

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Посмітюха Олександр Петрович

УДК 624.132.3

ДИСЕРТАЦІЯ
СТВОРЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ
ДЛЯ СУМІСНОГО БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ЛІНІЙНО-
ПРОТЯЖНИХ ОБ'ЄКТІВ

05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ О. П. Посмітюха

Науковий керівник Кравець Святослав Володимирович, доктор технічних наук, професор НУВГП

Дніпро – 2023

АНОТАЦІЯ

Посмітюха О. П. Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів.

– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт» (13 – Механічна інженерія). – Український державний університет науки і технологій Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2023.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної задачі забезпечення більш ефективного будівництва підземних комунікацій шляхом використання технологій, що передбачають прокладання комунікацій закритими способами, а саме формування технологічних порожнин у ґрунті для безтраншейного прокладання декількох лінійно-протяжних об'єктів розподільних підземних комунікацій шляхом узагальнення наукових основ створення установок і робочого обладнання обґрунтування їх раціональних конструктивних параметрів, розширення області використання та технологічних можливостей статичних методів формування технологічних порожнин для лінійно-протяжних об'єктів.

Безтраншейні технології прокладання відомі у світі як TRENCHLESS TECHNOLOGIES, або NO-DIG, – являють собою варіант виконання будівельних робіт в підземному просторі без розтину ґрунту. При використанні безтраншейних технологій понад 90% всіх робіт проводиться під землею. Інноваційні технології можна використовувати під час прокладання кабелів різного призначення, нафтогазо-проводів, при будівництві та ремонті водопровідних та каналізаційних мереж. В умовах щільної міської забудови, при перетині залізничних колій, автошляхів, річок, озер і багатьох інших об'єктів ці технології є незамінні.

Одним зі шляхів підвищення ефективності процесу безтраншейного прокладання трубопроводів способом проколу є застосування оптимальної форми технологічної порожнини в ґрунті, що дасть змогу істотно зменшити зусилля проколювання, а також зменшити зону розповсюдження переущільненого ґрунту.

Великі значення енергомісткості проходки технологічних порожнин у ґрунті вказаними способами й невисокі значення коефіцієнта корисної дії формування порожнин роблять дослідження процесу взаємодії робочого наконечника складної форми з ґрунтом актуальними.

В роботі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано об'єкт, предмет, мету і завдання дослідження, описано методи дослідження, а також визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; надано інформацію про апробацію та публікації результатів дисертаційного дослідження.

Проведений огляд способів безтраншейного прокладання комунікацій, машини та робочих органів для сумісного безтраншейного прокладання групи лінійно-протяжних об'єктів показав, що для досягнення цієї мети використовують багато різноманітних машин, основним недоліком яких є їхні габаритні розміри або розміри робочої зони, велика вартість машин та виконання робіт, інколи низька точність прокладання, обмеження по величині робочої зони, що остаточно визначило напрямок пошуків – в бік малогабаритних установок, що методом статичного проколу, з можливістю корекції траєкторії й подальшим ступеневим розширенням технологічних порожнин до потрібного розміру, виконують технологічні переходи в тісних умовах міської забудови.

Огляд теоретичних досліджень в галузі статичного проколювання порожнин показує значну зацікавленість цим питанням у світі, але одночасно показує складність процесу. Багато вчених вводять нові експериментальні коефіцієнти, що вимагають додаткових досліджень, інші не враховують кут загострення, треті не враховують вологість чи пористість. Найлегшим у використанні, для визначення сили проколювання технологічних порожнин у ґрунті, є теорії описані в роботах С. В. Кравця, В. В. Кованько та В. М. Супонєва, що пропонують залежності всі складові яких взяті з будівельних норм, або отримані простими експрес-аналізами – визначають тип ґрунту та його вологість.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- вперше аналітичним шляхом отримано закономірності зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину наконечника робочого органу, що дозволило отримати

аналітичну залежність розрахунку його сили опору проколювання в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, діаметра та кількості футлярів для лінійно-протяжних об'єктів, що прокладаються одночасно;

- вперше отримані теоретичні залежності для визначення оптимальних параметрів клиново-призматичного наконечника з виступами бокових граней;

- розроблені узагальнені теоретичні залежності для визначення тиску ґрунту на сусідні підземні комунікації, які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій.

Результатом досліджень дисертаційної роботи стала методика розрахунку конструктивних параметрів клиново-призматичних наконечників для отримання підземних порожнин в залежності від типу ґрунту, кількості та розмірів футлярів, для лінійно-протяжних об'єктів, а також методика визначення впливу робочих органів на сусідні підземні комунікації, яка впроваджена при проєктуванні траси прокладання комунікації інженерними працівниками компанії ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро, (акт впровадження від 25.05.2021 р.), та ПФ "АЛРУС", м. Дніпро, (акт впровадження від 20.05.2021 р.)

Результати досліджень використано в навчальному процесі при підготовці фахівців у рамках дисциплін «Машини для колійних робіт» та «Землерийні машини», що викладаються на кафедрі «Прикладна механіка та матеріалознавство» факультету «Транспортна інженерія» «Українського державного університету науки і технологій».

Практичне значення полягає в наступному:

- створено методику вибору технологій утворювання технологічних порожнин у ґрунті для прокладання кількох лінійно-протяжних об'єктів шляхом статичного проколювання робочими органами клиново-призматичної форми при спорудженні підземних розподільних мереж в стислих міських умовах на відстань до 100 м та діаметром до 400 мм.

- розроблена конструкція клиново-призматичного наконечника робочого органу ґрунтопроколюючої установки для одночасного прокладання групи лінійно-протяжних об'єктів;

- розроблені алгоритми для визначення параметрів робочих органів і зусиль проколу клиново-призматичними робочими органами технологічних порожнин для прокладання групи футлярів;

- розроблена конструкція клиново-призматичного наконечника дозволяє знизити робочі зусилля в 1,2-1,76 раза в порівнянні з традиційною конічно-циліндричними наконечниками, в залежності від кількості футлярів, що одночасно прокладаються;

- для проведення лабораторних експериментальних досліджень розроблене та створене стендове обладнання з робочим зусиллям до 6 кН та комплект наконечників клиново-призматичної та конічно-циліндричної форми, яке дало змогу провести серію дослідів на підтвердження теоретичних викладок отримання технологічних порожнин у ґрунті для одночасного прокладання двох і більше футлярів;

- для проведення лабораторних досліджень змодельовано ґрунт, для якого стандартизованими методами лабораторного визначення фізичних властивостей ґрунтів, в спеціалізованій лабораторії ТОВ «ДНПРОГЕОАЛЬЯНС» були визначені: тип ґрунту – пісок, його вологість; кути зовнішнього та внутрішнього тертя; питома сила тяжіння ґрунту; коефіцієнти зчеплення, компресії, Пуассона, бічного тиску; компресійний модуль, модулі загальної та об'ємної деформації. Отримані параметри використовувались для виконання розрахунків зусиль проколювання технологічних порожнин;

- створено методику визначення сили послідовного розширення технологічної порожнини робочими органами клиново-призматичної або конічно-циліндричної форми під час статичного проколювання й оптимізації параметрів РО для зменшення впливу на сусідні підземні комунікації. Вихідними даними для виконання інженерних розрахунків зусиль статичного проколювання технологічних порожнин є розмір і кількість футлярів, тип ґрунту та його вологість, глибина прокладання комунікації. Решту параметрів ґрунтів беремо з нормативних документів або за результатами лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей;

- розроблено програмне забезпечення для визначення послідовності та зусиль проколювання технологічних порожнин для групи лінійно протяжних об'єктів клиново-призматичними робочими органами в залежності від типу ґрунту, вологості та механічних характеристик робочих установок;

- запропоновані методики можуть бути використані у процесі проєктування та створення робочих органів та установок статичного проколювання ґрунту для утворення горизонтальних порожнин з умови максимально ефективного їх використання при безтраншейному прокладанні розподільних підземних комунікацій в стислих міських умовах на відстань до 100 м та діаметром до 450 мм.

Економічний ефект від впровадження клиново-призматичного робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно протяжних об'єктів відбувається шляхом зменшення собівартості спорудження технологічної порожнини, можливості виконання робіт на менших глибинах та ближче до сусідніх комунікацій, зменшення витрат на земляні роботи, на транспортні витрати та збільшення експлуатаційної продуктивності. Проведено розрахунки економічної ефективності використання базової установки горизонтально спрямованого буріння ГНБ-800/300, що експлуатуються фірмою ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», та нової установки МПК-30-100 (машини керованого проколу) з клиново-призматичним робочим обладнанням, при спорудженні переходів довжиною 50 м керованого проколу та горизонтально направленої буріння, що показали зниження собівартості спорудження переходу на 27,68%. Даний показник підтверджується при розмірах до 350 мм, збільшення розміру порожнини різко знижує ефективність, а після 450 мм використання статичного проколу стає неможливим, через значні деформації ґрунту та велике збільшення робочих зусиль.

Ключові слова: технологічна порожнина, лінійно протяжний об'єкт, ґрунт, клиново-призматичне робоче обладнання, конічно-циліндричні робочі органи, футляр, статичний прокол.

ABSTRACT

Posmitiukha O. P. Creation and substantiation of the parameters of the working body for compatible trenchless laying of linear and longitudinal objects.

– Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.05.04 "Machines for earth, road and forestry works" (13 – Mechanical Engineering). – Ukrainian State University of Science and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and applied problem of ensuring more efficient construction of underground communications by using technologies that provide for the laying of communications by closed methods, namely the formation of technological cavities in the soil for the trenchless laying of several linear and extended objects of distribution underground communications by summarizing the scientific foundations of the creation installations and working equipment, justification of their rational design parameters, expansion of the field of use and technological possibilities of static methods of forming technological cavities for linear and long objects.

Trenchless laying technologies known in the world as TRENCHLESS TECHNOLOGIES, or NO-DIG, are a variant of construction works in the underground space without dissection of the soil. When using trenchless technologies, more than 90% of all works are carried out underground. Innovative technologies can be used during the laying of cables for various purposes, oil and gas pipelines, during the construction and repair of water and sewage networks. In conditions of dense urban development, when crossing railway tracks, highways, rivers, lakes and many other objects, these technologies are indispensable.

One of the ways to increase the efficiency of the process of trenchless laying of pipelines by the puncture method is by using the optimal form of the technological cavity in the soil, which will make it possible to significantly reduce the puncture force as well as reduce the spread zone of overcompacted soil.

High values of the energy consumption of drilling technological cavities in the soil by the indicated methods and low values of the coefficient of useful effect of the formation of cavities make the research of the process of interaction of the working tip of a complex shape with the soil relevant.

The work substantiates the relevance of the topic, formulates the object, subject, goal and task of the research, describes the research methods, and also defines the connection of the work with scientific programs, plans, and topics. Information about the approval and publication of the results of the dissertation research is provided.

A review of the methods of trenchless laying of communications, machines and working bodies for the simultaneous trenchless laying of a group of linear and long objects showed that many different machines are used to achieve this goal, the main drawback of which is their overall dimensions or the dimensions of the working area, the high cost of the machines and execution of work, sometimes low accuracy of laying, limitation of the size of the working area, which finally determined the direction of the search - in the direction of small-sized installations, which by the method of static puncture, with the possibility of trajectory correction and further gradual expansion of technological cavities to the required size, perform technological transitions in cramped conditions urban development.

A review of theoretical studies in the field of static piercing of cavities shows significant interest in this issue around the world, but at the same time shows the complexity of the process. Many scientists introduce new experimental coefficients that require additional research; others do not take into account the angle of sharpening; others do not take into account humidity or porosity. The easiest to use to determine the strength of piercing technological cavities in the soil are the theories described in the works of S. V. Kravets, V. V. Kovanko, and V. M. Suponev, which offer dependencies, all the components of which are taken from construction standards or obtained by simple express analyses to determine the type of soil and its moisture content.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

- for the first time, the patterns of changes in soil pressure on the side faces of the wedge of the tip of the working body were analytically obtained, which made it possible

to obtain an analytical dependence of the calculation of its resistance to puncture depending on the physical and mechanical properties of the soil, the diameter and the number of cases for linear-extending objects that are laid simultaneously;

- for the first time obtained theoretical dependences for determining the optimal parameters of a wedge-prismatic tip with protruding side faces;

- developed generalized theoretical dependencies for determining soil pressure on nearby underground communications that fall into the zone of action of elastic-plastic deformations.

The result of the research for the dissertation was a method of calculating the structural parameters of wedge-prismatic tips for obtaining underground cavities depending on the type of soil, the number and size of the cases, for linear and long objects, as well as a method of determining the influence of working bodies on nearby underground communications, which has been implemented during the design of the communication route by engineering employees of MBK SYNERGY LLC, Dnipro (implementation act dated 05/25/2021) and ALRUS PF, Dnipro (implementation act dated 05/20/2021).

The results of the research were used in the educational process in the training of specialists within the disciplines "Machines for track work" and "Earth-moving machines", which are taught at the "Applied Mechanics and Materials Science" department of the "Transport Engineering" faculty of the "Ukrainian State University of Science and Technology".

The practical meaning is as follows:

- a technique for choosing technologies for the formation of technological cavities in the soil for the laying of several linear-extending objects by means of static piercing by working bodies of a wedge-prismatic shape during the construction of underground distribution networks in compact urban conditions for a distance of up to 100 m and a diameter of up to 400 mm was created.

- the design of the wedge-prismatic tip of the working body of the soil-piercing installation was developed for the simultaneous laying of a group of linear-prolonged objects;

- developed algorithms for determining parameters of working bodies and puncture forces by wedge-prismatic working bodies of technological cavities for laying a group of cases;

- the developed design of the wedge-prismatic tip allows you to reduce the working effort by 1.2-1.76 times compared to the traditional conical-cylindrical tips, depending on the number of cases that are laid at the same time;

- for conducting laboratory experimental studies, bench equipment with a working force of up to 6 kN and a set of wedge-prismatic and conical-cylindrical tips were developed and created, which made it possible to conduct a series of experiments to confirm the theoretical statements of obtaining technological cavities in the soil for the simultaneous laying of two or more cases;

- for conducting laboratory studies, the soil was modeled, for which the following were determined by the standardized methods of laboratory determination of the physical properties of soils in the specialized laboratory of LLC "DNIPROGEOALLYANS": soil type - sand, its moisture content, external and internal friction angles, specific gravity of the soil; coefficients of adhesion, compression, Poisson, lateral pressure; compression modulus; modulus of total and volume deformation. The obtained parameters were used to calculate the punching forces of technological cavities;

- a technique was created for determining the force of sequential expansion of the technological cavity by working bodies of wedge-prismatic or conical-cylindrical shape during static piercing and optimizing RO parameters to reduce the impact on nearby underground communications. The initial data for performing engineering calculations of the efforts of static piercing of technological cavities are the size and number of cases, the type of soil and its moisture content, and the depth of the laying of communications. The rest of the soil parameters are taken from normative documents or according to the results of laboratory studies of physical and mechanical properties;

- software was developed to determine the sequence and effort of piercing technological cavities for a group of linearly extended objects by wedge-prismatic working bodies, depending on the type of soil, humidity and mechanical characteristics of work installations;

- the proposed methods can be used in the process of designing and creating working bodies and installations for static piercing of the soil for the formation of horizontal cavities under the condition of their maximum effective use during trenchless laying of distribution underground communications in compact urban conditions at a distance of up to 100 m and a diameter of up to 450 mm.

The economic effect of the introduction of a wedge-prismatic working body for compatible trenchless laying of linearly extended objects occurs by reducing the cost of construction of a technological cavity, the possibility of performing work at shallower depths and closer to neighboring communications, reducing the costs of earthworks and transportation costs, and increasing operating productivity. Calculations of the economic efficiency of the use of the basic horizontal drilling HDD-800/300 installation, operated by ABC SYNERGY, and the new CPM-30-100 (controlled puncture machines) installation with wedge-prismatic working equipment, during the construction of transitions 50 m long with controlled puncture and horizontally directed drilling, were carried out. Which showed a 27.68% reduction in the cost of construction for the transition. This indicator is confirmed for sizes up to 350 mm, an increase in the size of the cavity sharply reduces the efficiency, and after 450 mm, the use of static puncture becomes impossible, due to significant deformations of the soil and a large increase in work effort.

Keywords: technological cavity, linearly extended object, soil, wedge-prismatic working equipment, conical-cylindrical working bodies, case, static puncture.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Монографії

1. Кравець, С., Супонєв, В., **Посмітюха, О.** & Балєсний, С. (2021). Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті. Монографія. Харків.

Статті у міжнародній наукометричній базі даних SCOPUS

2. **Posmitiukha, O.**, Hlavatskyi, K., Kravets, S., Suponyev, V. and Koval, A. (2020). Analytical method of determining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure tracks. 15th International Scientific

and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020), Dnipro, Ukraine, Volume 985. **DOI** [10.1088/1757-899X/985/1/012033](https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012033)

3. **Posmituha, O.**, Kravets, S., Suponyev, V. & Hlavatskyi, K. (2018). Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil. 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud-2018). Section: Railways, Subways and Industrial Transport. Article Number-01011, 230. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001011>.

Статті у наукових фахових виданнях України

4. **Посмітюха, О.** (2023). Теоретичне визначення сил розширення технологічної порожнини у ґрунті клиново-призматичними та конічно-циліндричними робочими органами. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. (2 (101)). DOI: [10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.80](https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.80).

5. **Посмітюха, О.**, Кравець, С. & Супонєв, В. (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. http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmpm_2017_97_14.

6. Кравець, С., **Посмітюха, О.** & Супонєв, В. (2017). Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конічно-циліндричного наконечника з виступами для проколювання ґрунту. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. (4(70)), 89-97. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_4_12. (Index Copernicus).

7. **Посмітюха, О.** & Главацький, К. (2012). Обґрунтування поперечного перерізу безтраншейно утворених технологічних порожнин у ґрунті для комунікацій. Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та: сб. науч. тр. (57), 195-202. <https://crust.ust.edu.ua/items/5fd71740-c095-4d7b-b91c-8772cd7ecef3>.

8. **Посмітюха, О.** & Главацький, К. (2012). Методи безтраншейного утворення технологічних порожнин у ґрунті для прокладання комунікацій. Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та: сб. науч. тр. – Вып. (57), 214-221. <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/356>.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

9. Posmituha, A. Kravets, S., Suponyev, V., & Kulazhenko, Y. (2018). Determination of the size of the seal zone and the pressure of the soil on underground communications in the process of deformation of the soil by the wedge tip. INDUSTRIAL AND TECHNOLOGY SYSTEMS. Published online: (5, № 1(43)), 11-16. URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/146626/146478>. (Index Copernicus).

Опубліковані праці апробаційного характеру

10. **Посмітюха, О.** (2023). Використання клиново-призматичних робочих органів для прокладання підземних комунікацій способом статичного проколу ґрунту. Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України-2023». 174-177.

11. **Posmitiukha, O.,** Hlavatskyi, K. & Kravets, S. (2020). Analytical method of determining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure. Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження: тези доп. XV Міжнар. наук.-техн. конф. / Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 138-139. DOI: [10.1088/1757-899X/985/1/012033](https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012033)

12. **Посмітюха, О.,** Главацький К. & Кулаженко, Є. (2019). Моделювання процесу проколювання ґрунту плоским клиновим робочим органом для отримання горизонтальних порожнин у ґрунті. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 79 Міжнар. - практ. конф., Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 244-245.

13. **Посмітюха, О.,** Кравець, С., Супонєв, В. & Главацький, К. (2018). Використання плоского робочого органу для прокладання підземних комунікацій спо-

собою статичного проколу ґрунту. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф., Укр. держ. ун-т залізн. трансп., 51-52.

14. **Посмітюха, О.** & Кравець, С. (2018). Експериментальні дослідження проколу ґрунту наконечником для формування прямокутної порожнини. Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф, Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна., 35-36.

15. **Посмітюха, О. П.** (2017). Про використання способу проколу ґрунту при горизонтально направленому бурінні // Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference, Republic of Poland, - Radom, 2017, 35-36.

