Розділ 1

АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ МЕТОДИ В МЕХАНІЦІ ТА ФІЗИЦІ РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

УДК 625.1

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН В ОКОЛІ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ГРУНТОВОЇ ВИРОБКИ

Й. Лучко, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-3675-0503

Львівський національний аграрний університет

В. Ковальчук, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-4350-1756

*Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

О. Петренко, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-8870-8534

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.005>

Лучко Й., Ковальчук В., Петренко О. Напружено-деформований стан в околі горизонтальної ґрунтової виробки

Наведено аналіз і синтез науково-технічних джерел, відображено ефективність застосування методів і способів горизонтальної виробки для малих діаметрів прокладки труб для комунікацій, зокрема водопропускних труб, через земляне полотно автомобільних і залізничних доріг.

Здійснена спроба сформулювати основні засади і розрахункову схему дослідження горизонтальної виробки для великих діаметрів понад 2000 мм, зокрема розв'язати складну задачу (аналітичним методом це дуже важко зробити) з визначення напружено-деформованого стану в околі виробки, враховуючи основні фактори, які б відображали реальні механічні процеси, що відбуваються в горизонтальних виробках закритим способом. Тому для розрахунку використали метод скінченних елементів у програмному комплексі Plaxis 8.2.

Установлено, що визначення напружено-деформованого стану в околі виробки для великого поперечного перерізу труби пов'язано із урахуванням складних механічних процесів, які відбуваються під час горизонтальної виробки і залежать від низки факторів: фізико-механічних характеристик ґрунту, методів горизонтальної виробки та технологічних параметрів засобів її виконання.

Проведено розрахунок напружено-деформованого стану горизонтальної ґрунтової виробки земляного полотна доріг великого поперечного перерізу.

З'ясовано, що достовірні результати розрахунку напружень і деформацій ґрунтової виробки можна отримати за допомогою методу скінченних елементів.

Установлено, що максимальні деформації виникають у вершині горизонтальної ґрунтової виробки, а максимальні напруження виникають у точці, яка від вертикальної осі виробки відхиляється на кут 30 градусів. Тому цю особливість розподілу напружень необхідно враховувати під час підсилення ґрунтової виробки у процесі безтраншейної проходки.

Ключові слова: земляне полотно, горизонтальна виробка, напруження, деформації.

Luchko J., Kovalchuk V., Petrenko O. Stress-strain state in the vicinity of horizontal soil excavation

In this work (stress-strain state in the vicinity of horizontal workings) the analysis and synthesis of scientific and technical sources where the efficiency of application of methods and methods of horizontal workings for small diameters of laying pipes for communications is shown. In particular, culverts through the ground of roads and railways.

An attempt is made to form the basic principles and calculation scheme of the study of horizontal development for large diameters greater than 2000 mm. In particular, to solve a complex problem, which is very difficult to solve by analytical method, to determine the stress-strain state in the vicinity of the workings, taking into account the main factors that would reflect the real mechanical processes occurring in horizontal workings in a closed way. Therefore, the finite element method in the Plaxis 8.2 software package was used for the calculation.

It is established that the determination of the stress-strain state in the vicinity of the excavation for a large cross section of the pipe is associated with complex mechanical processes that occur during horizontal excavation and depend on a number of factors – physical and mechanical characteristics of the soil, methods of horizontal development and technological parameters. its implementation.

The stress-strain state of the horizontal soil excavation of the road surface of large cross-section is calculated. It is established that reliable results of calculation of stresses and deformations of excavation can be obtained using the finite element method.

It is established that the maximum deformations occur at the top of the horizontal excavation, and the maximum stresses occur at a point that deviates from the vertical axis of the excavation by an angle of 30 degrees. Therefore, this feature of stress distribution must be taken into account when strengthening the excavation in the process of trenchless penetration.

Key words: earthen bed, horizontal excavation, stress, deformation.

Постановка проблеми. У використанні сучасних технологій горизонтальних свердловин за безтраншейного прокладання інженерних комунікацій, водопропускних труб найбільш доцільним є комбінований метод. Він поєднує найкращі особливості двох інших методів – статичного проколу і продавлювання.

