра строительных конструкций, Львовский национальный аграрный университет, ул. В. Великого, 1, г. Дубляны, Украина, 80381, тел. +38 (097) 033 18 36, эл. почта lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ГРУНТА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКЕ

Цель. Целью работы является разработка экспериментально-теоретического метода определения коэффициента трения при движении грунта в цилиндрической трубе, который в современных условиях строительства необходимо знать при теоретических исследованиях для оценки величины давления, плотности почвы и других факторов при прокладке инженерных коммуникаций закрытым способом. **Методика.** На основе анализа современных методов и способов силового воздействия на грунтовый массив и механических и технологических процессов, которые происходят в грунтовом массиве при прокладке инженерных коммуникаций методом статического прокола и методом продавливания. Разработать и описать экспериментально-теоретическую методику определения коэффициента трения при движении грунта в цилиндрической трубе, который необходимо определять при теоретических исследованиях для оценки величины давления, плотности почвы и других факторов. Сформулировать основные задачи, которые необходимо решить в

© Й. Й. Лучко, 2020

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

будущем и установит критерии их использования для исследования механических процессов при выполнении горизонтальных выработок способом уплотнения грунтового массива. **Результаты.** Выполнен анализ отечественных и зарубежных научно-технических источников по прокладке инженерных коммуникаций закрытым способом. В частности, разработана и описана экспериментально-теоретическая методика определения коэффициента трения при движении грунта в цилиндрической трубе, который необходимо определять при теоретических исследованиях для оценки величины давления, плотности почвы и других факторов при прокладке инженерных коммуникаций закрытым способом. Сформулированы основные задачи, которые необходимо решить в будущем и установит критерии их использования для исследования механических процессов при выполнении горизонтальных выработок способом уплотнения грунтового массива. Также нужно решить задачу нестационарного уравнения движения грунта с учетом коэффициента трения к наружной поверхности трубы. **Научная новизна.** В данной работе на основе анализа научно-технических источников силового воздействия на сплошной грунтовой массив, установленные сведения о процессах в грунтовой массиве при выполнении выработки методом статического прокола и методом продавливания. В частности, установлены основные динамические свойства почв и сформулированы теоретические основы для исследования механических процессов при проведении горизонтальных выработок способом уплотнения грунтового массива. **Практическая значимость.** На основании этих данных удалось разработать экспериментально-теоретическую методику для определения коэффициента трения при движении грунта в цилиндрической трубе, в частности, при прокладке труб способом продавливания закрытым способом. Этот коэффициент необходимо знать для оценки величины давления, плотности почвы и зоны пластичности грунта и других факторов.

Ключевые слова: продавливание; коэффициент трения; прокол грунта; плотность грунта; грунтовой массив

J. J. LUCHKO*

* Department of Building Constructions, Lviv National Agrarian University, V. Velykoho Street, 1, Dubliany, Ukraine, 80381, tel. +38 (097) 033 18 36, e-mail lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

EXPERIMENTAL-THEORETICAL METHOD OF DETERMINING THE FRICTION COEFFICIENT DURING THE MOTION OF THE SOIL IN A CYLINDRICAL PIPE WITH A HORIZONTAL DEVELOPMENTS

Purpose The aim of the work is to develop an experimental-theoretical method for determining the coefficient of friction when soil moves in a cylindrical pipe, which in modern construction conditions must be known in theoretical studies to assess the magnitude of pressure, soil density and other factors when laying utility lines in a closed way. **Methodology.** Based on the analysis of modern methods and methods of force impact on the soil mass and mechanical and technological processes that occur in the soil mass when laying engineering communications using the static puncture method and the punching method. To develop and describe an experimental-theoretical method for determining the coefficient of friction during soil movement in a cylindrical pipe, which must be determined in theoretical studies to assess the magnitude of pressure, soil density and other factors. To formulate the main tasks that need to be solved in the future and establish the criteria for their use for the study of mechanical processes when performing horizontal workings by compaction of the soil mass. **Findings.** The analysis of domestic and foreign scientific and technical sources on the laying of engineering communications by a closed method is carried out. In particular, an experimental-theoretical method for determining the coefficient of friction when soil moves in a cylindrical pipe has been developed and described, which must be determined in theoretical studies to assess the magnitude of pressure, soil density and other factors when laying utility lines in a closed way. The main tasks that need to be solved in the future are formulated and the criteria for their use for the study of mechanical processes when performing horizontal workings by compaction of the soil mass are formulated. It is also necessary to solve the problem of the non-stationary equation of soil motion, taking into account the coefficient of friction to the outer surface of the pipe. **Scientific originality.** In this work, based on the analysis of scientific and technical sources of force impact on a continuous soil massif, established information about the processes in the soil massif during excavation by the static puncture method and the punching method. In particular, the basic dynamic properties of soils have been established and theoretical foundations have been formulated for the study of mechanical processes during horizontal workings by compaction of a soil massif. **Practical value.** On the basis of these data, it was possible to develop

an experimental-theoretical method for determining the coefficient of friction when soil moves in a cylindrical pipe, in particular, when laying pipes using a closed punching method. This coefficient must be known to assess the magnitude of pressure, soil density and soil plasticity zone and other factors.