16. **Посмітюха, О. П.** & Главацький, К. (2013). Дослідження безтраншейного утворення технологічних порожнин у ґрунті (ТПГ) для прокладки комунікацій буро-ущільнювальним робочим органом (БУРО). Розвиток наукової школи транспортної механіки: тези доп. Міжнар. науково-техніч. конф., ДНУЗТ, 58-59.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

17. Пат. 144598 Україна. Пристрій для безтраншейної прокладки комунікацій. **Посмітюха О. П.**, Главацький К. Ц., Кравець С. В., Супонєв В. М. Скоблюк М. П. (Україна); заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u202002964; заявл. 18.05.2020; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19. – 5 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РО ДЛЯ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ЛІНІЙНО ПРОТЯЖНИХ ОБ’ЄКТІВ	21
1.1 Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій	21
1.2 Особливості прокладання декількох футлярів	37
1.3 Аналіз теорій по дослідженню статичного проколу ґрунту	40
Висновки за розділом 1	44
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КЛИНОВО ПРИЗМАТИЧНОГО РО З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ	45
2.1 Обґрунтування форми та конструкції РО	45
2.2 Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО	48
2.3 Теоретичне визначення сил проколювання ґрунту РО для сумісного прокладання ЛПО	54
2.4 Опір розширення ТПГ клиново-призматичними та кінечно- циліндричними наконечниками	79
Висновки за розділом 2	83
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОКОЛЮВАННЯ ҐРУНТІВ	85
3.1 Програма експериментальних досліджень	85
3.2 Стендове обладнання для проведення лабораторних експериментальних досліджень	91
3.3 Робоче обладнання для проведення польових досліджень	99
3.4 Результати експериментальних лабораторних досліджень	108
Висновки за розділом 3	119

4 НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА АЛГОРИТМИ ВИБОРУ І РОЗРАХУНКУ МАШИН ТА РО ДЛЯ ПРОКОЛЮВАННЯ ТПГ121

4.1 Методика проведення інженерних розрахунків РО	121
4.2 Визначення параметрів обладнання для утворення підземних свердловин способом проколювання	125
4.3 Техніко-економічні розрахунки	128
Висновки за розділом 4	138
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
ДОДАТКИ	155
ДОДАТОК А – Експериментальні дослідження ґрунтів	155
ДОДАТОК Б – Результати експериментальних досліджень	161
ДОДАТОК В – Програма для визначення сили проколювання	166
ДОДАТОК Г – Технологічна карта прокладання футлярів	174
ДОДАТОК Д – Акти впровадження	195

ВСТУП

Актуальність роботи

Безтраншейні технології прокладання відомі у світі як TRENCHLESS TECHNOLOGIES, або NO-DIG – це варіанти виконання будівельних робіт в підземному просторі без розтину ґрунту. При використанні безтраншейних технологій понад 90% всіх робіт проводиться під землею. Інноваційні технології можна використовувати під час прокладання кабелів різного призначення, нафто-газо-проводів, при будівництві та ремонті водопровідних та каналізаційних мереж. В умовах щільної міської забудови, при перетині залізничних колій, автодоріг, потічків, водойм і багатьох інших об'єктів ці технології є незамінні [1-5].

Одним зі шляхів підвищення ефективності процесу безтраншейного прокладання трубопроводів способом проколу є застосування оптимальної форми технологічної порожнини в ґрунті (далі – ТПГ), що дасть змогу істотно зменшити зусилля проколювання, а також зменшити зону розповсюдження зони переущільненого ґрунту.

Великі значення енергомісткості проходки ТПГ вказаними способами й невисокі значення ККД формування ТПГ роблять дослідження процесу взаємодії робочого наконечника складної форми з ґрунтом актуальними.

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри "Прикладна механіка та матеріалознавство" Українського державного університету науки і технологій (далі – УДУНТ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до наукових напрямків та завдань державних науково-технічних програм: «Енергетична стратегія розвитку України на період до 2030 року» (Постанова Кабінету Міністрів України №145-р від 15 березня 2008 р.), «Концепція розвитку, модернізації та переоснащення газотранспортної системи України на 2009–2015 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України №1417-р від 21 жовтня 2009 р.), відповідно до наукового напрямку кафедри «Прикладна механіка та матеріалознавство» – (науково-дослідна робота «Розробка та розрахунок вібросистем модульного типу і установок горизонтального буріння

отворів у ґрунті для облаштування колії при її ремонті, реконструкції і будівництві» № держреєстрації 0110U000328, 2011 р. «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» № держреєстрації 0117U005627) (УДУНТ) та правилами благоустрою території міста Дніпра [6 -8].

Мета роботи полягає у – зниження собівартості сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів (далі – ЛПО) шляхом створення робочого органу та обґрунтуванні його параметрів.

Завдання дослідження:

1) Обґрунтувати гіпотезу взаємодії клиново-призматичних наконечників з ґрунтом під час статичного проколу.

2) Провести аналітичні дослідження по визначенню робочих зусиль, оптимізації параметрів робочих органів (далі – РО) та зменшення впливу на сусідні підземні комунікації.

3) Провести експериментальні дослідження з перевірки функціональної працездатності запропонованої конструкції клиново-призматичних наконечників і визначити раціональні параметри розмірів в залежності від типу ґрунту.

4) Розробити інженерну методику розрахунку параметрів клиново-призматичних наконечників РО для проходки ТПГ у залежності від типу ґрунту та кількості ЛПО.

5) Визначити вплив клиново-призматичних наконечників РО на сусідні підземні комунікації.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії РО з ґрунтом для сумісного безтраншейного прокладання ЛПО.

Предмет досліджень – закономірності та параметри процесу взаємодії РО з ґрунтовим середовищем для сумісного безтраншейного прокладання ЛПО.

Методи досліджень

У роботі використовувались теоретичні та експериментальні методи дослідження. Поставлені завдання вирішувались шляхом: аналізу та узагальнення результатів попередніх досліджень за літературними та патентними джерелами.

Наукова новизна та положення які виносяться на захист

1) Вперше аналітичним шляхом отримані закономірності зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину наконечника РО, що дозволило отримати аналітичну залежність розрахунку його сили опору проколювання в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, діаметра та кількості футлярів для ЛПО, що прокладаються одночасно.

2) Вперше отримані теоретичні залежності для визначення раціональних параметрів клиново-призматичного наконечника з виступами бокових граней.

3) Розроблені залежності визначення тиску ґрунту на сусідні підземні комунікації, які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій.

Практичне значення полягає в наступному:

– розроблена конструкція клиново-призматичного наконечника РО ґрунтопроколюючої установки для одночасного прокладання групи ЛПО.

– розроблені алгоритми та програмне забезпечення для визначення параметрів і зусиль проколу клиново-призматичними РО.

Реалізація результатів роботи

Результатом досліджень стала методика розрахунку конструктивних параметрів клиново-призматичних наконечників РО для отримання ТПГ у залежності від типу ґрунту та кількості ЛПО, також методику визначення впливу наконечників РО на сусідні підземні комунікації, яка впроваджена в ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро, (довідка від 25.05.2021 р.), ПФ "АЛРУС", м. Дніпро. (довідка від 20.05.2021 р.)

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі під час підготовки фахівців у рамках дисципліни «Машини для колійних робіт» та «Машини для землерийних робіт», що викладаються на кафедрі «Прикладна механіка та матеріалознавство» факультету «Транспортна інженерія» «Українського державного університету науки і технологій».

Особистий внесок здобувача

Автором самостійно обґрунтована мета та ідея роботи, визначені задачі дослідження і наукові положення, вибрано методи дослідження, проведено математичне моделювання та аналітичні дослідження, обробка, аналіз і узагальнення отриманих результатів; зроблено висновки й розроблені рекомендації для практичного застосування отриманих науково-технічних результатів.

Апробація результатів роботи

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були оприлюднені на International research and practice conference «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences»: (Radom, December 27-28, 2017); Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів» (Дніпро, 2018,); VII Міжнародній науково технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2018); 79 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2019); 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (Dnipro, May 2020); Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України» (Харків, 2023).

Публікації

За темою дисертації опубліковано 17 друкованих робіт, 1 з яких – монографія, з колективом авторів; з яких 5 – статті у фахових виданнях України; з яких 2– в наукових періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази даних SCOPUS; 1 стаття у фаховому англомовному виданні; 7 – в матеріалах міжнародно технічних конференцій; отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг роботи. Повний обсяг дисертації становить 201 сторінок друкованого тексту і містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та шість додатків. Основну частину викладено на 154 сторінки. Список використаних джерел складається з 126 найменувань і займає 12 сторінок. Дисертація містить 74 рисунки і 14 таблиць, п'ять додатків на 47 сторінках.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РО ДЛЯ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ЛІНІЙНО ПРОТЯЖНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій

Безтраншейні технології, відомі як TRENCHLESS TECHNOLOGIES, або NO-DIG, – це варіант виконання робіт в підземному будівництві без розкопування ґрунту. Під час використання безтраншейних технологій понад 90% всіх робіт проводиться під землею. Інноваційні технології можна використовувати під час прокладки кабелів різного призначення, будівництва водо-нафто-газо-проводів, ремонту водопровідних та каналізаційних мереж [12-14].

Сучасні технології будівництва інженерних мереж можна умовно поділити на дві великі групи: прокладання підземних комунікацій з руйнуванням поверхні ґрунту та прокладання підземних комунікацій без руйнування поверхні ґрунті [15-18]. В першому випадку використовуються траншейний та плужний способи прокладання підземних комунікацій. В другому – під час улаштування переходів під інфраструктурними об'єктами, подолання перешкод (наприклад водних), безтраншейні способи до яких відноситься цілий ряд методів з екскавацією ґрунту з забою, без екскавації або з частковою екскавацією, керовані або некеровані процеси [19- 23].

З огляду технічної літератури та практики спорудження підземних переходів встановлено, що для прокладання лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури в міських умовах, безтраншейним методом, найбільше підходять малогабаритні установки [12, 24, 25], які потребують мінімальної площі для організації виробничого процесу та можуть забезпечити виконання робіт з невеликих приямків [18, 26, 27].

Існує багато способів, які можна реалізувати малогабаритними установками, що мають свої напрями ефективного використання та потребують повнішого аналізу. За характером дії на ґрунт існуючі безтраншейні методи формування ТПГ можна поділити на три: з радіальним втрамбовуванням ґрунту у стінки ТПГ, з екскавацією ґрунту зі свердловини та шляхом комбінації перших двох способів [9, 18-

19, 28-29, 30-31, 42]. Розглянемо особливості кожної групи окремо. Формування ТПГ шляхом радіального втрамбовування ґрунту виникає при осьовому просуванні РО з конусним наконечником (рис. 1.1). При цьому зусилля витрачається як на втрамбовування об'єму, що витісняється, так і на подолання опору тертя ґрунту по робочій та бічній поверхнях РО.

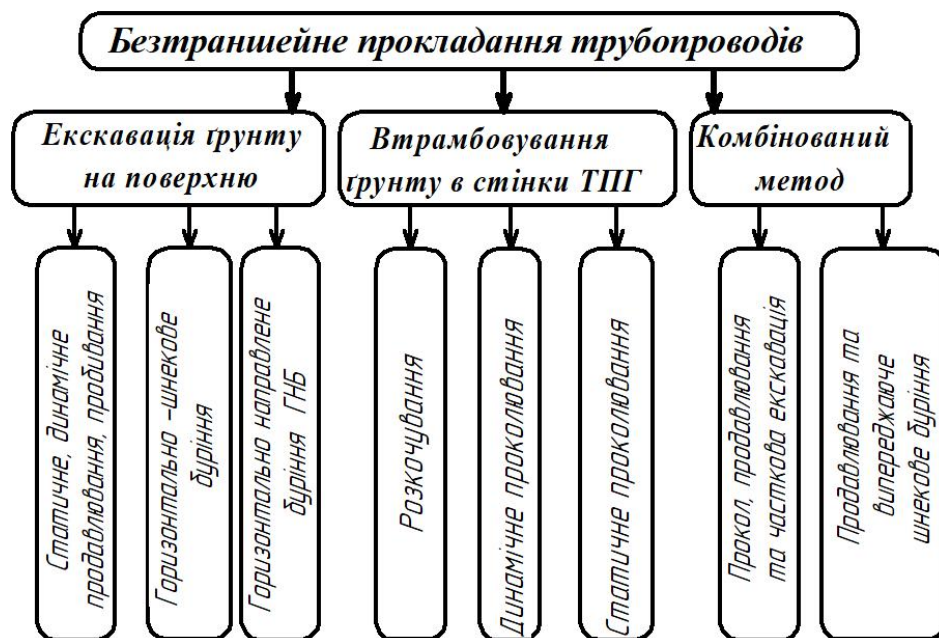


Рисунок 1.1 – Класифікація безтраншейних технологій отримання ТПГ для ЛПО підземних комунікацій

Горизонтальне шнекове буріння.

Горизонтально шнекове буріння (далі ГШБ) застосовується для прокладення труб різного діаметру в ґрунтах I - III категорії міцності. При цьому виключаються значні деформації поверхні та ризики обвалу забою, що особливо важливо при прокладанні лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури під наявними спорудами й комунікаціями. Діаметр труб, що прокладаються, коливається від 0,15 м до 1,8 м відстань між колодязями 200 м і більше [13, 32-33, 42] (рис. 1.2).

На рисунку (див. рис. 1.2.) наведена схема розробки ТПГ за допомогою установки ГШБ. Пілотна бурова голівка 8 з системою контролю прямолінійності, закріплена попереду пілотних штанг 7, що рухаються із робочого напрямку 1 до прийомного напрямку 2. Рух та керування РО виконується за допомогою бурової устано-

вки 3, що обпирається на регульовані опори рами, з приводом обертання та осевого переміщення. Після виходу штанг на їх місце встановлюють розширювач 9, прикріплений до секцій обсадних труб 11. Останні містять всередині шнек 10, який в міру просування в сторону прийомного прямоку вкопує ґрунт і транспортує його в стартовий приямок. Після серії повторів розширювач виходить в прийманий приямок, де разом зі штангами знімається зі шнеків й обсадної труби, шнеки виймаються через стартовий приямок у зворотному порядку. Процес прямолінійності проколу спостерігається в моніторі-повторювачі 5 за допомогою камери 6 встановленої позаду рами приводу. Привід усіх робочих агрегатів відбувається за допомогою гідростанції 4, розташованої поблизу прямоку.

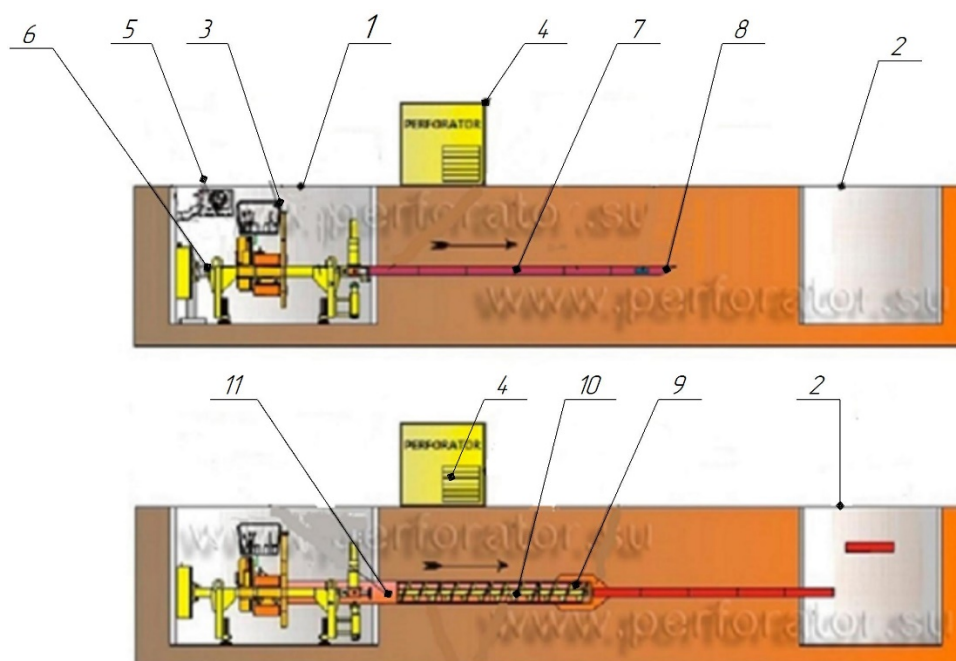


Рисунок 1.2 – Схема розробки ТПГ горизонтально-шнековим бурінням:

1 – робочий приямок; 2 – приймальний приямок; 3 – бурошнековий агрегат;
4 – гідростанція; 5 – монітор; 6 – камера; 7 – штанги; 8 – діодна мішень; 9 – розширювач; 10 – транспортуючі шнеки; 11 – стальний футляр

На сьогодні провідними виробниками установок горизонтально шнекового буріння на Європейському континенті є компанії PERFORATOR [34] і BOHRTEC

[33]. Основними перевагами цих установок є високий рівень прямолінійності проходження отворів для прокладання футлярів та великі діаметри отворів (від 600 мм до 2000 мм).

Основними недоліки таких машин є великі габаритні розміри установки та прийомків, неможливість отримати керовану непрямолінійну траєкторію отвору, висока енергомісткість процесу, неможливість роботи в перезволожених ґрунтах.

Горизонтально направлене буріння.

Горизонтально направлене буріння (ГНБ) на сьогодні є таким, що найдинамічніше розвивається серед інших методів будівництва лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Принцип цієї технології полягає в наступному [13, 35-38] (рис. 1.3). Спочатку

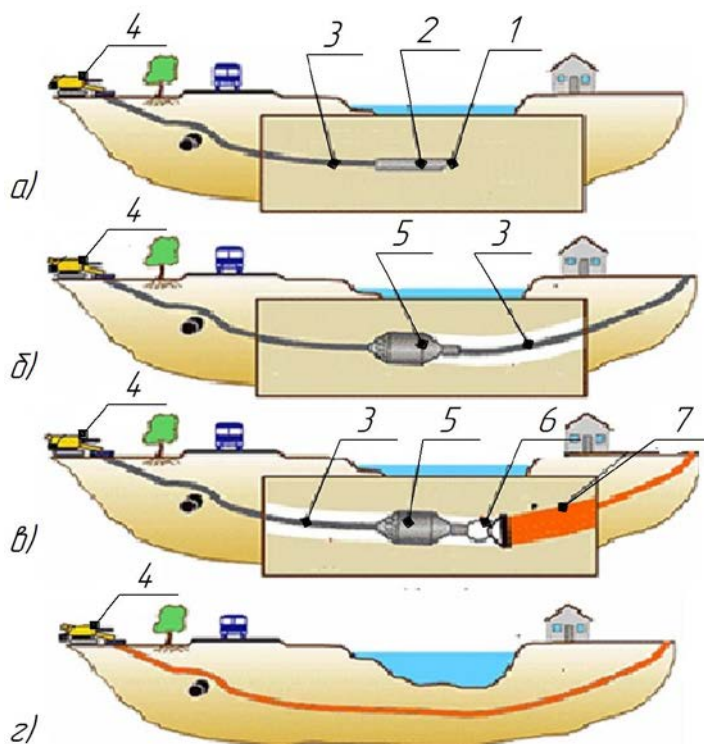


Рисунок 1.3 – Опис технології горизонтально-направленого буріння ГНБ: а) – буріння пілотної свердловини; б) – попереднє розширення ТПІ; в) – калібрування ТПІ та затягування футляру; д) – готовий трубопровід: 1 – бурова голівка; 2 – випромінювач навігаційний; 3 – штанги бурові; 4 – бурова установка; 5 – розширювач (ример); 6 – вертлюг; 7 – трубопровід

по трасі трубопроводу, що прокладається, здійснюють пілотне буріння (рис. 1.3, а), за допомогою пілотної бурової голівки в передній частині якої встановлено випромінювач. Бурова голівка сполучена зі ставом штанг, що дозволяє керувати процесом утворення пілотної свердловини й обходити, виявлені перешкоди у будь-якому напрямі в межах допустимого радіусу вигину штанг.

При передачі лише поступального руху штангам - траєкторія зміщується в сторону скосу голівки, при комбінації поступального й обертального руху бурова голівка та штанги рухаються прямолінійно. Таким чином, міняючи режими, досягається проєктна траєкторія свердловини.

Розширення свердловини (рис. 1.3, б) здійснюється під час зворотного руху штанг з прикріпленим розширювачем (римером), який шляхом розбурювання та перемішування ґрунтової породи з буровим розчином збільшує діаметр свердловини до потрібного розміру, отримана пульпа виноситься з зони буріння в приямки та випомпується для утилізації або повторного використання.(рис. 1.3, в).

Зараз створені установки, що дозволяють прокладати трубопроводи діаметром від 100 мм до 2500 мм на глибині до 20 м і довжиною до 2,5 км.

Основними виробниками установок ГНБ є компанії: Vermeer (USA) (рис. 1.4), Ditch Witch (USA), Astec Industries Ins (USA), Tracto-Technik (Німеччина), Sany Heavy Industry CO (Китай).