У першому випадку (проколу) утворюється велика зона деформативності ґрунту, що може значно впливати на прилеглі комунікації. Ця обставина і великі осьові зусилля на проколюючий орган обмежують створення свердловин діаметром понад 250–300 мм.

У другому випадку – продавлювання – весь ґрунт свердловини потрапляє у навколишнє середовище, здійснюючи незначний вплив на нього. Тому використовується для створення свердловин діаметром більше 600 мм. Недолік цього методу – значний об’єм переміщення ґрунту. Тому використання у комбінованому методі кращих особливостей двох методів у різних типах ґрунтів дасть змогу у деяких випадках значно підвищити ефективність створення свердловин.

Основним елементом експлуатаційної надійності доріг і залізничної колії є земляне полотно. Зазначимо, що земляне полотно є неоднорідним не тільки за висотою і за довжиною. Зокрема, дуже часто трапляються проблемні ділянки перезволоженого або підтопленого полотна. Для підвищення міцності та експлуатаційної надійності перезволоженого земляного полотна автомобільних доріг і залізничної колії за останні 20 років земляне полотно посилюють різними методами і матеріалами, зокрема вкладанням труб у тіло земляного полотна для відведення (пропуску) води на проблемних ділянках.

Сьогодні налагоджено виробництво спеціальних дренажних труб діаметром до 600 мм. Тому цій роботі пропонується влаштовувати в тіло земляного полотна склопластикові труби методом проколу, продавлювання чи комбінованим без перекривання руху транспорту. У результаті продавлювання тіла земляного полотна виникає горизонтальна виробка ґрунту. Використанням склопластикових труб для підсилення проблемних ділянок земляного полотна може значно підвищити

експлуатаційну надійність та ефективність використання автомобільних доріг і залізничної колії.

Нині часто використовують статичний метод продавлювання для великих діаметрів труб та інші методи за прокладання комунікацій, зокрема і прокладку дренажних труб через земляне полотно автомобільних і залізничних доріг. Це дозволяє виконувати будівельні роботи без зупинки транспортних засобів на таких дорогах. У виконанні будівельних робіт за закритого способу прокладки труб будь-яким методом в околі виробки виникають значні деформації і напруження. Тому для визначення напружено-деформованого стану в околі горизонтальної виробки необхідно розв’язати складну наукову задачу. Вона пов’язана із урахуванням складних механічних процесів, які проходять у ґрунтовому масиві в околі ґрунтової виробки. Такі процеси залежать від багатьох чинників: фізико-механічних характеристик ґрунту, методів створення горизонтальної ґрунтової виробки та технологій виконання виробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основними напрямками розвитку безтраншейних технологій прокладання комунікацій у світі є горизонтально направлене буріння у вигляді статичного проколу і продавлювання з екскавациєю ґрунту.

Критичний огляд науково-дослідних джерел [1–6] засвідчує, що механічні процеси у виконанні горизонтальних виробок методом проколу чи продавлювання достатньо обґрунтовані і вивчені під час виконання поперечних перерізів горизонтальної виробки від 500 мм до 2000 мм у піщаних і глинистих ґрунтах.

Проте відсутні дослідження з визначення напружено-деформованого стану ґрунтового масиву методом продавлювання за проведення горизонтальної виробки ґрунту земляного полотна автомобільних і залізничних доріг при застосуванні склопластикових труб діаметром до 3600 мм. Тому дослідження вказаної тематики роботи є актуальними і своєчасними для автомобільних і залізничних доріг України. Крім цього, виконання виробки є актуальним у будівництві сучасних споруд із металевих гофрованих конструкцій [7; 8].