Keywords: pushing; coefficient of friction; soil puncture; soil density; soil mass

REFERENCES

- Balesnyy, S. P. (2017). Osobennosti protsessov staticheskogo prokola grunta. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, 76, 138-141. (in Russian)
- Balovnev, V. I. (1981). *Modelirovanie protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroitelnykh mashin*. Moskva: Vysshaya shkola. (in Russian)
- Belyaev, V. S. (2013). *Analiz eksperimentalnykh issledovaniy povedeniya metallicheskh gofrirovannykh konstruktivnykh pod vozdeystviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ikh sovmestnoy raboty s okruzhayushchim gruntom*. Chast 2. Naukovedenie, 6 (19). (in Russian)
- Belyaev, V. S. (2014). *Analiz eksperimentalnykh issledovaniy povedeniya metallicheskh gofrirovannykh konstruktivnykh pod vozdeystviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ikh sovmestnoy raboty s okruzhayushchim gruntom*. Chast 3. Naukovedenie, 1 (20). (in Russian)
- Vasilev, N. V. (1964). *Zakrytaya prokladka truboprovodov*. Moskva: Nedra. (in Russian)
- Vasilev, S. G., & Leshchenko, A. V. (1993). *Tekhnologicheskie protsessy provedeniya gorizontalnykh vyrabotok*. Lvov: Svit. (in Russian)
- Vetrov, Yu. A. (1971). *Rezanie gruntov zemleroynymi mashinami*. Moskva: Mashinostroenie. (in Russian)
- Danilov, B. B. (2012). Eksperimentalnoe obosnovanie protsessa transportirovaniya razrushennogo grunta pri gorizontalnomo burenii skvazhin. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 3, 82-90. (in Russian)
- Dvornikov, L. T., & Danchenko, V. S. (1980). *Osnovnye zakonomernosti razrusheniya gornykh porod pri vrashchatelnom burenii skvazhin malogo diametra mashinami ogranichennoy moshchnosti*. Mekhanika razrusheniya gornykh porod: Mat. 6-y Vsesoyuz. konf. mekhaniki gornykh porod, Frunze, 26-31. (in Russian)
- Kravets, S. V., Kovanko, V. V., & Lukianchuk, O. P. (2015). *Naukovi osnovy stvorennia zemleryino-yarusnykh mashyn i pidzemnorukhomykh prystroiv*. Rivne: NUVHP. (in Ukrainian)
- Kravets, S. V., Kaslin, N. D., Rudnev, V. K., & Suponev, V. N. (2008). *Mashiny dlya bestransheynoy prokladki podzemnykh komunikatsiy*. Kharkov: OOO «Favor». (in Russian)
- Kravets, S. V., Posmitiukha, O. P., & Suponiev, V. N. (2017). Analitichnyi sposib vyznachennia oporu zanurennia konusnoho nakonechnyka v grunt. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Podemno-transportnye, stroitelnye i dorozhnye mashyny i oborudovanie*, (97), 91-98. (in Ukrainian)
- Lavrov, G. Ye., & Sattarov, T. X. (1973). Issledovanie konstruktivnykh i rabochikh parametrov shnekovykh ustanovok gorizontalnogo bureniya. *Mekhanizatsiya stroitelstva magistralnykh truboprovodov*, 27. (in Russian)
- Lavrov, G. Ye., & Sattarov, T. X. (1978). *Mekhanizatsiya stroitelstva, perekhodov magistralnykh truboprovodov pod avtomobilnymi i zheleznymi dorogami*. Moskva: VNIIST Glavgaza SSSR. (in Russian)
- Luchko, Y. Y. (2013). *Gruntoznavstvo, mekhanika gruntiv ta osnovy i fundamenti*. Lviv: Kameniar. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y. (2014). *Mosty, truby i tuneli*. Lviv: Kameniar. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Bubniak T. I., & Kravets, I. B. (2020). Mekhanichni protsesy u gruntovomu masivi pry horyzontalnykh vyrobkakh (ohliad). *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*. 17, 41-52. (in Ukrainian)
- Suponiev, V. M. (2018a). Vyznachennia velychyny zony deformuvannia gruntu konusnotsyndrychnym nakonechnykom i tysku na bichnii poverkhni. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, 83, 22-28. (in Ukrainian)
- Suponiev, V. M. (2018b). Tekhnolohiia upravlinnia prokolom gruntu ta vybir sylovoho pryvodu ustanovky dlia yii realizatsii. *Naukovi visti Dalivskoho universytetu*, 15. (in Ukrainian)
- Rakhmatulin, Kh. A., Sagomonyan, A. Ya., & Alekseev, N. A. (1964). *Voprosy dinamiki gruntov*. Moskva. (in Russian)
- Suponev, V. N., & Oleksin, V. I. (2010). Obosnovanie parametrov ustanovok dlya bestransheynoy prokladki raspredelitelnykh setey inzhenernykh komunikatsiy metodom gidrostaticheskogo prokola. *Energoberezenie. Energetika. Energoaudit*, 5 (75), 66-74. (in Russian)

Надійшла до редколегії 10.09.2020.

Прийнята до друку 12.10.2020.

© Й. Й. Лучко, 2020