Рисунок 1.4 – Установка ГНБ фірми Vermeer: 1 – силова установка з рамою; 2 – кабіна оператора; 3 – привід бурових штанг; 4 – направляюча рама приводу бурових штанг; 5 – ключі з гідроприводом для розкручування штанг; 6 – магазин штанг; 7 – анкерні пристрої; 8 – ходове обладнання; 9 – помпа подачі бурової рі-

дини

Основні переваги: широкий діапазон розмірів свердловин та їх довжин, можливість використання криволінійної траєкторії, одночасне затягування футляра в отриману свердловину, заповнення пустот пульпою, яка при згущенні надійно закріпить футляр у порожнині.

Разом з очевидними перевагами ГНБ має недоліки: висока вартість робіт; обмежене застосування технології за негативних температурах навколишнього повітря; економічно не вигідна на коротких дистанціях (до 20-30 м) і малих діаметрах трубопроводів; великі габарити установки та допоміжного обладнання, що не дозволяє розгорнути комплекс на обмежених міських вулицях; висока вартість установки.

Вібраційне та віброударне забивання футлярів.

Теоретично та практично доведено, що сухі піщані, супіщані і водонасичені ґрунти погано стискаються та не можуть дати стійкий отвір, тому статичний прокол ускладнено або неможливо виконати через великі опори руху робочого органу та обсіпання стінок. В таких випадках застосовують вібраційні інтенсифікатори. Для отримання стану плинності піщаної маси використовують вібратори осьових, колових та поперечних коливань спрямованої або кругової дії та вібромолоти, які, крім вібрації, передають РО ударні імпульси. Вібраційний прокол передбачає одночасну дію статичного і вібраційного навантаження на РО (рис. 1.5). Віброударний прокол супроводжується, крім прикладеного навантаження, ударним імпульсом, що діє на трубу з конусним наконечником, в напрямку прийомного напрямку [22, 39-40, 44-45]. На (рис. 1.5 а) наведена схема віброударного проколювання з динамічним впливом в осьовій площині для утворення ТПГ діаметром від 20 мм до 450 мм.

Труба 2, що прокладається, з конусним наконечником 1 та блоком вібраторів 3, що встановлюється в конусному наконечнику (з заднього торця труби), що має парне число дибалансів вібраційні та натискні зусилля передаються через трубу, або, (див. рис. 1.5 б), через напірний шомпол 4. Останні, обертаючись у різні сторони, збуджують вимушені сили. Вертикальні складові цих сил взаємно врівноважуються, а горизонтальні, які спрямовані вздовж осі труби, складаються. Модифікація з віброзбуджувачем, що розташований в робочому наконечникові футляра та

має вібратор кругових вібрацій 3 (рис. 1.5 в)), а осьові зусилля створює труба 2, що прокладається, або ж варіант з саморушійним гідравлічним, або пневматичним молотом 5 (рис. 1.5 г)), що розташований в торці труби та передає на робочий наконечник 1 осьові ударні та вібраційні сили.

Сумарна вимушена сила вібратора визначається числом дибалансів, їхньою масою і частотою обертання, яка дорівнює частоті коливань вібратора.

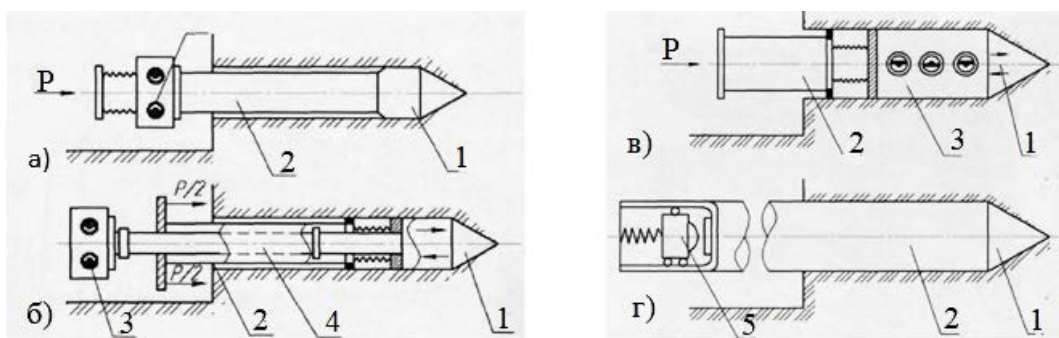


Рисунок 1.5 – Схеми віброударного проколювання з динамічним впливом в осьовій площині: а) – вібрація передається на трубу і наконечник; б) – вібрація передається тільки на наконечник; в) – віброзбудник вмонтований в наконечник; г) – віброударне проколювання; 1 – конусний наконечник; 2 – труба, що прокладається; 3 – блок вібраторів; 4 – напірний шомпол для з'єднання вібратора з наконечником; 5 – віброударний блок

Основними перевагами віброударного проколювання є можливість прокласти сталі футляри в сипких піщаних ґрунтах, суттєво знизити силу проштовхування футлярів.

Основним недоліком віброударного проколювання є великі габарити самих установок та приямків для них, великої кількості допоміжного інструменту, механізмів та персоналу, що залучений до виконання робіт з чого впливає велика вартість виконання робіт, а як результат низький ККД роботи, неможливість використання віброударного проколювання в умовах міської забудови (сейсмічний вплив на основу будівель).

Для забивання труб у ґрунтах I–III категорій діаметром від 200 мм до 1600 мм призначені гідравлічні або пневматичні машини ударної дії (пневмопробійники рис. 1.6, 1.7), [20, 22, 40, 46].

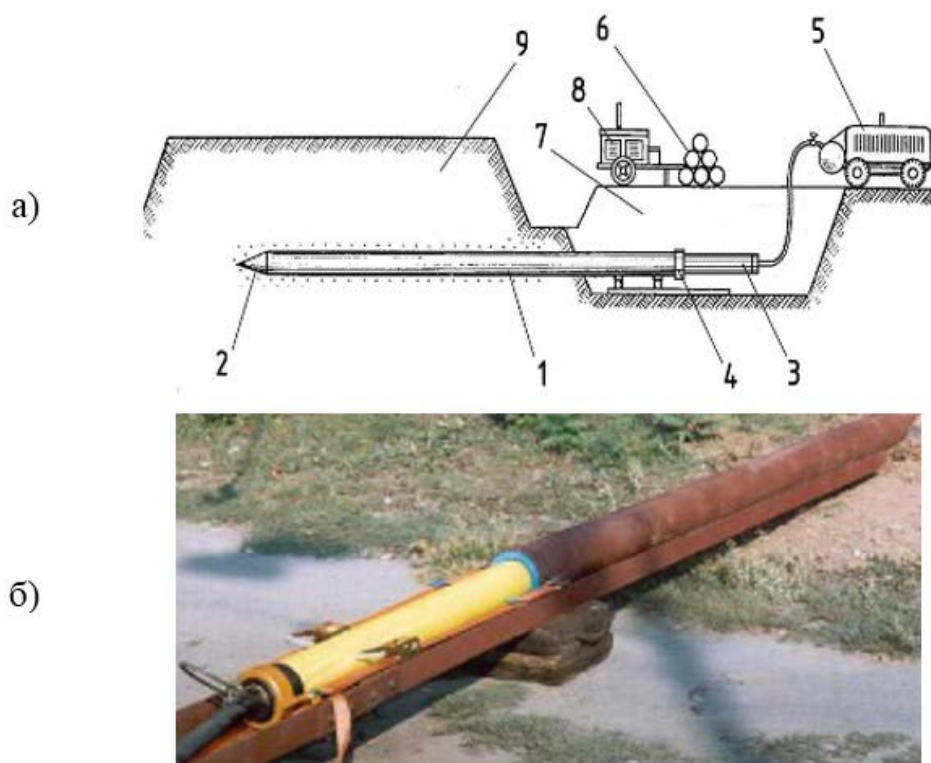


Рисунок 1.6 – Пневмопробійники: а) – схема виконання робіт; б) – пневмопробійник з трубою. 1 – труба, що забивається; 2 – оголовок (наконечник); 3 – пневмопробійник; 4 – перехідний ступеневий адаптер; 5 – компресор; 6 – труби для подовження; 7 – робочий прямик; 8 – зварювальний агрегат 9 – насип

Основними перевагами є можливість роботи з прямка або без нього, робота на відстанях від 5 до 50 м, простота використання, низький вплив вібрації на основи будівель, можливість використання для забивання стовпів або шпунтів, реверсивність та можливість розширення отворів або забивання сталевих футлярів великого діаметра. Низька кваліфікація обслуговуючого персоналу.

Основним недоліком машин віброударної дії (гідро- пневмопробійників) є низький ККД, некерованість або ускладнена керованість пілотної траєкторії майбутньої ТПГ, неможливість використання в надзволжених, піщаних та болотистих ґрунтах. Використання додаткового обладнання (компресора) вимагає залучення додаткового персоналу. Великі габарити та вага обладнання вимагає використання

підіймального обладнання. Відсутність прогнозів подальших дій при зустрічі з перепонами – зміна траєкторії, руйнація об'єктів, велика ймовірність втрати обладнання.

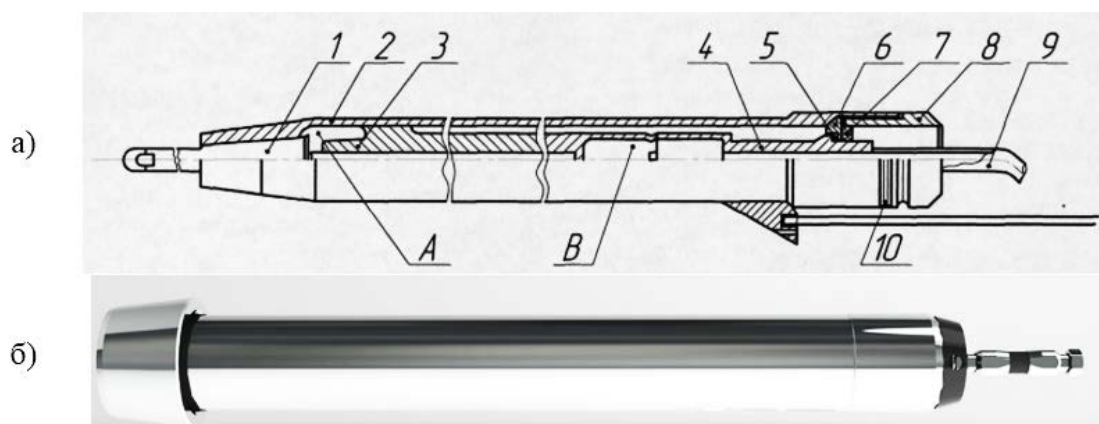


Рисунок 1.7 – Пневмопробійники ТОВ «Гідропром», м. Одеса: а) – конструктивна схема пневмопробійника ИП-4601; б) – машина СО-166МВ для забивання в ґрунт сталевих труб в горизонтальному, похилому або вертикальному напрямку.

- 1 – ковадло; 2 – корпус; 3 – молот; 4 – патрубок; 5 – гумовий ущільнювач;
6 – фланець; 7 – гумовий клапан; 8 – гайка; 9 – рукав для стисненого повітря;
10 – шайба стопорна

Обладнання для статичного проколювання ТПГ. Статичний прокол ґрунту – один з найпростіших способів безтраншейної технології прокладання лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури й являє собою впровадження в ґрунтовий масив конусного наконечника. Цей метод рекомендується застосовувати для прокладання, в глинистих і суглинних ґрунтах I-III категорії, труб діаметром до 350 мм на відстань до 30 м. Зустрічаються випадки проколу ґрунту і до 500 мм довжиною 25 м (рис. 1.9 - 1.12).

Під час статичного проколу до заднього торця труби, що прокладається (шомпола), прикладають осьове зусилля від гідравлічного, пневматичного або механічного домкрата [41]. При цьому труба виконує роль натискного шомпола для просування конусного наконечника і роль захисного футляра, що залишається після проколу. Приклад статичного проколювання наведено на рис. 1.8 [18].

Окремо відмітимо спосіб статичного продавлювання, що детально розглянутий в роботах Супонєва В. М. [23, 44, 47, 59]. Цей спосіб, можна застосовувати для

прокладання труб великих діаметрів від 350 мм до 2500 мм на відстань 20-80 м в ґрунтах I - III категорій міцності [48-50, 52, 58, 60].

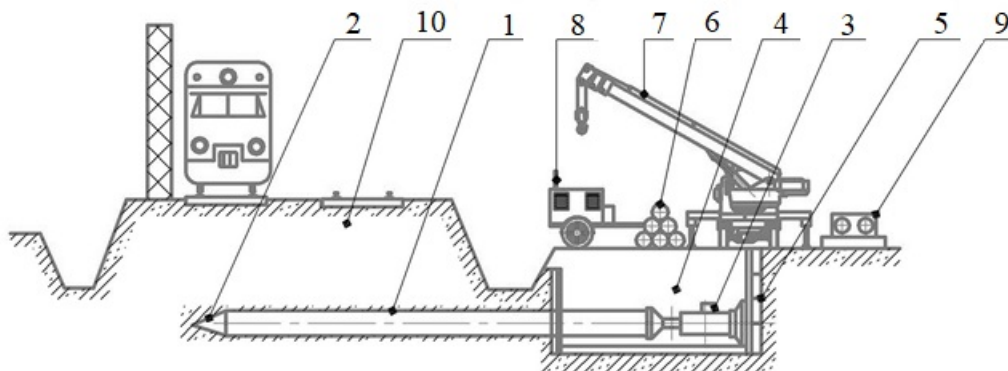


Рисунок 1.8 – Схема прокладання ЛПО комунікацій під насипом залізниці способом статичного проколу: 1 – труба, що прокладається; 2 – робочий наконечник; 3 – гідродомкрат; 4 – робочий прямок; 5 – упорний щит; 6 – труби для прокладання; 7 – мобільний кран; 8 – зварювальний агрегат; 9 – гідростанція, для живлення домкрата; 10 – залізничний насип

Порядок виконання робіт наступний. У стартовий прямок встановлюється силова домкратна установка. Між нею і протилежною стінкою котловану на спеціальних санчатах розміщується труба, що продавлюється. Далі поступальною ходою штоків гідроциліндрів вона вдавлюється в ґрунт (рис. 1.9, а) [38]. Нарощування труби здійснюється поетапно шляхом подання секцій в міру їх вдавлювання в ґрунт (рис. 1.9, б).

При кожному переміщенні труби в ґрунт на 2-2,5 м, з її середини виконують виїмку ґрунтового керна, що утворився та перешкоджає подальшому проходженню ґрунту углиб і створює загрозу випучування поверхні або руйнування дороги та ушкодження прилеглих комунікацій. Розробку ґрунтового керна виконують за допомогою шнекових бурів, спеціальних совків або желонки.

Протискуватися [2, 92] можуть різні за формою і матеріалом труби. Для прокладання залізобетонних труб на кінець труби закріплюється металеве різальне кільце. Установки для протискування мають більш потужні силові агрегати і пристрої, які дозволяють створювати зусилля подачі до 10 МН.

Основним елементом силової установки є будь-який домкрат, який може розвинути необхідне зусилля. Як правило, це гідравлічні установки з 3-8 штовхаючими гідроциліндрами (рис. 1.10) [38].

Основними недоліками протискування труб є потреба в екскавації ґрунту з труби, суттєво високі осьові натискні сили, необхідність мати великі приямки з міцними упорними стінками.



Рисунок 1.9 – Схема продавливання секцій труби в ґрунт: а) – вдавливання секції труби в ґрунт; б) – встановлення наступної ланки труби; 1 – силова установка; 2 – упорна стінка; 3 – ланка труби, що прокладається; 4 – наступна ланка

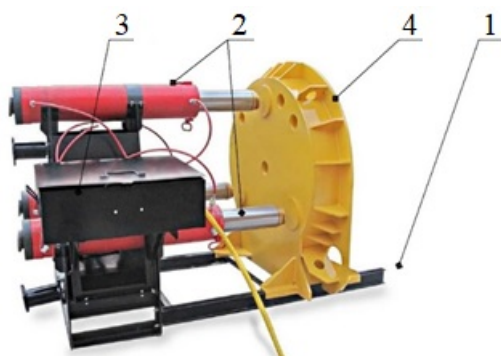


Рисунок 1.10 – Загальний вид установки для протискування труб: 1 – упорна плита; 2 – гідроциліндри; 3 – пульт керування; 4 – рама, що спрямовує

Отримання технологічних порожнин у ґрунті способом статичного проколювання як правило проводиться за декілька етапів (рис. 1.11 б)), за допомогою силових циліндрів та гідростанції, що їх живить в декілька етапів: робочі штанги з наконечником по черзі вдавливаються в ґрунт, у напрямку визначеному оператором, до виходу в приймальний або проміжний приямки [3, 27, 51]. Процес розширення отворів розпочинається з моменту виходу першої штанги до приймального приямка де з неї знімають пілотний наконечник та закріплюють перший розширюючий

конус більшого розміру. Процедура може повторюватись декілька разів до отримання необхідного розміру. Слід зазначити, що максимальний розмір порожнини до якої можна її розширити залежить від типу ґрунту, його вологості та умов проведення робіт [48, 50, 52, 58, 60].

Отримання технологічних порожнин проводиться в кілька етапів: копка двох напрямків необхідних розмірів – стартового та приймального. У стартовому напрямку встановлюється гідравлічна домкратна установка, що обпирається в опорну стіну, зворотно-поступальною ходою гідроциліндрів стартова головка РО разом з нарощуваною штангою впроваджується в ґрунт до виходу в прийомнийпрямок (рис. 1.11) [18, 61].

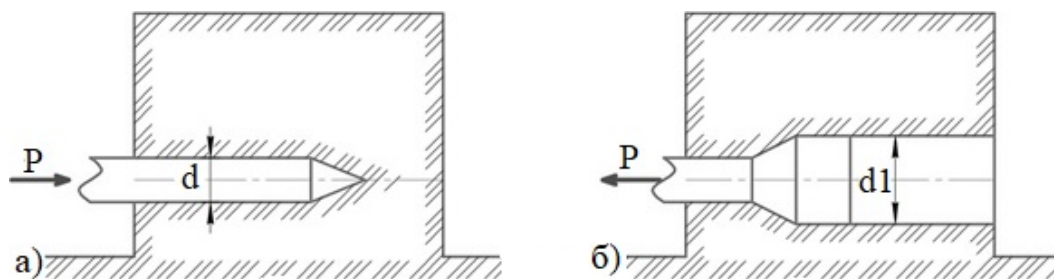


Рисунок 1.11 – Розробка ТПГ поетапним статичним проколом ґрунту:

а) – пілотна проходка проколом; б) – розширення ТПГ конусним розширювачем

У приймальному напрямку відбувається заміна стартової головки на один або декілька розширювачів послідовно, за декілька проходів, до отримання необхідних габаритів ТПГ, на останньому етапі розширювання – затягують один або декілька футлярів. Після закінчення через футляр протягують відповідні комунікації. В окремих випадках за вимоги прокладають 1 сільний футляр, в який прокладають кілька індивідуальних і лише потім комунікації.

Аналіз світових тенденцій [1, 13, 31, 53-54], патентного огляду [28, 55-57] та сучасних установок для проколювання ґрунту статичної дії різних виробників [37, 38, 58], що наведені на рис. 1.13, дозволив узагальнити їхні технічні параметри (табл. 1.2).

В табл. 1.1 приведені технічні характеристики розповсюджених в нашій місцевості установок для статичного протоколу. З таблиці видно, що всі вони мають

наближені габаритно масові, робочі штанги довжиною 500 мм та діаметром 50 мм, виготовлені із сталльної труби або прутка. Швидкість проколу та осьове зусилля визначається типом насосів, потужністю приводу та параметрами гідроциліндрів.