Постановка завдання. Наше завдання – дослідження напружено-деформованого стану в околі горизонтальної ґрунтової виробки великого поперечного перерізу, земляного полотна автомобільних і залізничних доріг.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо технологічний процес за руху труби з відкритим кінцем: у ґрунтовому масиві попереду утворюється «ґрунтовий конус», а частина ґрунту, потрапляючи у внутрішню порожнину труби, утворює «ґрунтову пробку» – ґрунт, який рухається разом із трубою. ґрунтова пробка вважається сформованою, якщо у кожному перерізі щільність у середині ґрунтового конуса більша аніж на поверхні конуса. Напруження на поверхні ґрунтового конуса визначаються за допомогою контактних напружень. Контактні напруження – це напруження на поверхні конуса, які виникають для подолання вертикального зусилля за руху циліндричної труби.

Сформулюємо основні засади та схему ґрунтової виробки великого поперечного перерізу.

Для оцінки напружено-деформованого стану за безтраншейного прокладання труб способом продавлювання з поперечним перерізом 2000 мм і більше у роботі для розрахунку використовуємо метод скінченно-елементного аналізу. Розрахункова схема поперечного перерізу земляного полотна з циліндричною ґрунтовою виробкою великого поперечного перерізу наведена на рис. 1.

Тіло земляного полотна складається із чотирьох шарів ґрунту. Фізико-механічні характеристики шарів ґрунтової виробки наведено у табл. 1.

У тіло земляного полотна методом безтраншейної проходки планується влаштовувати склопластикову трубу із максимальним діаметром 3,6 м. Висота насипу становить 5,0 м, а довжина ділянки досліджуваного земляного полотна дорівнює 10,0 м.

Розрахунки напружено-деформованого стану ґрунтової виробки виконано методом скінченних елементів у програмному комплексі Plaxis 8.2. Результати розподілу деформацій по радіальній координаті ґрунтової виробки наведено на рис. 2.

Рис. 1. Схема ґрунтової виробки великого поперечного перерізу.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики шарів земляного полотна

Назва механічних характеристик ґрунту	Щебневий баласт	Супісок	Суглинок	Глина
Питома вага, γ кН/м ³	13,8	21,7	22,6	27,4
Коефіцієнт Пуансона, ν	0,27	0,27	0,27	0,27
Коефіцієнт зчеплення c , кПа	0,1	5	13	30
Кут внутрішнього тертя, φ°	43	37	25	17
Кут дилатанції, ψ°	0	1	1	2
E , МПа	150	110	28	16,4

Рис. 2. Розподіл деформацій у ґрунтовій виробці.

Рис. 3. Розподіл напружень у ґрунтовій виробці.

Аналізуючи одержані результати (див. рис. 2), можна стверджувати, що величина напружень знижується за зростання значення радіальної координати, порівняно з даними розрахунку за поперечного перерізу виробки (труби) 600 мм. Нормальні напруження мають вищий рівень ніж дотичні. Встановлено, що значення тангенціальних напружень близькі до відповідних значень радіальних напружень.

Розрахунки також продемонстрували, що на напружений стан значно впливає тиск, прикладений вздовж виробки.

Дані розрахунку показали, що максимальні вертикальні деформації виникають у вершині ґрунтової виробки і становлять 3,2 мм, а горизонтальні деформації на боковій стороні виробки становлять 2,5 мм.

На рис. 3 наведено розподіл напружень навколо ґрунтової виробки.

Рис. 4. Схема до визначення розподілу напружень і деформацій у ґрунтовій виробці.

Із рис. 3 бачимо, що максимальні напруження у ґрунтовій виробці, безпосередньо по радіальній координаті, становлять 48 кПа. Водночас максимальні напруження концентруються у міс-

цях задання граничних умов закріплення земляного полотна.

Розглянемо більш детально розподіл деформацій та напружень у характерних точках поперечного перерізу ґрунтової виробки. Для цього наведемо схему (рис. 4).

Результати напружень і деформацій у характерних точках ґрунтової виробки наведено у табл. 2.

Із табл. 2 зрозуміло, що максимальні деформації виникають у вершині ґрунтової виробки і становлять 3,2 мм. Проте максимальні напру-

ження виникають у точці 2, яка від вертикальної осі виробки відхиляється на кут до 30 град., і вони становлять 48 кПа. Цю особливість розподілу напружень необхідно враховувати у розрахунку міцності ґрунтової виробки.