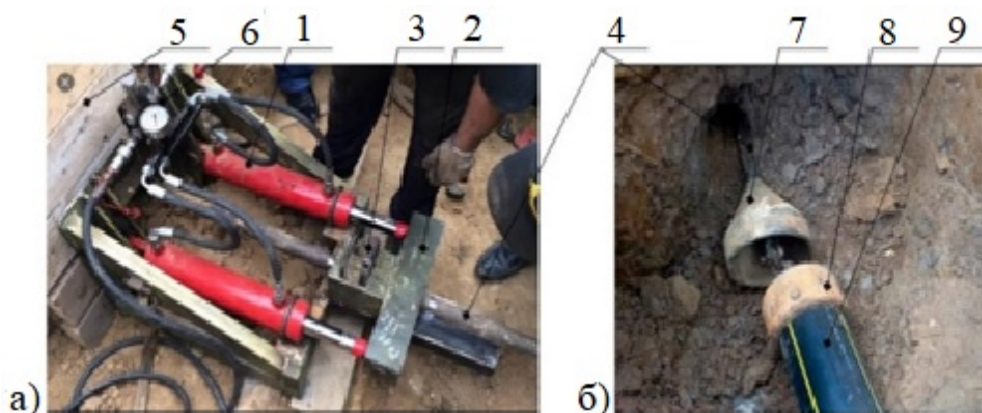


Рисунок 1.12 – Прокол і розширення ТПГ: а) – пілотне або стартове проколювання ґрунту; б) – поступове розширення порожнини конусами: 1 – силова установка; 2 – упорна балка; 3 – ключ-стопор; 4 – штанги; 5 – упорний майданчик; 6 – гідророзподільник; 7 – розширюючий РО; 8 – захват труб; 9 – труба

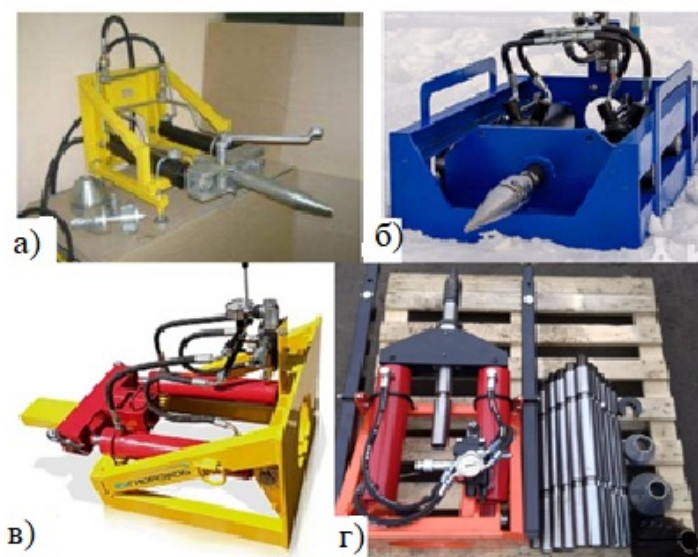


Рисунок 1.13 – Установки для статичного проколу ґрунту провідних виробників: а) – установка МП-250 виробництва НВП «Газтехніка», м. Харків; б) – установка «Ігла 32Т» «Камський завод бурового обладнання (КЗБО)»; в) – установка проколу ґрунту УПКТ-30, виробництва ТОВ "АжурСталь Україна", (м. Миколаїв); г) – установка проколу ґрунту УПГ-30, ТОВ «Укріндустріалгруп», м. Дніпро

Для роботи установок необхідна мобільна гідравлічна станція, яка працює на базі двигуна внутрішнього згорання та гідравлічних насосів з витратами від 4 л/хв до 45 л/хв. Тиск робочої рідини складає до 25 МПа. Аналіз технічних даних виявив тенденцію зменшення габаритів і маси, що дозволяє використовувати їх без спеціальних вантажопіднімальних та транспортних засобів [45]. Наприклад, однієї з таких установок МПК-30-100, виробництва ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро наведена на рис. 1.14.

Таблиця 1.1 – Основні параметри установок для проколювання ґрунту

№ з/п	Найменування параметру	Одиниці заміру	Тип установки				
			МПК-30-100	МП-250	Игла 32Т	УПКТ-30	УПГ-30
1	Керованість пілотного проколювання		Керована	Не керована	Не керована	Не керована	Не керована
2	Зовнішній діаметр штанги	мм	63,5	63,5	50	45	50
3	Довжина	мм	900	540	650	500	540
4	Кількість штанг в комплекті	шт	150	50	80	100	150
5	Діаметри конічних розширювачів	мм	80; 120; 159; 219; 273; 350	70; 108; 159; 219; 273	80; 108; 159; 219; 273; 350	80; 125; 190; 275; 350	80; 190; 275; 325
6	Довжина ТПП, до	м	100	25	50	50	80
7	Зусилля на штоках ГЦ: – при проколі; – при розширенні	кН кН	150 350	100 250	200 320	160 - 200	360 360
8	Тиск гідростанції ном тах	МПа	20 25	16 20	16 20	16 20	16 20
9	Швидкість проколу	м/хв	1	0,6	0,45	0,50	0,3
10	Маса установки	т	0,180	0,123	0,120	0,110	0,325

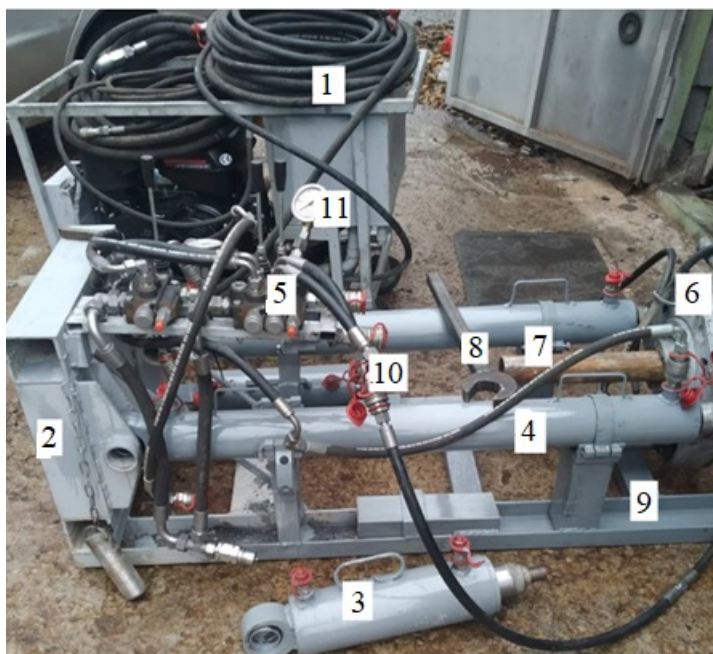


Рисунок 1.14 – Установки для керованого статичного проколу ґрунту МПК- 30- 100, ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ»: 1 – насосна станція з бензиновим двигуном, двома аксіальними насосами, гідробаком, фільтром та комплектом гідрорукавів; 2 – рама силової установки; 3 – короткі силові гідроциліндри; 4 – довгі силові гідроциліндри; 5 – гідророзподільники з запобіжними клапанами; 6 – редуктор для створення крутного моменту на робочих штангах; 7 – робочі штанги; 8 – ключ для загвинчування та переміщення штанг; 9 – подовжуюча рама з регульованими упорами; 10 – комплект швидкокороз’ємних з’єднань для гідро рукавів з захисними ковпачками; 11 – манометри для контролю зусилля протягування штанг та обертового моменту на штангах

Критерієм оцінки технічного рівня установок для отримання ТПІ скористуємось узагальненим показником ефективності землерийної техніки Π_{NG} , який визначається по залежності [46, 60, 65-67]:

$$\Pi_{NG} = \frac{N \cdot G}{\Pi^2} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де N – потужність приводу установки;

G – загальна маса установки та енергетичного модуля;

P – продуктивність.

Продуктивність установки для створення ТПГ проколюванням, рахуємо як об'єм ґрунту, що ущільнюється в одиницю часу:

$$P = 0,25\pi D^2 V_{np}, \quad (1.2)$$

де D – діаметр ТПГ;

V_{np} – технічна швидкість проходки ТПГ.

За цим показником були оцінені параметри установок, що промислово випускаються для статичного та динамічного проколу.

При аналізі усіх наявних установок була прийнята умова розробки горизонтальної ТПГ розміром 250 мм без урахування додаткових підготовчих робіт. Розрахунки узагальненого показника ефективності наведені в табл. 1.2 були отримані з технічних характеристик машин та установок для кожного методу розробки ТПГ, в тому числі наведених в табл. 1.1 з урахуванням енергоблока (гідростанція, компресор тощо).

Таблиця 1.2 – Узагальнений показник ефективності установок (Д=250 мм)

№ з/п	Найменування параметру	Одиниці заміру	Тип установки				
			МПК-30-100	МП-250	Игла 32Т	УПКТ-30	СО-134
1	Керованість пілотного проколювання		Так	Частково	Ні	Ні	Ні
2	Маса установки + штанги (25 м) + енергоблок	кг	1050	870	850	800	1,7
3	Теоретична швидкість проходки ТПГ, П	м/год	35	10	15	15	25
4	Потужність приводу, N	кВт	13	6	10	10	60
5	P	м³/год	1,72	0,49	0,74	0,74	1,23
6	P_{NG}		4,63	12,65	15,69	14,77	97,80

Аналіз даних отриманих в табл. 1.2. показує, що спроектовані РО та установка МПК-30-100 для проколювання ТПГ на довжину до 100 м має найвищий показник

ефективності шляхом вдалого поєднання швидкості та сили проколювання при використанні аксіальних насосів перемінного робочого об'єму з регулюванням по постійній потужності, що дає можливість отримати максимальні швидкості при малих навантаженнях зворотного ходу, а також використання гідроциліндрів з довжиною ходу в один метр, що зменшує кількість холостих ходів.

Переваги статичного проколювання малогабаритними установками є: малі заміри та маса установок, мобільність, відносно високі робочі швидкості, отримання розмірів ТПГ до 450 мм шляхом поетапного розширення; малі габаритні розміри напрямків, як наслідок мінімальні обсяги робіт по впорядкуванню території.

Основним недоліком даного варіанту виконання робіт є порівняно невеликий розмір отворів до 400 мм та суттєвий вплив на сусідні підземні комунікації. Отже, більш ефективно використання площі поперечного перерізу дасть змогу суттєво збільшити привабливість його використання.

1.2 Особливості прокладання декількох футлярів

Відповідно до нормативних документів ДБН В.2.5 – 74: 2013. «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування», ДСТУ-НБ В.2.5-68:2012. «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації» та ДБН Б.2.2-12:2019. "Планування і забудова територій", трубопроводи, що транспортують питну воду [16, 68-70], рекомендується розміщувати вище каналізаційних і вище технологічних трубопроводів з рідинами з неприємним запахом або отруйними на відстані не менше ніж 0,4 м.

При перетині мереж з іншими мережами та спорудами відстані по вертикалі (у просвіті) слід приймати не менше ніж:

- між трубопроводами та автодорогами [71-74], залізничними або трамвайними лініями відстань між верхом трубопроводу (або захисного футляра, каналу, тунелю) та верхом дорожнього покриття або подошвою рейок - 1,0 м (трубопровід або футляр треба розрахувати на міцність) при траншейному способі прокладання

(відкритому методі будівництва); 1,5 м - при безтраншейному методі виконання робіт; 2,5 м – окремо при проколюванні; до дна кювету або підосви насипу залізничного земляного полотна - 1,0 м (згідно з ДБН В.2.3-19);

- між трубопроводами та силовими кабелями напругою до 35 кВ - 0,5 м допускається зменшувати цю відстань до 0,15 м за умови прокладання кабелю у трубах на ділянці перетину не менше ніж плюс 2 м у кожен бік (згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [75-76]);

- між трубопроводами та силовими кабелями напругою 110 кВ – 330 кВ -1 м (згідно з ПУЕ [75]);

- між трубопроводами різного призначення (крім каналізаційних та технологічних трубопроводів з рідинами з неприємним запахом або отруйними) - 0,2 м.

В одному футлярі або тунелі допускається прокладання декількох трубопроводів, а також спільне розміщення трубопроводів та інших інженерних комунікацій (електрокабелів, кабелів зв'язку тощо).

Спосіб безтраншейного спорудження трубопроводу слід приймати в залежності від його діаметра та довжини проходки, геологічних, гідрогеологічних умов та фізико-механічних властивостей ґрунтів [3, 63, 73], а також умов виконання будівельно-монтажних робіт і наявності відповідної техніки [59].

Матеріал та товщина стінок футляра визначаються виходячи із забезпечення несучої здатності та безпеки експлуатації трубопроводів. Використання розтрубних труб допускається за умови фіксації поздовжніх переміщень. Трубопровід у футлярі необхідно об'ємно фіксувати, крок фіксації встановлюється проектом [70].

Внутрішній діаметр футляра слід приймати в залежності від зовнішнього діаметра або розтрубу комунікації, що монтується у футлярі, технології виконання робіт, довжини та траєкторії переходу, прийнятого типу ковзних опор.

Прокладання електричного кабелю та захисних елементів в ґрунті. Пучки одножильних кабелів повинні розміщуватися в землі на глибинах згідно з вимогами [74-78], вказаних в ПУЕ, тобто на глибинах в залежності від типу ґрунту, але не менше ніж на глибині 0,7 м.

Глибина та спосіб прокладання захисних елементів, що утворюють кабельні переходи, повинні відповідати вимогам п. 3.2.2 і 3.2.3 ПУЕ [78-80]. Відстань між сусідніми захисними елементами, та їх бічними поверхнями й стінками траншеї, повинна бути не менше 5 см. Довжини захисних труб в місцях перетину кабелю з іншими підземними комунікаціями повинна дорівнювати ширині траншеї плюс мінімум 0,5 м з обох боків траншеї.

Траси кабельних ліній розміщуються уздовж автодоріг, або в межах смуги відводу, на землях несільськогосподарського призначення, на землях лісового фонду за узгодженням із власниками земель. У виборі траси необхідно дотримуватись вимог земельного законодавства України [6, 7, 62, 64, 81].

Внутрішній діаметр $D_{\text{труб}}$ труби стосовно зовнішнього діаметра $d_{\text{каб}}$ кабелю має бути (рис. 1.15):

- у разі прокладання в трубі одного кабелю $D_{\text{труб}} \geq 1,5 \cdot d_{\text{каб}}$;
- у разі прокладання в трубі трьох кабелів $D_{\text{труб}} = 3,0 \cdot d_{\text{каб}}$.

Глибина залягання, взаємне перетинання та розташування кабельних ліній регламентується в залежності від типу кабелю [75], напруги [77, 79-80], об'єктів з якими перетинається лінія [70, 81, 72, 82] та стану ґрунту в межах прокладання ліній і узгоджується з відповідними організаціями на етапі проектування лінії.

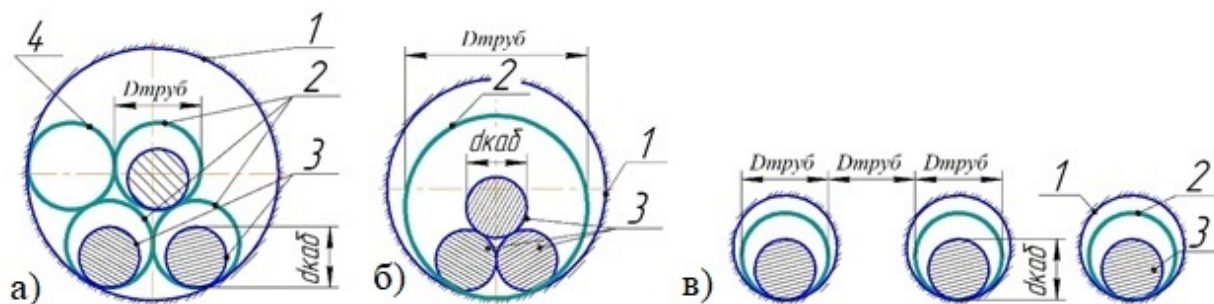


Рисунок 1.15 – Приклад прокладання кабелів у футлярах:

- а) – розташування одного кабелю в одному футлярі; б) – розташування трьох кабелів в одному футлярі; в) – розташування трьох окремих кабелів в окремих одинарних футлярах при напрузі до 35 кВ; 1 – ТПГ порожнина отримана безтраншейним способом; 2 – футляри; 3 – кабелі; 4 – резервний футляр

1.3 Аналіз теорій по дослідженню статичного проколу ґрунту

Основними напрямками розвитку No-Dig технологій прокладання комунікацій у світі є горизонтально спрямоване буріння (ГНБ) , мікрононелювання, статичне проколювання ґрунту та протискування труб-футлярів та у вигляді статичного проколу з екскавацією ґрунту. В Українській та світовій науковій періодиці, були виділені роботи наших вчених Кованько В. В., Пінчук В. А., Кравець С. В., Супонев В. М. [20, 47, 66, 74, 83] та закордонних дослідників Chehab, A. G., Moor I. D., Erez N., Najafi M., Baosong Ma., Anna Pridmore, Jim Geisbush [43, 32, 31, 34, 15] де розглянуті активні та динамічні методи No-Dig технологій, але в них мало приділено уваги статичному проколу. Дослідження Mohammad Najafi and Sanjiv Gokhale [26, 53] присвячені вибору та обґрунтуванню способу виконання робіт, з приведеним аналізом переваг та недоліків технологій. А в роботах Zhao Jun Ling Bian, [19, 29] особливу увагу приділяють безтраншейним технологіям спорудження та ремонту трубопроводів великої протяжності. Також слід зазначити дослідження Najafi M. and Sanjiv B Gokhale [14, 26, 42], яке присвячене вибору способу та планування виконання особливо відповідальних робіт, що виконуються No-Dig технологією.

В роботах Супонєва В. М. [84], Хачатуряна С. Л. [85-87], Олексин В. І. [18, 61], Mohammad Najafi [88], Chehab A. G. [32], Jian Xin [54], Руднєва В. К. [39, 89-90] де визначається вплив ґрунту на комунікації, що розташовані поруч, та на самі футляри, що розміщені на певній відстані або глибині, але зовсім не відображене питання можливості прокладання футлярів поруч.

Питаннями дослідження процесів впровадження в ґрунт робочого органу, проколюючої машини, або ж сталевих трубопроводів при створенні горизонтальних ТПП порожнин, методом статичного проколювання, займались ряд вчених та пропонували розрахункові формули для визначення зусилля проходження конусного РО в ґрунті:

- А. С. Вазетдінов [91] пропонує формулу для визначення зусилля, що виникає при проколі ґрунту конусним РО:

$$P = \frac{\sigma_r \pi R^2}{0,01n_0}, \quad (1.3)$$

де σ_r – середнє радіальне напруження;

R – радіус свердловини;

n_0 – первісна пористість ґрунту.

З цього випливає, що зі збільшенням пористості ґрунту сила має зменшуватись (цим критерієм не відповідає сухий пісок), не врахована вологість, зовсім відсутній кут загострення РО, не враховано тертя поверхонь РО об ґрунт, а середнє радіальне напруження σ_r нам не відоме і в довідниках воно відсутнє – має бути отримане експериментально.

- В. К. Тимошенко [92] визначає вплив форми та кута загострення робочого наконечника на зусилля проколу в різних ґрунтах:

$$P = \pi R^2 \sigma_r \frac{\operatorname{tg}(0,5\alpha_\kappa + \varphi)}{\sin 0,5\alpha_\kappa}, \quad (1.4)$$

де α_κ – кут загострення конуса;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту.

При цьому невідоме середнє радіальне напруження σ_r відсутнє в довідниках воно – має бути отримане експериментально, у випадку коли $0,5\alpha_\kappa = 0$ зусилля визначити неможливо.

І. С. Полтавцев [46, 67] пропонує визначати зусилля з геометричних параметрів наконечника і зовнішнього кута тертя ґрунту φ , а контактні напруження, отримані дослідним шляхом, виражені через кут загострення наконечника α_κ і радіус основи робочого органу R , а тому ця формула може бути застосована тільки для досліджених ґрунтів.

$$P = \frac{25,2 \sin(0,5\alpha_{\kappa} + \varphi) \sqrt{R}}{\cos \varphi \cdot \sin 0,5\alpha_{\kappa} \cdot \sqrt{\sin 0,5\alpha_{\kappa}}} \pi R^2. \quad (1.5)$$

Н. Є. Ромакін [23] визначає зусилля впровадження РО, що ґрунтувався на умовах, що наконечник робочого органу є конус з радіусом основи R і кутом загострення α_{κ} , який переміщувався в однорідному ґрунті з постійною швидкістю:

$$P = \pi R^2 \sigma_r \frac{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{\kappa} + \varphi)}{\sin 0,5\alpha_{\kappa}}. \quad (1.6)$$

У цих виразах неврахована пористість ґрунту, його вологість, коефіцієнти отримані експериментально або є емпіричними.

С. В. Кравець [66, 4, 93, 94, 95], В. В. Кованько [20] В. М. Супонєв [47, 59, 23, 97] пропонує формулу для визначення зусилля заглиблення конусної частини РО та напруження на границі пружної та пластичної зон, що діють на поверхні робочого органу використовуючи знання про тип ґрунту, його фізико-механічні властивості по ДБН та вологість, але зовсім не розглядається питання форми відмінної від циліндричної.

Напруження на межі ґрунт – робочий орган [20, 66, 98] С. В. Кравець та В. В. Кованько визначають як:

$$\sigma_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \left| \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \right|, \quad (1.7)$$

$$\text{де } \left\{ \begin{array}{l} A = \sin \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0) \\ B = 3c \cdot \cos \varphi_0 - 2,5c \cdot \sin 2\varphi_0 + \gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) \\ C = [\gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) + 4c \cdot \cos \varphi_0] c \cdot \cos \varphi_0 \end{array} \right\};$$

φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту;

h – глибина на якій здійснюється прокол.

Зусилля заглиблення конусної частини наконечника

$$P_{пр.кон.} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + fctg \beta). \quad (1.8)$$

де d – діаметр одиничного футляру;

n – кількість футлярів.

А. С. Вазетдінов та В. К. Тимошенко у своїх працях для знаходження зусиль проколювання ґрунту конічно-циліндричним РО пропонує використовувати середнє радіальне напруження й первісну пористість ґрунту, перше нам невідоме, і має бути визначеним в результаті експерименту, має певні неточності з точки зору пористості, або визначають вплив форми і кута загострення РО, неврахована вологість ґрунту, глибина прокладання комунікацій, форма РО циліндрична.

І. С. Полтавцев та Н. Є. Ромакін в розрахунковій формулі використовують геометричні параметри РО, кут зовнішнього тертя ґрунту та контактні напруження, що отримані дослідним шляхом. Неврахована пористість та вологість ґрунту, глибина розташування трубопроводів, тому ця формула може бути застосована лише для досліджених ґрунтів.

Висновки за розділом 1

1.1) Проведений огляд машини та РО для сумісного безтраншейного прокладання ЛПО показав, що для досягнення цієї мети використовують різні машини, основним недоліком яких є їхні габаритні розміри або розміри робочої зони, велика вартість машин та виконання робіт, інколи низька точність прокладання, обмеження по величині робочої зони, що остаточно визначило напрямок пошуків – в бік малогабаритних установок, що проколюють ТПГ статично, з можливістю корекції траєкторії й подальшим ступеневим розширенням ТПГ до потрібного розміру.

1.2) Виявлено, що основні напрямки модернізації наконечників РО ґрунтувались на визначенні раціональних кутів загострення та розмірів, а сама циліндрична форма вважалась ідеальною.

1.3) Найбільш легкими у використанні, для визначення сили проколювання ТПГ, є теорії описані в роботах С. В. Кравця, В. В. Кованько та В. М. Супонєва, що пропонують формулу всі складові якої взяті з ДБН або отримані простими експрес-аналізами – визначають тип ґрунту та його вологість.

1.4) Зменшення зони деформації ґрунту при отриманні ТПГ, внаслідок зміни форми РО, передбачає зменшення роботи по його деформації та переміщенні, а це своєю чергою дасть суттєве зниження сили проколювання, таке припущення дає нам можливість подальшого дослідження.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КЛИНОВО ПРИЗМАТИЧНОГО РО З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

2.1 Обґрунтування форми та конструкції РО

Розглянемо фізичну модель процесу взаємодії робочого органу з ґрунтовим масивом при статичному проколі отворів [44, 46-47, 60, 83, 103, 126]. Як показав аналіз теорій, горизонтальний прокол споріднений з процесом вертикального заглиблення паль [44, 92, 99, 100], коли на нижньому кінці палі, утворюється ґрунтове ядро ущільнення, що створює додатковий лобовий опір [101]. Джерела базуються на уявленні про зміну приведенного тиску ґрунту на поверхню конусної частини наконечника [53] та базуються на прийнятій фізиці процесу й мають своє логічне обґрунтування.

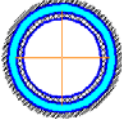
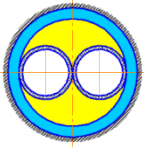
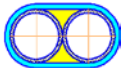
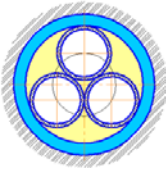
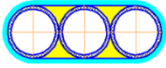
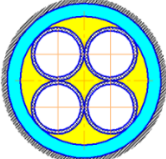
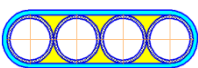
Процес проколу в загальному полягає у вдавлюванні в ґрунт металевої труби з конічним наконечником, який взаємодіє з ґрунтом. Під час заглиблення наконечника відбувається ущільнення ґрунту в стінки свердловини та його стиснення, що обумовлюється зміною пористості, а саме зменшенням загального об'єму пор в масиві під дією зовнішніх сил, навколо наконечника РО, що переміщується, формуючи зону переущільненого ґрунту, величина та радіус якої залежить від його властивостей [48] та розмірів наконечника [44, 91-92]. Зміна пористості в зоні заглиблення наконечника можлива тільки за зміни структури ґрунту, під час структурних деформацій твердих частинок, та їх переміщенні в радіальному напрямку від осі свердловини. Деформації структури масиву ґрунту визначаються крайнім пружним станом, при якому порушується рівновага, що існувала в природньому стані. Такий стан деякі автори [48] пропонують визначати через коефіцієнт опору ґрунту ущільненню – $\sigma_{ущ}$. Абсолютне значення $\sigma_{ущ}$ визначається експериментальним шляхом. Згідно з дослідями Баловнєва В. [41] для піску його значення може сягати 5–6 МПа, а для глини 1,5–2,0 МПа. Другі автори [48, 50] пропонують характеризувати ущільнення ґрунтів, що супроводжується значними змінами їх пористості, величиною тиску, більшого за структурну міцність ґрунту, коли руйнуються зв'язки частинок. Величина структурної міцності ґрунтів визначається за компресійними кривими,

при випробуванні малими навантаження. Інші методи визначення структурної міцності ґрунтуються на результатах експериментальних дослідів в компресійних приладах [41, 44, 50]. На даний час встановлення структурної міцності ґрунтів виконується в лабораторних умовах з використанням спеціальних узагальнених методик з певним наближенням [41]. В роботі [4, 41, 46] приведені дослідження по визначенню величин та закономірностей зміни напруження в ґрунті при статичній деформації РО. Наближено можливо визначати розміри зони деформації масиву, як 3–6 діаметрів створюваної ТПГ. Всі ці дослідження стосуються класичної конічно-циліндричної форми ТПГ.

Практичне застосування статичного проколу для отримання ТПГ частіше за все використовується при спорудженні групових лінійно-протяжних об'єктів, у вигляді кабельних ліній мереж електропостачання або зв'язку. Відповідно до вимог європейських стандартів Standart IEC [104-106], стандартів організацій України (СОУ) [75, 79, 80] та Державних будівельних норм ДБН [70, 72, 75, 78] одночасно прокладаються від двох до двадцяти окремих футлярів, в яких розміщують ЛПО.

Відповідно до проведених разом з Главацьким К. досліджень [9, 5] та практичного застосування установок статичного проколювання ТПГ, найбільше затребувані технології з можливістю корегування траєкторії проходу такі як МПК-30-100 фірми ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро. Досвід експлуатації показав, при спорудженні кабельних мереж [75] в одній ТПГ прокладають 2, 3, рідше 4 футляри, що своєю чергою (таблиця. 2.1.) залишає великий відсоток пустот. Проаналізувавши дані (див. таблиця 2.1) [5, 9, 44, 92] виявлено, що найбільший відсоток пустоти та площа даремно ущільненого ґрунту, є при прокладанні в традиційну круглу форму ТПГ 2 футлярів, а відсоток пустот зменшується в міру збільшення футлярів понад 4. Практичне використання клиново-призматичних наконечників РО для розширення ТПГ до необхідних розмірів показало доцільність використання для 2 футлярів. Оскільки об'єм пустот суттєво зменшується відповідно і робота, яка витрачається на отримання ТПГ також зменшується, що приводить до економії енергоресурсів. Окремо буде розглянуте питання розповсюдження зони деформації ґрунту вздовж клиново-призматичного РО та впливу його на підземні комунікації, та можливість більш компактного розташування комунікацій.

Таблиця 2.1 – Варіанти розташування комунікацій в ТПГ. Всі розрахунки проведені для труби діаметром 24 мм (внутрішній діаметр 20 мм) $\varnothing D_{\text{овс}} = 28$ мм

№ п/п	Схеми розташування футлярів та ТПГ	Площа отриманого ТПГ, см ² , блакитний колір	Площа необхідного ТПГ, см ² , круг по дотичній	Площа, що пустує, см ² , жовтий колір
1		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 5,98 \text{ см}^2$	$S_{\text{ном}} = 5,16 \text{ см}^2$	$S_n = 0 \text{ см}^2$
2		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 24,03 \text{ см}^2$	$S_{\text{ном}} = 16,62 \text{ см}^2$	$S_n = 8,31 \text{ см}^2$
3		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 12,33 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 48,7\%$	$S_{\text{ном}} = 9,45 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 43,2\%$	$S_n = 1,14 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 86,3\%$
4		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 27,72 \text{ см}^2$	$S_{\text{ном}} = 19,29 \text{ см}^2$	$S_n = 6,35 \text{ см}^2$
5		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 18,68 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 32,6\%$	$S_{\text{ном}} = 14,74 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 23,6\%$	$S_n = 2,27 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 65,2\%$
6		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 34,87 \text{ см}^2$	$S_{\text{ном}} = 24,22 \text{ см}^2$	$S_n = 7,59 \text{ см}^2$
7		$S_{\Sigma \text{ТПГ}} = 24,93 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 28,5\%$	$S_{\text{ном}} = 20,03 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 17,3\%$	$S_n = 3,41 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 55,2\%$

Виходячи з вищесказаного визначимо опір переміщення підземного багато-комунікаційного РО клиново-призматичної форми в ґрунтовому середовищі при статичному проколі порожнин для одночасного прокладання багатьох ЛПО об'єктів при будівництві нових комунікацій.

2.2 Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО

Конструктивні та режимні параметри й механізм осьової подачі наконечників РО для формування ТПГ значною мірою визначається фізико-механічними властивостями ґрунту, а отже створенні нових конструкцій РО або технологічних процесів, необхідно знати фізико-механічні характеристики ґрунтів і вичленити фактори, що підвищують ефективність процесу взаємодії РО з ґрунтом [44, 89, 126].

З аналізу технологічних особливостей процесу статичного проколу ґрунту при формуванні горизонтальних ТПГ визначено, що їх особливість полягає в ущільненні ґрунту з природнього стану до переущільненого безпустотного, при незмінній масі, що вимагає додаткового розгляду фізико-механічних особливостей ґрунтів, в яких утворюється порожнини. Згідно з [23, 44, 101, 107] раціональною областю використання методів проколу є талі малозв'язні ґрунти I-III категорії, з кам'янистим включенням не більше 50 мм та природною вологістю. В роботі [41, 46, 50] проведені лабораторні аналізи ґрунтів в різних регіонах України, що показали, що 80–85 % складають такі ґрунти, які класифікуються по числу C_{y0} ударів щільноміра ДорНДІ, числу пластичності, вологості, відсотку глинистої фракції.

Ґрунт – це систему, що складається з мінеральних частин, простір між якими певною мірою заповнено водою та повітрям [41, 50, 52], їх властивості залежать від співвідношення твердої фази часток та діляться на: піщані, пилові та глинисті, суттєвий вплив на механічні властивості ґрунтів має відсоток глинистої фракції.

Зв'язність ґрунту показує результат взаємодії частин один з одним та водою, що підвищує силу їхнього деформування чи руйнування. Вологість та гранулометричний склад головним чином впливають на зв'язність ґрунтів. Піски належать до незв'язних, супіски - до малозв'язних ґрунтів. Суглинки та глини мають значну зв'язність мають тому вони належатимуть до зв'язних [50, 113], це є зручним при розгляданні робочих процесів, пов'язаних з їх подальшою розробкою.

При проколі відбувається ущільнення ґрунту під навантаженням, яке значно перевищує структурну міцність ґрунту [44, 47], при дослідженні процесу прийма-

ється припущення, що ґрунт ізотропний та однорідний. При формуванні ТПГ напруження в ґрунті змінюється від нуля до максимального значення, тому стисливість необхідно характеризувати компресійними кривими, які побудовані у вигляді залежності коефіцієнта пористості ε від тиску p та запропонована К. Терцагі [50], С. В. Кравець та В. В. Кованько [20, 60, 66].

Зменшення коефіцієнта пористості ε або здатність змінювати свою будову під дією зовнішніх - це стисливість ґрунту. Опір зв'язних ґрунтів стискуванню в набагато перевищує опір зсуву або розриву, при цьому зміна об'єму від стиснення є нелінійна функція. При лабораторних дослідженнях в компресійних приладах дає компресійну криву, що показує сумарну зміну об'єму пор внаслідок всіх навантажень, а об'єм ґрунту при зменшенні навантаження зростає, але не до початкового значення.

Основним показником (на думку С. В. Кравець та В. В. Кованько) стисливості ґрунтів є: коефіцієнт компресії c_k , модулі загальної E та об'ємної E_v деформацій, а також компресійний модуль E_{cp} .

Коефіцієнт компресії (c_k) – це тангенс кута нахилу α ($tg\alpha$) прямої до горизонтальної осі, яка проведена через дві точки компресійної кривої, його (c_k) визначаємо через вологість ґрунту в природному стані ω або границю текучості ґрунту ω_T у відсотках [48, 50, 60, 66].

$$c_k = 0,1\omega, \text{ або } c_k = 0,07...0,09(\omega_T - 10). \quad (2.1)$$

Модуль компресійний (E_{cp}) визначається в лабораторних умовах, за результатами компресійних випробувань зразків ґрунту, та обчислюють за формулою [60, 66, 126]:

$$E_{cp} = \frac{(1 + \omega) \rho_{me}}{c_k \cdot \rho_{np}}, \quad (2.2)$$

де $\rho_{тв}$ – щільність ґрунту при умові, що в ньому відсутні пори (щільність твердої фази);

$\rho_{пр}$ – щільність в природному стані.

Модуль загальної деформації (E) визначається по кривій навантаження. Між модулем загальної деформації E та компресійним модулем існує залежність [48].

$$E = E_{gp} \cdot \beta_{\mu}, \quad (2.3)$$

де β_{μ} – коефіцієнт, відсутності поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі.

$$\beta_{\mu} = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}, \quad (2.4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона.

Модуль об'ємної деформації (E_v) характеризує всестороннє ізотропне у всіх напрямках (однакове та об'ємне) стиснення однорідного зразка ґрунту. Між модулем об'ємної деформації та компресійним модулем існує відоме співвідношення [48].

$$E_v = \frac{1 + 2\xi}{3} E_{gp}, \quad (2.5)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску визначається за формулою Г. І. Покровського [60].

$$\xi = 1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{1,52c}{q_{кр}}, \quad (2.6)$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

$q_{кр}$ – критичний тиск ґрунту за несучою спроможністю в основі штамбу (робочого органу), який руйнує ґрунт шляхом зсуву та відділення від масиву при прокладанні ТПГ.

$$q_{кр} = \left(\gamma_{zp} h_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (2.7)$$

де γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту;

h_3 – глибина прокладання ТПГ.

Коефіцієнти Пуассона та бічного тиску взаємопов'язані залежністю

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi}. \quad (2.8)$$

Вибір числових значень фізико-механічних характеристик ґрунтів, що впливають на сили їх руйнування, є методика [44, 60, 66]: перше - визначається природна вологість ґрунту, друге - число пластичності, третє - межа текучості та розкошування, четверте - показник консистенції. Тип ґрунту і його стан визначають за числом пластичності і показником консистенції. Якщо вони відомі, то вибирають для кожного типу ґрунту із таблиці числових значень ДБН коефіцієнт зчеплення c , кут внутрішнього тертя φ_0 та щільність ґрунту γ_{zp} [60, 113].

Методика, що розроблена в НУВГП (Національний університет водного господарства та природокористування) [50, 60], дозволяє визначити необхідні показники, якщо відома тільки природна вологість ґрунту. Тоді тип ґрунту наближено

можна визначити за найбільш ймовірною природною вологістю ґрунту, яка знаходиться в межах: для глин – $\omega = 25...35$ %; для суглинків – $\omega = 15...25$ %; для супісків – $\omega = 10...15$ %; для пісків – $\omega = 7...10$ % [44, 50, 60].

Границі текучості і розкочування, показник консистенції та число пластичності визначаємо за кореляційними залежностями А. М. Зелєніна [41, 60]:

$$\omega_n = \omega_T - \omega_p, \quad (2.9)$$

$$\omega_n = \omega - 8, \quad (2.10)$$

$$\omega_T = 14,8 + 1,2\omega_n = 1,2\omega + 5,2, \quad (2.11)$$

$$B'_k = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_T - \omega_p} = \frac{0,8\omega - 13,2}{\omega - 8}. \quad (2.12)$$

За числом пластичності: глина – $\omega_n > 17$; суглинок – $\omega_n = 7...17$; пісок, супісок – $\omega_n = 1...7$.

Число ударів щільноміра ДорНДІ $C_{y\partial}$ і вологість ω ґрунту має залежність:

$$C_{y\partial} = ae^{-b\omega}, \quad (2.13)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, які залежать від типу ґрунту: для глини $a = 118,6$ і $b = 0,11$; для суглинку – $a = 50,2$ і $b = 0,12$; для супіску – $a = 28,6$ і $b = 0,13$.

Вихідні дані для найбільш ймовірних типів ґрунтів, що визначені за вище наведеною методикою, приведені в табл. 2.2 [50]. Відомо [60], що між ними існує взаємозв'язок, який приведений у табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Характеристика найбільш ймовірних типів ґрунтів

Тип ґрунту/ параметр	Твердий супісок	Напівтвердий суг- линок	Тугопла- стична глина	Ґрунт в лабора- торії
Природна вологість, ω , %	10...14	17...20	25...30	6...12
Щільність твердої фази ґрунту, $\rho_{тв}$, т/м ³	2,7	2,7	2,73	2,66
Щільність ґрунту в природному стані, $\rho_{пр}$, т/м ³	2,05	2,1	2	1,79
Коефіцієнт зчеплення, c , МПа	0,02	0,04	0,04	0
Кут внутрішнього тертя, φ_0 , град.	28	23	18	39
Кут зовнішнього тертя φ , град	25	21	22	42
Коефіцієнт тертя ґрунту по РО (сталі) f	0,532	0,424	0,325	0,582
Питома вага у природному стані ґрунту $\gamma_{зр}$, кН/м ³	20,5	21,0	20,5	17,9
Несуча спроможність ґрунту, $q_{кр}$, МПа	0,37	0,55	0,48	-
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,344	0,365	0,388	0,3
Коефіцієнт компресії, c_k , МПа ⁻¹	1,08	1,73	2,81	0,082
Компресійний модуль, $E_{зр}$, МПа	1,39	0,892	0,631	14,519
Модуль загальної деформації, E , МПа	1,0	0,508	0,247	-
Модуль об'ємної деформації, E_v , МПа	0,95	0,64	0,477	-

Під час заглиблення клиново-призматичного наконечника в ґрунт відбувається ущільнення в стінки ТПГ та його стиснення, яке обумовлюється зміною пористості, а саме загальним об'ємом пор в ґрунті під дією напірної сили на наконечник. Зміна пористості в зоні заглиблення клиново-призматичного наконечника можлива тільки при зміні структури ґрунту, тобто при структурних деформаціях твердих частинок, їх переміщенні в радіальних напрямках від осі руху наконечника. Структурні деформації визначаються крайнім пружним станом, при якому порушується рівновага, що існує в структурі ґрунту.