На рис. 5 наведено розподіл пластичних напружень у ґрунтовій виробці.

Точки пластичних напружень максимально концентруються у вершині ґрунтової виробки (рис. 5), що пояснюється процесами осадки ґрунту виробки під власним навантаженням.

Таблиця 2

Результати розподілу напружень і деформацій у ґрунтовій виробці

Характеристики	Характерні точки ґрунтової виробки				
	1	2	3	4	5
Деформації, мм	3,2	2,6	2,0	1,2	0,2
Напруження, кПа	12	48	28	44	4

Рис. 5. Розподіл пластичних напружень у ґрунтовій виробці.

Висновки. На підставі сформульованої проблеми та аналізу науково-технічних джерел і розв'язку задачі з визначення напружено-деформованого стану та одержаних результатів можна дійти таких висновків.

Сформульовано основні засади та розрахункову схему для визначення НДС в околі виробки для великого поперечного перерізу труби. Ця задача пов'язана із урахуванням складних механічних процесів, які відбуваються під час горизонтальної виробки і залежать від низки факторів: фізико-механічних характеристик ґрунту, методів горизонтальної виробки та технологічних параметрів засобів її виконання.

На підставі виконаної оцінки напружено-деформованого стану в околі ґрунтової виробки великого поперечного перерізу пропонується використання методу скінченних елементів, оскільки він дає надійні результати.

За результатами розрахунку напружено-деформованого стану в околі ґрунтової виробки встановлено, що максимальні деформації виникають у вершині ґрунтової виробки і становлять 3,2 мм, а максимальні напруження виникають у точці, яка від вертикальної осі виробки відхиляється на кут до 30 град., і вони становлять 48 кПа. Цю особливість розподілу напружень необхідно враховувати у виконанні ґрунтової виробки у процесі безтраншейної проходки земляного полотна доріг.

Надалі у процесі досліджень потрібно: уточнити основні теоретичні засади механічних процесів під час виконання горизонтальних виробок великого поперечного перерізу способом продавлювання; сформулювати основні припущення та побудувати загальну схему дослідження напружено-деформованого стану в околі виробки, у стискаючому суцільному ізотропному масиві під дією рівномірно розподіленого навантаження; змо-

делювати динаміку руху ґрунту у циліндричній трубі в умовах плоскої осесиметричної деформації за певних умов і властивостей ґрунтів.

Бібліографічний список

1. Кучерявый Ф. И., Коломиец А. Н., Кучерявый Ю. Ф. К расчету напряженно-деформированного состояния массива при взрывании цилиндрического заряда. *Изв. вузов. Горный журн.* 1974. № 12. С. 51–55.
2. Васильев С. Г. Прокладка подземных коммуникаций закрытым способом. *Пром. строительство.* 1988. № 2. С. 45–49.
3. Васильев С. Г., Лещенко А. В. Технологические процессы проведения горизонтальных выработок. Львов: Свит, 1993. 160 с.
4. Лучко Й., Гнатів Ю. Напружений стан ґрунтового масиву при проведенні горизонтальної виробки способом ущільнення. *Вісник ТНТУ.* 2011. Том 16. № 3. С. 38–43.
5. Luchko J., Leshchenko A. Determination of a ground fluctuation zone caused by piping / In processing of conference «Concrete bridges». Kosice, 1997. P. 298–303.
6. Luchko I. I., Letschenko A. V. Saturation with corrosion protection solution of reinforced concrete bar of round cross-section. Materials of celdration the sixth International scientific conference. VII sekcia. Kosice, 1997. P. 21–24.
7. Maday A. «In situ» testing of a long span, corrugated steel culvert used to rehabilitate a concrete frame: railway viaduct. Maday A., Vaslestad J., Janusz L. *ViaCon*, 1998.
8. Mair R. J., Gumbel J. E., Spasojevic A. D. Centrifuge modelling of the effects of soil loading on flexible sewer liners. *Journal Geotechnique.* 2007. No. 4. P. 331–341.

Стаття надійшла 17.06.2021