Таблиця 2.3 – Взаємозв'язок між фізичними характеристиками ґрунтів

Умовні позначення	Щільність твердої фази ґрунту, $\rho_{тв}$	Щільність ґрунту в природному стані, $\rho_{пр}$	Щільність сухого ґрунту, $\rho_{ск}$	Пористість, n	Коефіцієнт пористості, ε	Природна вологість, ω
$\rho_{тв}$	$\rho_{тв}$	$\frac{\rho_{пр}}{(1+\omega)(1-n)}$	$\frac{\rho_{ск}}{1-n}$	$\frac{\rho_{ск}}{1-n}$	$\rho_{ск(1+\varepsilon)}$	$\frac{G_{\omega}\varepsilon}{\omega}$
$\rho_{пр}$	$\rho_{тв}(1-n) \times (1+\omega)$	$\rho_{пр}$	$\rho_{ск}(1+\omega)$	$\rho_{тв}(1-n) \times (1+\omega)$	$\frac{\rho_{тв}(1+\omega)}{1+\varepsilon}$	$\frac{G_{\omega}(1+\omega)n}{\omega}$
$\rho_{ск}$	$\rho_{тв}(1-n)$	$\frac{\rho_{пр}}{1+\omega}$	$\rho_{ск}$	$\rho_{тв}(1-n)$	$\frac{\rho_{тв}}{1+\varepsilon}$	$\frac{\rho_{пр}}{1+\omega}$
n	$\frac{\rho_{тв} - \rho_{ск}}{\rho_{тв}}$	$1 - \frac{\rho_{пр}}{\rho_{тв}(1+\omega)}$	$\frac{\rho_{тв} - \rho_{ск}}{\rho_{тв}}$	n	$\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}$	$1 - \frac{\rho_{пр}}{\rho_{тв}(1+\omega)}$
ε	$\frac{\rho_{тв} - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}$	$\frac{\rho_{тв}(1+\omega)_o}{\rho_{пр}} - 1$	$\frac{\rho_{тв} - \rho_{ск}}{\rho_{тв}}$	$\frac{n}{1-n}$	ε	$\frac{\rho_{тв}(1+\omega)_o}{\rho_{пр}} - 1$
ω	$\frac{\rho_{пр}}{\rho_{тв}(1-n)} - 1$	$\frac{\rho_{пр} - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}$	$\frac{\rho_{пр} - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}$	$\frac{\rho_{пр}}{\rho_{тв}(1-n)} - 1$	$\frac{\rho_{пр}(1+\varepsilon)}{\rho_{тв}}$	ω

2.3 Теоретичне визначення сил проколювання ґрунту РО для сумісного прокладання ЛПО

Лобовий та сумарний опір клиново-призматичного наконечника, визначаємо виходячи з форми наконечника робочого органу (рис. 2.1), що складається з двох півконусів, які закінчуються півциліндрами та клина, в середній частині РО, що закінчується плоскою частиною та обрамлений з боків півциліндрами. Тоді для спрощення процесу визначення сили вдавлювання РО в ґрунт розділимо все на елементарні фігури: клин та конус.

Для визначення сили деформування ґрунту необхідно знати закон зміни нормального тиску $q_x^{кл}$ на наконечник клиново-призматичної форми [44, 108, 109] у залежності від деформації x та закон зміни його нормального тиску $q_x^{кон}$ [44, 47, 94] на конічний наконечник (рис. 2.2.) від x . Визначаємо його на основі компресійних кривих для ґрунтів, які можна наближено представити у вигляді лінійних залежностей [20, 22, 44, 48].

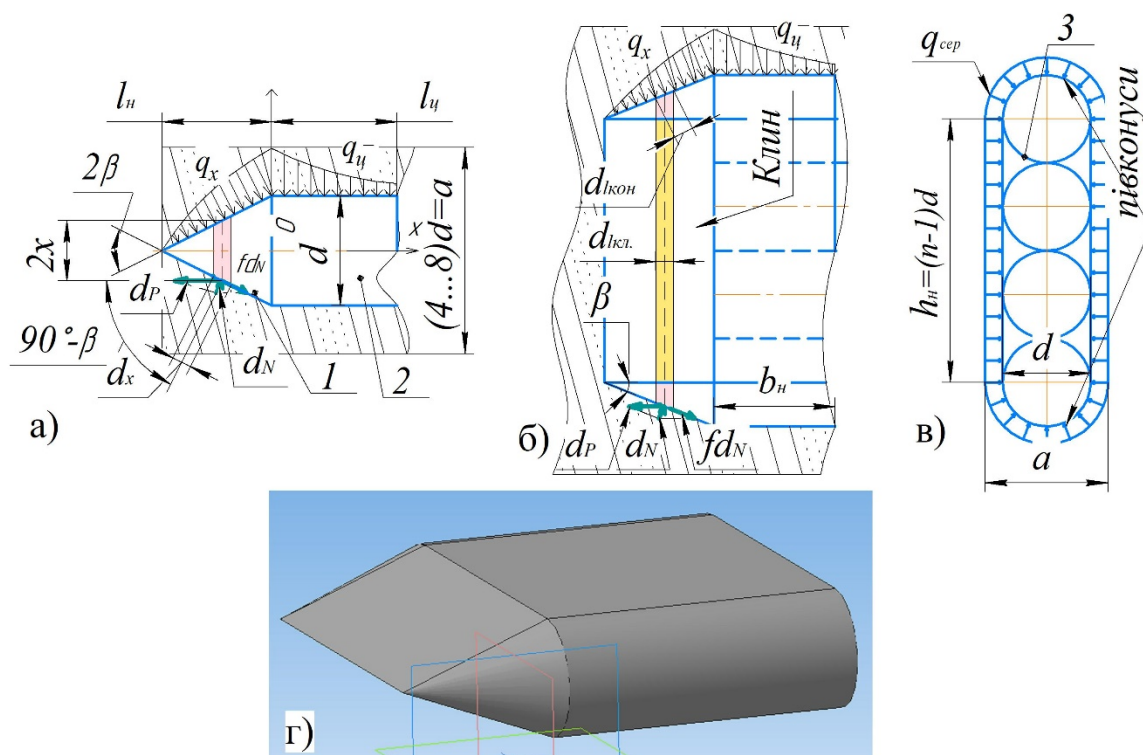


Рисунок 2.1 – Взаємодія клиново-призматичного наконечника з ґрунтом:

- а) – наконечник РО клиново-призматичний - вигляд збоку; б) – наконечник РО - вигляд зверху; в) – розташування футлярів в робочому органі при протягуванні, г) – 3D-модель РО: 1 – проколююча – клинова частина з півконусами; 2 – частина, що калібрує; 3 – футляри

$$e_x = e_0 - c_k q_x, \quad (2.14)$$

де e_x – змінний коефіцієнт пористості ґрунту в залежності від деформації;

e_0 – початковий коефіцієнт пористості ґрунту у природному стані;

c_k – коефіцієнт компресії ґрунту (2.1), МПа⁻¹) [48].

Коефіцієнти пористості e_x і e_0 можна виразити через щільність ґрунту [48, 98]

$$e_x = \frac{(1 + \omega) \rho_{m\phi}}{\rho_x} - 1, \quad e_0 = \frac{(1 + \omega) \rho_{m\phi}}{\rho_{np}} - 1, \quad (2.15)$$

ρ_x – щільність ґрунту, що змінюється по висоті конуса, та пропорційна зміні площі поперечного перетину конуса.

Опір впровадження клиново-призматичного наконечника (рис. 2.2.) в ґрун-
тове середовище складається з опору клину шириною $h_{кл}$ та висотою d й опорів
двох крайніх півконусів еквівалентних опору одного конуса діаметром d [94, 95].

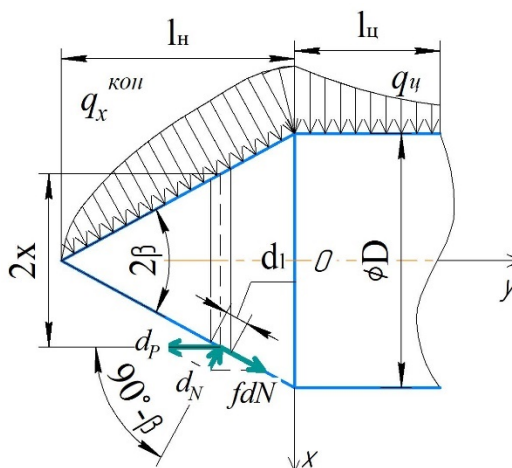


Рисунок 2.2 – Взаємодія кінечно-циліндричного наконечника з ґрунтом

Визначимо нормальний тиск ґрунту в кожному поперечному перерізі кли-
ново-призматичного наконечника:

$$q_x^{кл} = \frac{(1 + \omega) \rho_{m\phi}}{c_k} \left(\frac{1}{\rho_{np}} - \frac{1}{\rho_x} \right). \quad (2.16)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті клина, на основі закону
рівності мас ґрунту до та після його деформації:

$$(n - 1) d^2 \rho_{np} = (n - 1) d (d - 2x) \rho_x^{кл}, \quad (2.17)$$

Звідки

$$\rho_x^{кл} = \frac{\rho_{np}}{1 - \frac{2x}{d}}. \quad (2.18)$$

де d – діаметр лінійно-протяжного об’єкту (ЛПО);

n – кількість ЛПО, які одночасно прокладаються;

$\rho_x^{кл}$ – змінна щільність ґрунту по висоті клинової поверхні, пропорційна зміні площі поперечного перетину робочого органу;

x – деформація ґрунту лобовою поверхнею наконечника.

Тоді закон зміни нормального тиску ґрунту на лобову поверхню клиново-призматичного наконечника [94] урахуванням (2.2) запишеться у вигляді:

$$q_x^{кл} = E_{zp} \frac{2x}{d}, \quad (2.19)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті конуса (рис. 2.3.) на основі закону рівності мас [94, 44], при цьому d – діаметр півконуса наконечника (рис. 2.1):

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_{np} = \frac{\pi}{4} (d^2 - 4x^2) \rho_x^{кон}, \quad (2.20)$$

звідки

$$\rho_x^{кон} = \frac{\rho_{np}}{1 - (2x/d)^2}. \quad (2.21)$$

Знайдемо значення x із залежності (2.20), при якому ґрунт максимально ущільнюється до $\rho_{тв}$.

$$x^{\text{кон}} = \frac{d}{2} \sqrt{1 - \frac{\rho_{\text{np}}}{\rho_{\text{тв}}}}. \quad (2.22)$$

Надалі ґрунт буде витіснятися за межі ТПГ. Для піщаних ґрунтів, що є сипучим середовищем зона максимального ущільнення розповсюджується навколо осі ТПГ ($\rho_{\text{зр}} = \rho_{\text{тв}}$) на відстань $d_{\rho_{\text{тв}}}^{\text{кон}}$. Визначимо цю відстань для клиново-призматичного наконечника [30, 44]

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{np}} = \frac{\pi}{4} \left(\left(d_{\rho_{\text{тв}}}^{\text{кон}} \right)^2 - d^2 \right) \rho_{\text{тв}}. \quad (2.23)$$

Звідки

$$d_{\rho_{\text{тв}}}^{\text{кон}} = d \sqrt{1 + \frac{\rho_{\text{np}}}{\rho_{\text{тв}}}}. \quad (2.24)$$

Відповідно до залежності (2.16 та 2.20) закон зміни нормального тиску на бічну поверхню конусної частини наконечника запишеться у вигляді

$$q_x^{\text{кон}} = E_{\text{зр}} \left(\frac{2x}{d} \right)^2. \quad (2.25)$$

Лобовий опір занурення клиново-призматичного наконечника шириною $h_{\text{кл}} = (n-1)d$ та висотою d (розмір робочого органу), рівний опору від клину та двох півконусів, розмір двох крайніх півконусів еквівалентний опору одного конуса, а опір конусних РО відмінно описано в роботі В.М. Супонєва [44].

$$P_{\text{кл.}}^{\text{лоб.}} = P_{\text{кл.}} + P_{\text{кон.}}. \quad (2.26)$$

Визначимо опір клину:

$$dP_{кл.} = 2q_x^{кл.} \partial F \sin \beta (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \beta), \quad (2.27)$$

де ∂F – елементарна площа лобової поверхні клину ($\partial F = \partial h \cdot \frac{\partial x}{\sin \beta}$);

2β – кут при вершині клинового наконечника;

f – коефіцієнт тертя ґрунту по РО.

Тоді

$$\partial P_{кл.} = E_{zp} \frac{4x}{d} \partial h \frac{\partial x}{\sin \beta} \sin \beta (1 + f \operatorname{ctg} \beta), \quad (2.28)$$

$$P_{кл.} = E_{zp} \frac{4h_{кл.}}{d} (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \beta) \int_0^{d/2} x \partial x = \frac{d \cdot h_{кл.}}{2} E_{zp} (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \beta). \quad (2.29)$$

Підставивши параметри РО, що можна виміряти (d , n , β), отримаємо:

$$P_{кл.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta). \quad (2.30)$$

Очевидно, що сумарний опір проколюванню складається з опорів клинової і конічної частин клиново-призматичного наконечника. Згідно з роботами [20, 22] теоретично визначений опір заглибленню конічного наконечника в ґрунт дорівнює:

$$P_{пр.кл.}^{лоб.} = P_{кл.} + P_{пр.кон.}, \quad (2.31)$$

Опір проколу конусних частин, за роботами проф. Кравця С. В. та Супонєва В. М. для конічного РО [44, 47, 94], клиново-призматичного наконечника дорівнює [108, 109],

$$P_{пр.кон.} = \frac{\pi d^2}{8} E_{ep} (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \beta), \quad (2.32)$$

Остаточно підставивши (2.32) та (2.30) в (2.31), отримаємо опір для клиново-призматичного наконечника РО для n – футлярів, що прокладаються одночасно

$$\begin{aligned} P_{пр.кл.}^{лоб.} &= \frac{(n-1)d^2}{2} E_{ep} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + \frac{\pi}{8} d^2 E_{ep} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) = \\ &= d^2 E_{ep} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) \left(\frac{\pi + 4(n-1)}{8} \right), \end{aligned} \quad (2.33)$$

Графік залежності лобового опору клиново-призматичного наконечника від розміру футляру приведений на рис. 2.3.

Для побудови графіка залежності (рис. 2.3.) зусилля заглиблення клиново-призматичного наконечника вихідними даними для розрахунку були:

- $2\beta = 50^\circ$ – подвійний кут при вершині клину та півконусу;
- для твердого супіску – $E_{ep} = 1,39$ МПа, $f = 0,532$;
- для напівтвердого суглинку – $E_{ep} = 0,892$ МПа, $f = 0,424$;
- для тугопластичної глини – $E_{ep} = 0,631$ МПа, $f = 0,325$.

По всьому периметру корпусу клиново-призматичного наконечника РО діє бічний тиск ґрунту, який створює додатковий опір від сил тертя ґрунту по бокових стінках і заокруглених краях наконечника. Визначимо цей опір.

Середній тиск ґрунту на бокові стінки і краї клиново-призматичного наконечника, для одночасного прокладання об'єктів з урахуванням (2.6), дорівнює [20, 22, 78].

$$q_{сер} = 2c \cdot tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right) + \frac{a_q}{2} h. \quad (2.34)$$

де a_q – коефіцієнт пропорційності ($a_q = \gamma_{zp} tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right)$ МПа/м) [78];

h – глибина розміщення наконечника (глибина укладання комунікацій).

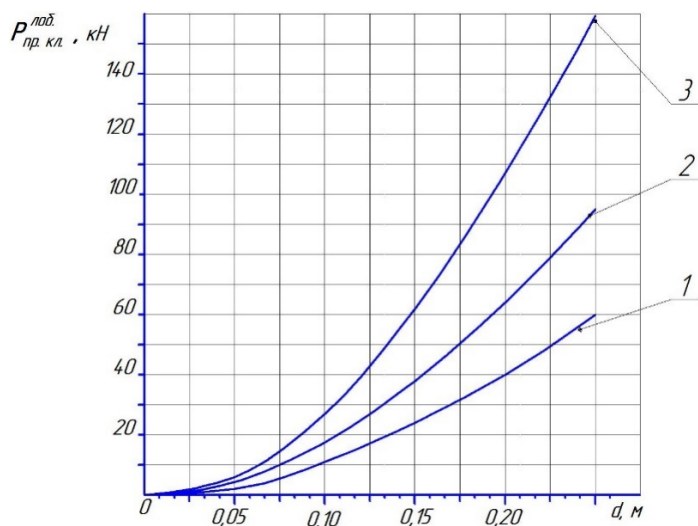


Рисунок 2.3 – Залежність лобового опору клиново-призматичного наконечника від діаметра комунікацій, які прокладаються: 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок

Довжина периметра корпусу наконечника дорівнює

$$L_{пер} = 2(n-1)d + \pi d = d(\pi + 2n - 2). \quad (2.35)$$

Опір від сил тертя визначається через площу бокової поверхні наконечника та середній тиск дорівнює:

$$F_{тр.} = [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2c \cdot tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.36)$$

де b_n – довжина бокової поверхні наконечника.

Тоді сумарний опір від конусної та клинової частини наконечника буде мати вигляд:

$$P_{\Sigma_{кл.}} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + \\ + [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.37)$$

Визначення лобового та сумарного опору наконечника традиційної конічно-циліндричної форми. Для виконання порівняння робочих зусиль визначимо зусилля приведенного лобового опору РО традиційної конічної форми, роботи Кравця С. В., Кованько В. В. та Супонєва В. М. [20, 44, 94, 95].

Для випадку конічного наконечника для n – футлярів, що прокладаються одночасно, формула (2.31) прийме вигляд

$$P_{пр.кон.}^{лоб.} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + f \cdot c \cdot \operatorname{tg} \beta). \quad (2.38)$$

де D – діаметр умовного кола яке описане навколо n – футлярів [44, 109] рис. 2.4.

Розглянемо трикутники $\triangle AOB$, $\triangle COD$ та $\triangle KOD$ (рис. 2.4). Кут $\angle KOD = \frac{\pi}{n}$,

звідки

$$\sin \frac{\pi}{n} = \frac{KD}{OD}, \quad OD = \frac{KD}{\sin \left(\frac{\pi}{n} \right)} = \frac{d}{2 \sin \left(\frac{\pi}{n} \right)}, \\ OB = OD + DB = \frac{d}{2 \sin \left(\frac{\pi}{n} \right)} + \frac{d}{2} = \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d = D. \quad (2.39)$$

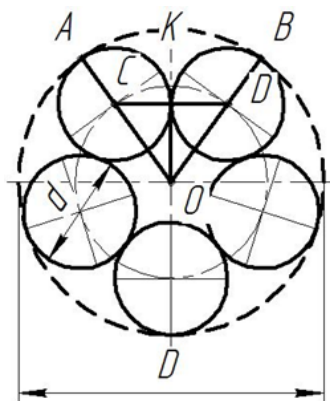


Рисунок 2.4 – Визначення діаметра круглого ТПГ при груповому прокладанні n -футлярів

Тоді для будь-якої кількості футлярів:

$$D = \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d . \quad (2.40)$$

Для побудови графіка залежності (рис. 2.5.) зусилля заглиблення конічної частини наконечника у тугопластичну глину, напівтвердий суглинок і твердий супісок від діаметра проколу вихідні дані аналогічні (даних див. рис. 2.3).

Визначимо силу тертя на циліндричній поверхні РО, для цього розглянемо процес проколювання в цілком. На першому етапі відбувається заглиблення конічної частини робочого наконечника до його основи, що переходить в циліндричну ґрунт перестає стискатись в радіальному напрямку, тоді при $(t = 0, y = 0)$ в напруженому масиві встановлюється статична рівновага – це коли спостерігається не збільшення, а зменшення тиску з часом в результаті початку релаксації ґрунту. Такий стан описується в роботах [20, 22, 66]

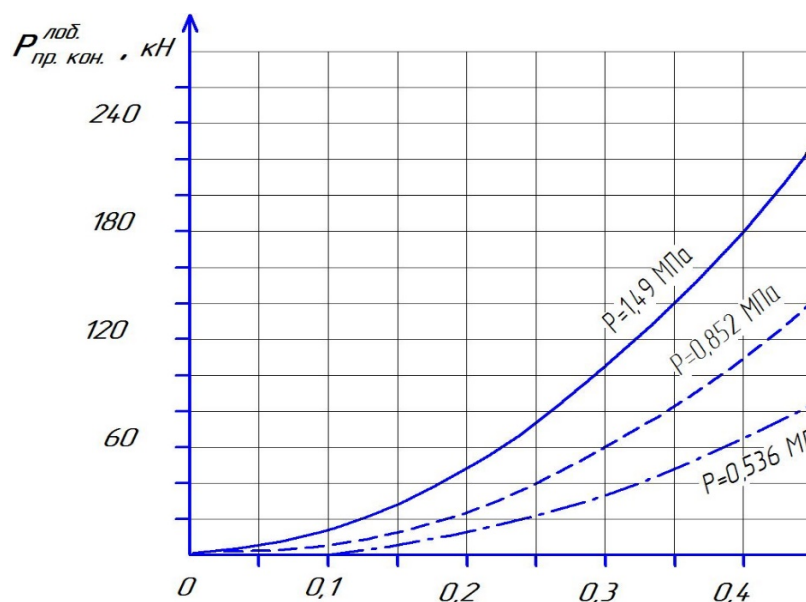


Рисунок 2.5 – Залежність зусилля заглиблення конусної частини наконечника від діаметра: 1 – твердий супісок; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – тугопластична глина

$$q_{\text{ц}} = q_{\text{ц}}^{\text{max}} \cdot e^{\frac{E_v t_{\text{ц}}}{k_g}}, \quad (2.41)$$

де $q_{\text{ц}}^{\text{max}}$ – максимальний питомий тиск ґрунту на формуючу - циліндричну частину РО наконечника;

k_g – коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту;

$t_{\text{ц}}$ – час контакту з ґрунтом циліндричної частини РО наконечника ($t_{\text{ц}} = \frac{y}{v}$);

v – швидкість пересування наконечника.

$$q_{\text{ц}}^{\text{max}} = \frac{D_p}{D} \sigma_1, \quad (2.42)$$

де D_p – діаметр пружно-пластичної зони (зони руйнування), [66];

σ_1 – напруження на межі пружної і пластичної зон визначили Кравець С. В. і Кованько В. В. [48, 61]

$$\sigma_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \left| \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \right|, \quad (2.43)$$

$$\text{де } \begin{cases} A = \sin \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0) \\ B = 3c \cdot \cos \varphi_0 - 2,5c \cdot \sin 2\varphi_0 + \gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) \\ C = [\gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) + 4c \cdot \cos \varphi_0] c \cdot \cos \varphi_0 \end{cases};$$

В початковий момент часу $t = 0$ в основі конуса наконечника діє максимальний контактний тиск (2.42). Якщо $t > 0$, то при $E_V \gg k_g$ [66], тиск на циліндричній частині наконечника на довжині 10...20 см зменшується, за даними робіт Д. Н. Єшуткіна [20, 22, 67, 110] до стабільної величини 0,016 ... 0,035 МПа, для розмірів циліндричної частини від 0,1 до 0,35 м, та зі збільшенням розміру залишковий тиск зростає. Тому якщо $l_y \leq 0,2$ м, $q_y^{cep} = \frac{D_p}{2D} \sigma_1$ – для лабораторних ґрунтів, а якщо $l_y > 0,2$ м, то тиск у залежності від діаметра знаходиться у межах 0,016...0,035 МПа.

Результуюча сила тертя на циліндричній частині наконечника дорівнює

$$F_{тр.кон.} = 0,1\pi\lambda fD\sigma_1 + \pi fD(l_y - 0,2)q_3, \quad (2.44)$$

$$\text{де } \lambda = \frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} - \text{відношення діаметра зони пружно-пластичних деформацій до діаметра конусного наконечника РО [66].}$$

Тоді сумарний опір заглибленню конічно-циліндричного наконечника дорівнює силі лобового опору та силі тертя по поверхні РО

$$P_{\Sigma \text{кон.}} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) +$$

$$+ 0,1\pi \left[\frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \right] fD\sigma_1 + \pi fD(l_y - 0,2)q_3. \quad (2.45)$$

Співвідношення лобових опорів проколювання ґрунту клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками. Визначимо відношення лобових опорів проколювання конічно-циліндричними й клиново-призматичними наконечниками рис. 2.6:

$$\frac{P_{\text{пр.кон.}}^{\text{лоб.}}}{P_{\text{пр.кл.}}^{\text{лоб.}}} = \frac{\pi D^2}{[\pi + 4(n-1)]d^2}. \quad (2.46)$$

Розмір кола, що описується навколо кількох футлярів покладених поруч залежить від розмірів та кількості футлярів. Розглянемо кілька варіантів протягування футлярів кількістю: 2, 3, та n штук (2.37) та (2.45).

Якщо $n = 2$, то $D = 2d$.

$$\frac{P_{\text{пр.кон.}}^{\text{лоб.}}}{P_{\text{пр.кл.}}^{\text{лоб.}}} = \frac{\pi D^2}{[\pi + 4(2-1)]d^2} = \frac{\pi 4d^2}{[\pi + 4]d^2} = 1,76.$$

Якщо $n = 3$, то $D = 2,155d$.

$$\frac{P_{\text{пр.кон.}}^{\text{лоб.}}}{P_{\text{пр.кл.}}^{\text{лоб.}}} = \frac{\pi 4,644d^2}{[\pi + 8]d^2} = 1,31.$$

Якщо $n = 4$, то $D = 2,41d$.

$$\frac{P_{пр.кон.}^{лоб.}}{P_{пр.кл.}^{лоб.}} = \frac{\pi 5,808 d^2}{[\pi + 12] d^2} = 1,20.$$

Тоді

$$\frac{P_{пр.кон.}^{лоб.}}{P_{пр.кл.}^{лоб.}} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin \pi/n}\right)^2 d^2}{[\pi + 4(n-1)] d^2} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin \pi/n}\right)^2}{\pi + 4(n-1)}. \quad (2.47)$$

Якщо $n = 5$.

$$\frac{P_{пр.кон.}^{лоб.}}{P_{пр.кл.}^{лоб.}} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin \pi/5}\right)^2}{\pi + 4(5-1)} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin 36^\circ}\right)^2}{\pi + 16} = 1,2.$$

Якщо $n = 10$.

$$\frac{P_{пр.кон.}^{лоб.}}{P_{пр.кл.}^{лоб.}} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin \pi/10}\right)^2}{\pi + 4(10-1)} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin 18^\circ}\right)^2}{\pi + 36} = 1,44.$$

Якщо $n = 15$ тоді $\frac{P_{пр.кон.}}{P_{пр.кл.}} = 1,79$.

$$\frac{P_{пр.кон.}^{лоб.}}{P_{пр.кл.}^{лоб.}} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin \pi/15}\right)^2}{\pi + 4(15-1)} = \frac{\pi \left(1 + \frac{1}{\sin 12^\circ}\right)^2}{\pi + 56} = 1,79.$$

Залежність P_Σ у функції від d для $n = 2$ приведена на рис. 2.7.

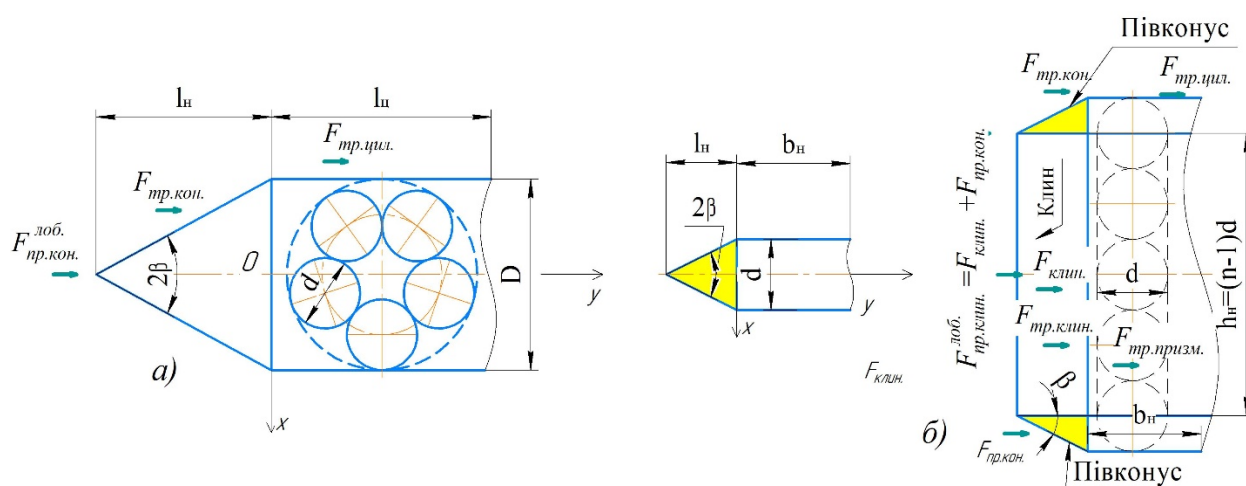


Рисунок 2.6 – Сили опору переміщення, що діють на РО в ґрунтовому середовищі: а) – робочий орган традиційної конусно-циліндричної форми з розташованими в ньому n -футлярами; б) – клиново-призматичний РО розташованими в ньому n -футлярами

Згідно з графіком на рис. 2.7 сумарний опір проколу ґрунту наконечником залежить від діаметра труб які вставляються у калібруючу частину, ширина прямокутника якого лежить у межах оптимального діаметра конусного проколу. Суттєво зусилля до 2-х разів також відрізняється від типу ґрунту.

Еквівалентні та оптимальні розміри клиново-призматичних наконечників з виступами.

Пропонується конструкція наконечника у якого клинова частина зроблена з виступами, що усуває дію пружних деформацій та відповідно силу тертя по периметру калібруючої частини [109].

Визначимо мінімальну товщину клина (рис. 2.8) з виступами $a_{\text{кл.}}^{\text{min}}$, яка усуває дію пружних деформацій по периметру наконечника:

$$a_{\text{кл.}}^{\text{min}} = a + \Delta a. \quad (2.48)$$

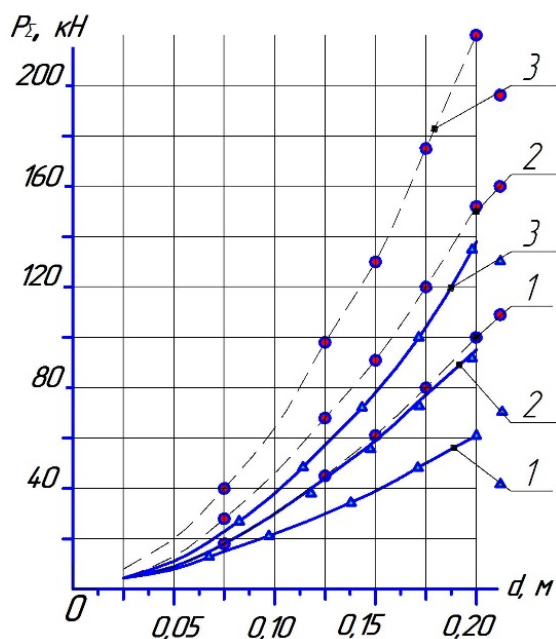


Рисунок 2.7 – Залежність загального опору клинового та конічного наконечників від діаметра комунікацій, що прокладаються ($n=2$): 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок.

▽ – ▽ – для клиново-призматичних наконечників робочого органу,

○ – ○ – для конічно-циліндричних наконечників робочого органу

На границі пружної та пластичної зон діє закон Гука [66].

$$\sigma_1 = E_v \varepsilon. \quad (2.49)$$

де ε – відносна деформація ґрунту ($\varepsilon = \Delta a / a$).

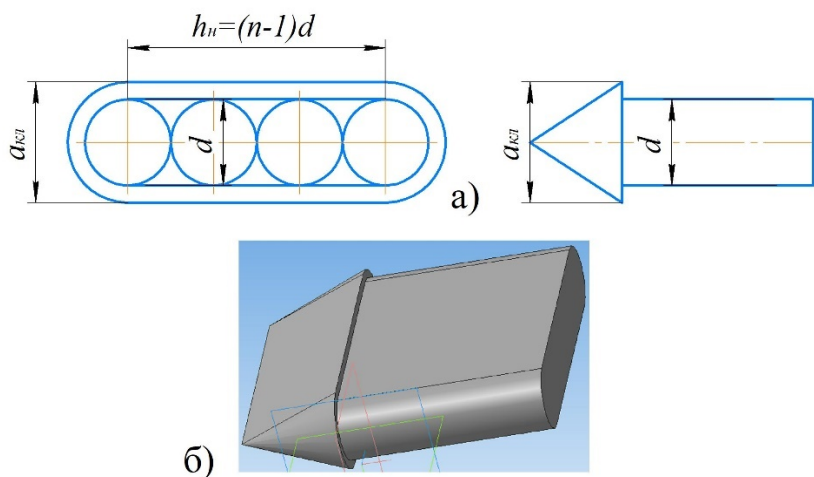


Рисунок 2.8 – Схема робочого органу у вигляді клину з виступами:

а) – вигляд ззаду, збоку; б) – 3D-модель РО

Тоді відповідно до [66]

$$\Delta a = \frac{\sigma_1}{E_v} a. \quad (2.50)$$

Для твердого супіску $\Delta a = \frac{0,108}{0,95}a = 0,114a$ ($a_{\min} = 1,114a$).

Для напівтвердого суглинку $\Delta a = \frac{0,157}{0,64}a = 0,245a$ ($a_{\min} = 1,24a$).

Для тугопластичної глини $\Delta a = \frac{0,167}{0,477}a = 0,35a$ ($a_{\min} = 1,35a$).

Таким чином

$$a_{\text{кл.}}^{\min} = \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V}\right)a = \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V}\right)d. \quad (2.51)$$

Зниження опору клиново-призматичного наконечника з виступами при мінімальній товщині $a_{\text{кл.}}^{\min}$ приведено на рис. 2.9.

З рисунка видно, що максимальне зменшення опору проколювання клиново-призматичного наконечника з виступами залежить від типу ґрунту, та діаметра ЛПО, які одночасно прокладаються.

Для визначення максимального розміру футляра розглянемо різницю між сумарним опором клиново-призматичного наконечника без виступів (2.37) та опором ґрунту наконечника з виступом, який враховує тільки опір лобової поверхні клиново-призматичного наконечника, та виключає дію пружної деформації ґрунту, та відповідно силу тертя по поверхні його калібруючої частини. Для виконання умови зняття сил тертя на поверхні калібруючої частини та визначення сили опору ґрунту наконечника з виступом у розрахунковій залежності замість залежності діаметру ЛПО вставимо мінімальний розмір клину (2.51) та отримаємо наступний вираз [66]:

$$\Delta P_{np.kl.} = P_{\Sigma} - P_{np.kl.}^{\triangleright} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} E_{cp} (1 + fctg \beta) \left[1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 \right] d^2 +$$

$$+ \left[\pi + 2(n-1) \right] fb_n \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right] d. \quad (2.52)$$

Диференціюючи отриманий вираз (2.52) відносно d отримаємо:

$$\frac{\partial \Delta P_{np.kl.}}{\partial d} = 2 \frac{\pi + 4(n-1)}{8} E_{cp} (1 + fctg \beta) \left[1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 \right] d +$$

$$+ \left[\pi + 2(n-1) \right] fb_{\kappa} \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right] = 0. \quad (2.53)$$

Рішення рівняння (2.53) відносно d дозволяє отримати розрахунок оптимальної величини діаметрів труб для їх прокладання клиново-призматичним РО:

$$d_{onm} = \frac{4 fb_n (\pi + 2(n-1)) \left(2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right)}{(\pi + 4(n-1)) \left(1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 \right) E_{cp} (1 + fctg \beta)}. \quad (2.54)$$

Таким чином, наприклад для ($n=2$) найбільш ефективно прокладати комунікації клиново-призматичним наконечником з виступами в тугопластичній глині діаметром $d_{onm}=0,096$ м; в напівтвердому суглинку – $d_{onm}=0,127$ м.; у твердому супіску – $d_{onm}=0,129$ м. цей діаметр залежить від типу ґрунту, геометричних параметрів клиново-призматичного наконечника, глибини прокладання і від кількості ЛПО, які одночасно прокладаються.

Визначимо діаметр комунікацій, при якому наконечник з виступами не є ефективним, тобто $\Delta P_{np.kl.} = 0$. З рівняння (2.52) отримаємо:

$$d_{\max} \geq \frac{8fb_n(\pi + 2(n-1)) \left[2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]}{(\pi + 4(n-1)) \left[\left(1 - \frac{\sigma_1}{E_v} \right)^2 - 1 \right] E_{zp} (1 + fctg\beta)}, \quad (2.55)$$

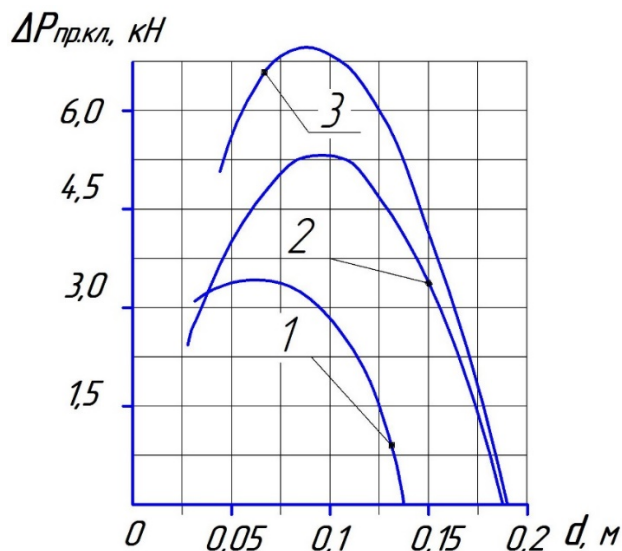


Рисунок 2.9 – Залежність зниження опору проколюванню клиново-призматичного наконечника з виступами від діаметра комунікацій ($n=2$): 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок

$$d_{onm} = \frac{d_{\max}}{2}. \quad (2.56)$$

Розрахунками визначено (наприклад для $n=2$), що максимальний діаметр ефективного використання клиново-призматичного наконечника з виступом становить для твердого супіску $d_{\max} \geq 0,258$ м, для напівтвердого суглинка $d_{\max} \geq 0,254$ м та для тугопластичної глини $d_{\max} \geq 0,192$ м.

Зони ущільнення та тиску ґрунту на сусідні підземні комунікації при деформації його клиново-призматичним наконечником.

Сучасні ремонти в місті показують необхідність одночасного прокладання декількох захисних футлярів до 8. Традиційно ТПГ для групового прокладання футлярів формується круглого перетину РО. Футляри у цьому випадку сформують в пучок з кількох окремих елементів протягнутих в один отвір. Відповідно, чим більший діаметр ТПГ, тим більша ймовірність пошкодження дорожньої основи або прилеглих комунікацій, що вимагає значно збільшувати глибину прокладання. Однорядне прокладання труб клиновим наконечником, дозволяє змінити та контролювати зону ущільнення і вплив на об'єкти, що розташовані поблизу.

Удосконалення технології отримання ТПІ статичним проколом для прокладання ЛПО є значимою задачею. При розробці технічних рішень необхідно враховувати потребу одночасного прокладання декількох футлярів та тиск деформованого ґрунту на прилеглі комунікації. Вивчення зони впливу РО на масив ґрунту та комунікації дасть можливість більш раціонально використовувати підземний простір, знизить ризики руйнування комунікацій та вартість робіт.

Проведення дослідів завжди матеріалоемне та вимагає значних ресурсів та часу, тому теоретичне обґрунтування занурення клиноподібного ножа та уявлення про закономірності процесу проколу запропонованим РО дозволить визначитись з подальшими плануванням експериментального дослідження [47, 89-90, 108-109].

Математичну модель процесу просування робочого органу в ґрунті показано розрахунковими залежностями, що отримані шляхом диференційного та інтегрального обчислення рівнянь.

Опір просуванню робочого органу визначається параметрами та кількістю футлярів, що необхідно прокласти та властивостями ущільненого ґрунту, і як наслідок глибиною прокладання комунікації.

Параметри наконечників та їх вплив на підземні об'єкти показані на (рис. 2.10) і визначаються діаметром та кількістю футлярів які повинні вільно затягуватись в утворену порожнину.

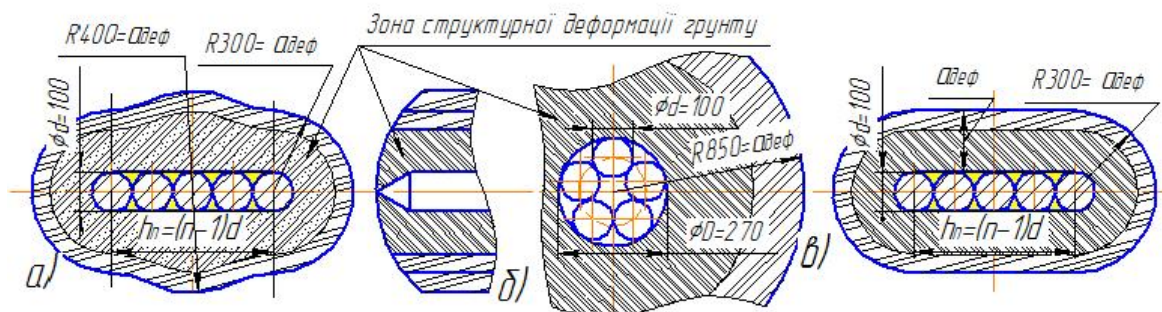


Рисунок 2.10 – Робочі органи та зони деформації й надмірного тиску на сусідні комунікації при проколі (отвір для 5 футлярів): а) – клиново-призматичний РО проходка за 1 раз; б) – конусний РО; в) – клиново-призматичний РО, 4 послідовні проходи футляри

На основі закону збереження маси ґрунту до і після ущільнення клиновим наконечником маємо (рис. 2.11) [1]:

$$\left(a_{\text{деф}} + \frac{d}{2}\right)(n-1)d\rho_{np} = (n-1)d \int_0^{a_y} \rho_x dx, \quad (2.57)$$

де $a_{\text{деф}}$ – відстань, на яку деформується ґрунт клиновим наконечником;

Наближено закономірність зміни щільності ρ_x приймемо лінійною в залежності від відстані до бокової стінки ТПГ (Д. Н. Єшуткін) (рис. 2.12).

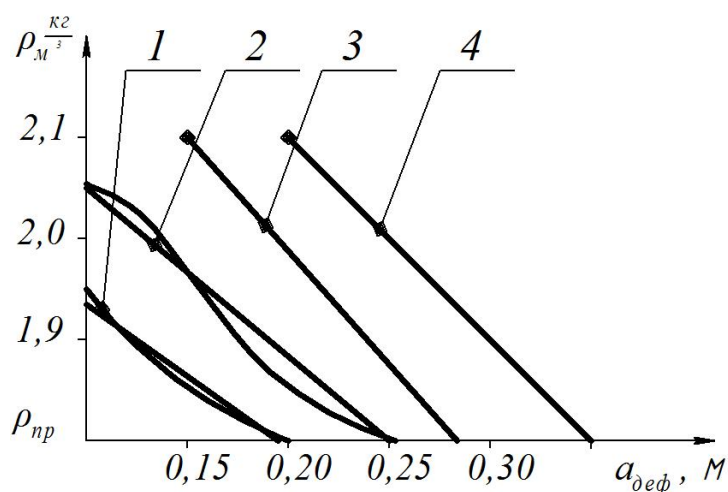


Рисунок 2.11 – Закономірність зміни щільності ґрунту в деформованій (клиново-призматичним наконечником) зоні в залежності від розмірів ТПГ: 1 – футляр 0,13 м; 2 – розміром 0,19 м; 3 – футляр 0,245 м; 4 – футляр 0,325 м

Прийнята закономірність зміни щільності показана на рис. 2.12:

$$\rho_x = \rho_{np} + \left(1 - \frac{x}{a_{\text{деф}}}\right)(\rho_{\text{max}} - \rho_{np}), \quad (2.58)$$

де ρ_{max} – максимальна щільність ґрунту в боковій стінці ТПГ.

З урахуванням (2.57) рівність (2.58) перепишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} \left(a_{\text{деф}} + \frac{d}{2}\right)\rho_{np} &= \rho_{np}a_{\text{деф}} + (\rho_{\text{max}} - \rho_{np})a_{\text{деф}} - (\rho_{\text{max}} - \rho_{np})\frac{a_{\text{деф}}}{2} = \\ &= \frac{\rho_{\text{max}} + \rho_{np}}{2}a_{\text{деф}}. \end{aligned} \quad (2.59)$$

Середня щільність ґрунту $\frac{\rho_{\text{max}} + \rho_{np}}{2} = \rho_{\text{сер}}$ після проходження РО визначено в роботі [60, 69, 70]:

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{\rho_{np}}{1 - 1/\lambda^2}, \quad (2.60)$$

де λ – характеризує розповсюдження зони пружно-пластичних деформацій ґрунту і залежить від типу ґрунту та глибини проходки:

$$\lambda = \frac{\left(\gamma_{\text{сп}}h + \frac{c}{\text{tg}\varphi_0}\right)\text{tg}^4\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right)}{\sigma_1}, \quad (2.61)$$

де σ_1 – напруження за (2.43) [44, 47, 66].

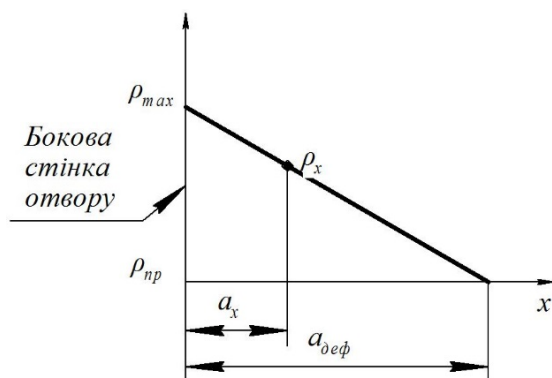


Рисунок 2.12 – Прийнята закономірність зміни щільності ґрунту

Якщо підставити залежності (2.60) і (2.61) у рівняння (2.59) отримаємо:

$$a_{\text{деф}} = (\lambda^2 - 1) \frac{d}{2} = \left[\frac{\left(\gamma_{np} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right)^2 \operatorname{tg}^8 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{d}{2}. \quad (2.62)$$

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

$$a_{\text{деф}} = \left[\frac{\operatorname{tg}^8 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{(1 + \sin \varphi_0)^2} \cdot \sin^2 \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0)^2 - 1 \right] \frac{d}{2}. \quad (2.63)$$

Для невагомego зв'язного середовища ($\gamma h = 0$, $c \neq 0$):

$$a_{\text{деф}} = \left[\frac{\frac{c^2}{\operatorname{tg}^2 \varphi_0} \operatorname{tg}^8 \left(\frac{\pi}{4} + \varphi_0 \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{d}{2}. \quad (2.64)$$

Якщо прийняти, що коефіцієнт $\lambda = 5,4 \dots 6,0$ – для сипіску твердого; $\lambda = 4,3 \dots 4,8$ – для суглинку напівтвердого; $\lambda = 4,0 \dots 4,3$ – для глини тугопластичної [66], тоді щільність ґрунту в пружно-пластичній зоні: для тугопластичної глини – $\rho_{\text{сер}} = (1,06 \dots 1,07) \rho_{np}$; для напівтвердого суглинку – $\rho_{\text{сер}} = (1,05 \dots 1,06) \rho_{np}$; для твердого сипіску – $\rho_{\text{сер}} = (1,03 \dots 1,04) \rho_{np}$;

За даними виробничих випробувань безтраншейних дреноукладачів, які працюють з утворенням закритичної зони $\rho_{\text{сер}} = (1,05 \dots 1,08) \rho_{np}$ [20, 22, 41, 46].

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

Визначимо тиск ґрунту на комунікації, що розташовані під землею та потрапили у зону дії пружно-пластичних деформацій:

$$q_x = \frac{1+\omega}{c_k} \rho_{mv} \left(\frac{1}{\rho_{np}} - \frac{1}{\rho_x} \right) = E_{zp} \left[1 - \frac{1}{1 + \left(1 - \frac{x}{a_{def}} \right) \left(\frac{2}{\lambda^2 - 1} \right)} \right]. \quad (2.65)$$

Отримано графіки q_x в залежності від відстані x до бокової поверхні (грані) клину для найбільш розповсюджених типів ґрунтів (рис. 2.13).

Для побудови графіків приймемо для обох робочих органів [33, 41, 66]:

- кількість одночасно протягнутих футлярів $n=5$ шт.;
- глибина $h=1.5$ м;
- розмір футлярів 100 мм, 200 мм, 300 мм;
- характеристики твердого супіску – $\lambda = 5.6$, $a_{def} = 15.2d$;
- характеристики напівтвердого суглинку – $\lambda = 4.5$, $a_{def} = 9.63d$;
- характеристики тугопластичної глини – $\lambda = 4.2$, $a_{def} = 8.32d$.

З рисунок 2.13. чітко видно, що використання досліджуваного РО суттєво залежить від розміру футлярів та обмежується глибиною прокладання. Мала глибина приведе до випчування денної поверхні ґрунту.

Якщо процес проколювання розбити на декілька етапів та поступово збільшувати ширину (кількість футлярів, що одночасно прокладається), то всі деформації будуть мінімальними та розповсюджуються лише в сторону конусних країв РО.

Серед сильних сторін даного дослідження необхідно зазначити отримання теоретичного визначення зони ущільнення ґрунту та впливу на підземні комунікації при його деформації клиново-призматичним наконечником [30]. Завдяки цьому була отримана можливість всебічної оцінки використання нових клиново-призматичних РО для прокладання підземних комунікацій з застосуванням статичного проколу ґрунту. Критерієм порівняння запропонованого клиново-призматичного та традиційного конусно-циліндричного наконечників РО є сила приколювання

ґрунту ними. Отримані розрахунки сил опору ґрунту проколу також пов'язують конструктивні і силові можливості малогабаритної установки при виконанні робіт. Оцінити, близькість виконання робіт (проходу РО) до прилеглих комунікацій можна виконати визначенням тиску від пружно пластичних деформацій на прилеглі комунікації наконечником з запропонованими геометричними параметрами, залежно від та характеристик ґрунту та параметрів РО.

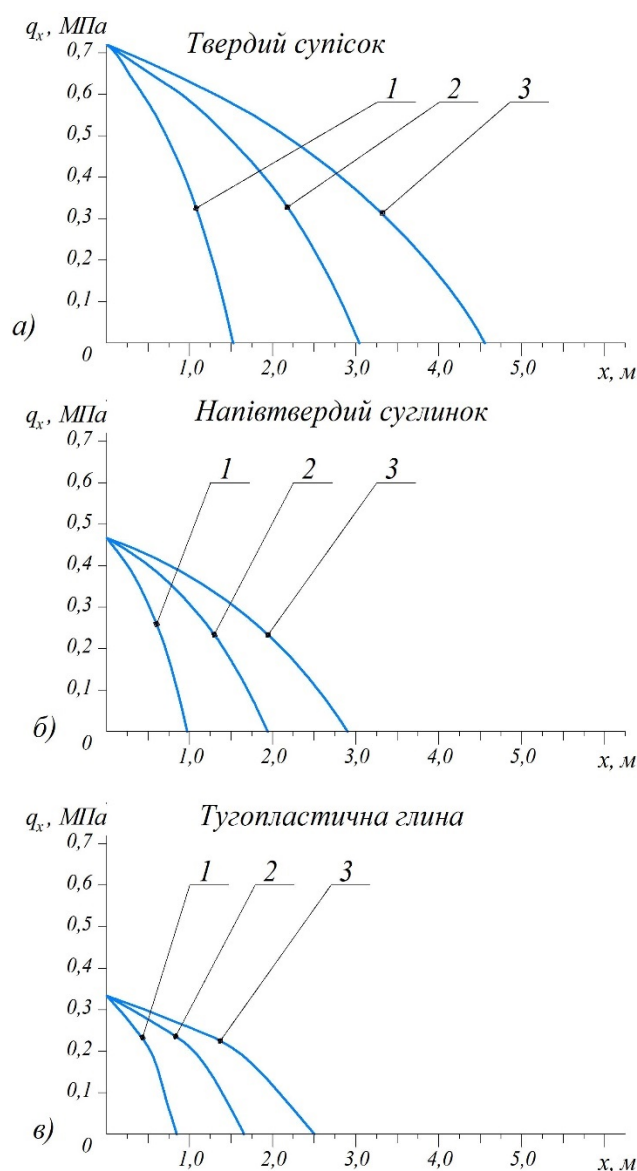


Рисунок 2.13 – Залежність тиску ґрунту на підземні комунікації від відстані, діаметра, кількості футлярів та форми робочого органу $n=5$ шт., $h=1.5$ м: а – твердий супісок; б – напівтвердий суглинок; в – тугопластична глина: 1, 2, 3, 4, 5 – клиново-призматичний робочий орган для діаметрів футляра, відповідно, 100 мм, 200 мм та 300 мм

Необхідність проведення досліджень по можливості зниження собівартості виконання робіт за безтраншейними технологіями обумовлено постійністю ущільнення ґрунту навколо РО, незалежно від кількості футлярів. Зміна форми РО дає можливість перерозподілити напруження в ґрунтовому масиві, що дасть можливість наблизитись до прилеглих комунікацій. Запропоновані клиново-циліндричні наконечники дають можливість зменшити сили проколювання за рахунок зменшення робіт по ущільненню певного об'єму ґрунту, що пустує при традиційних РО.

2.4 Опір розширення ТПГ клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками

Отже, за відсутності інших вимог, більш перспективними є технологічні процеси, що поєднують використання пілотного проколювання та подальшого поступового розширення до необхідного розміру за кілька етапів. Використання засобів керування траєкторією пілотного проходу при спорудженні ТПГ сильно спрощує процес та знижує його вартість.

Через значні сили проколювання та використання захисних футлярів з пластику (через пластикові труби неможливо передати осьові сили) процес формування отворів складається з пілотного проколу d_{π} , та подальшого розширення. З урахуванням пружних (зворотних) деформацій ґрунту, то опір розширення визначаємо як різницю між опором отримання повного ТПГ і опором проколювання пілотного проходу. Опір послідовного розширення ТПГ після лідерного проходу d_{π} .

Для клинового робочого органу

$$P_{пр.кл.}^{рш.} = \left[\frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{\pi} (1 + fctg \beta_{\kappa}) \right] - \left[\frac{\pi \left(d_{\pi}^2 - \frac{\sigma_1}{E_v} d_{\pi}^2 \right)}{8} E_{\pi} (1 + fctg \beta) \right], \quad (2.66)$$

де d_{π} – діаметр пілотної свердловини, мм;

Для конічно-циліндричного РО

$$P_{пр.кон.}^{рш.} = \left[\frac{\pi D_{рш.}^2}{8} E_{зр} (1 + fctg \beta_{кон}) \right] - \left[\frac{\pi \left(d_{л}^2 - \frac{\sigma_1}{E_v} d_{л}^2 \right)}{8} E_{зр} (1 + fctg \beta) \right], \quad (2.67)$$

$D_{рш.}$ – діаметр розширюючого конуса, мм;

Для побудови графіків приймемо [31, 41, 66]:

- $2\beta = 40^\circ$ – подвійний кут при вершині клину та півконусу;
- розмір пілотного проходу $d_{л} = 0,08$ м;
- довжина наконечника $l_{ц} = b_{н} = 0,3$ м;
- кількість однакових футлярів $n=1\dots5$ шт.;
- глибина прокладання $h=1.5$ м;
- діаметр футлярів 100 мм;
- характеристики тугопластичної глини – $\omega = 23\%$, $c = 0,04$ МПа, $\lambda = 4,539$, $E_{зр} = 0,818$ МПа, $a_q = 0,044$, $a_{деф} = 9,80d$;
- характеристики напівтвердого суглинку – $\omega = 17\%$, $c = 0,04$ МПа, $\lambda = 4,174$, $E_{зр} = 1,071$ МПа, $a_q = 0,044$, $a_{деф} = 8,21d$;
- характеристики твердого супіску – $\omega = 10\%$, $c = 0,020$ МПа, $\lambda = 5,611$, $E_{зр} = 2,363$ МПа, $a_q = 0,05$, $a_{деф} = 15,241d$;
- характеристики піску – $\omega = 6\%$, $c = 0,0$ МПа, $\lambda = 15,961$, $E_{зр} = 7,293$ МПа, $a_q = 0,075$, $a_{деф} = 86,8d$.

Графіки $P_{\Sigma прк.}$ сили сумарного проколювання ґрунту порівнюваними РО отримаємо підставивши відповідні значення в формули (2.37) та (2.45) (рис. 2.14).

Подвійне збільшення сили проходки конічно-циліндричної РО для 2 футлярів пояснюється збільшенням розміру отвору в два рази. Будуємо графіки $P_{\Sigma рзш.}$ при поступовому розширенні ТПІ наконечником, що послідовно збільшує свої розміри на один футляр формули (2.66) та (2.67) (рис. 2.15).

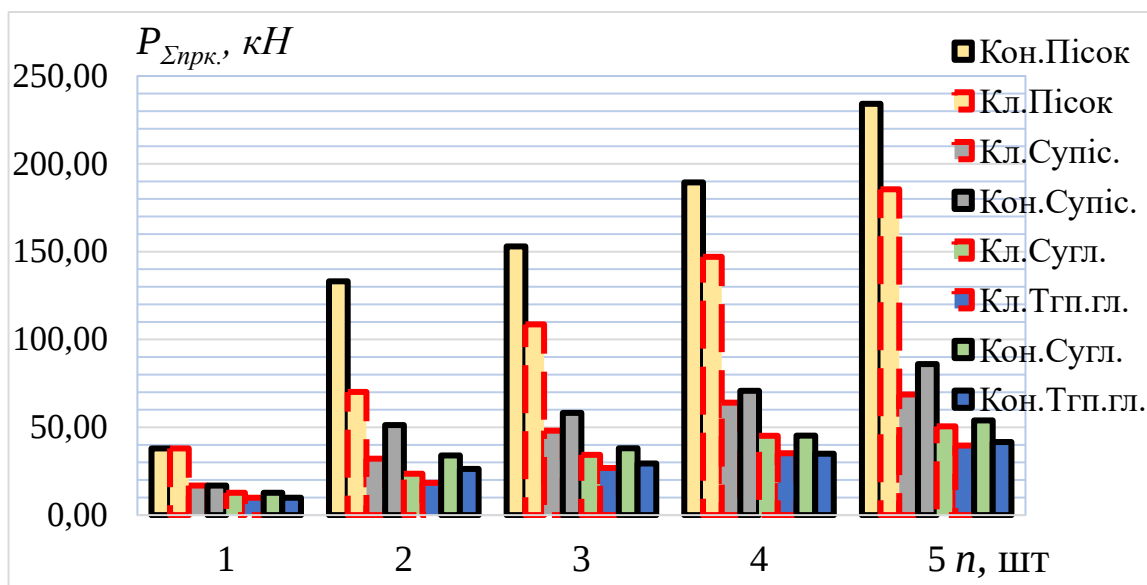


Рисунок 2.14 – Вплив кількості футлярів та форми робочого органу на сумарну силу проколювання ТПГ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок; Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок; Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

Окремо приведемо графіки для порівняння приведеної сили проколювання ґрунту РО з кроями, що виступають – без урахування тертя ґрунту по боковій поверхні наконечників (рис. 2.8) клиново-призматичної й конічно-циліндричної форми відповідно. Для проколювання формули (2.30), (2.32) та (2.38) відповідно в залежності від кількості футлярів, що прокладаються одночасно, та типу ґрунту (рис. 2.16). Для розширення клиново-призматичним РО залежності (2.32), (2.66) та конічно-циліндричної – (2.67) відповідно до кількості футлярів, що прокладаються одночасно, та типу ґрунту (рис. 2.17).

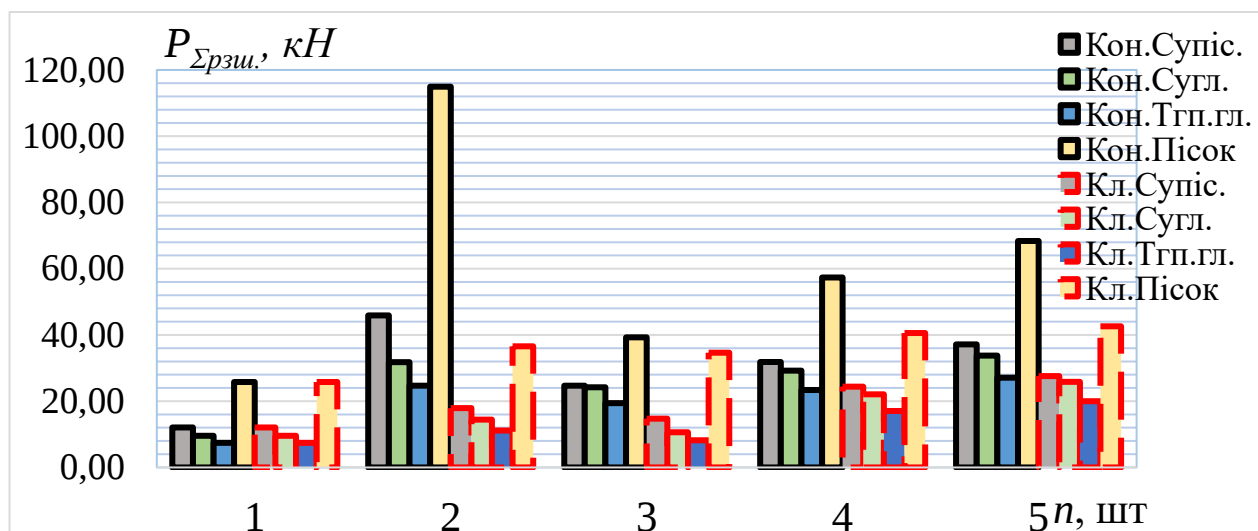


Рисунок 2.15 – Вплив кількості футлярів та форми робочого органу на сумарну силу розширення ТПГ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок;

Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок;

Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок;

Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок;

Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина;

Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

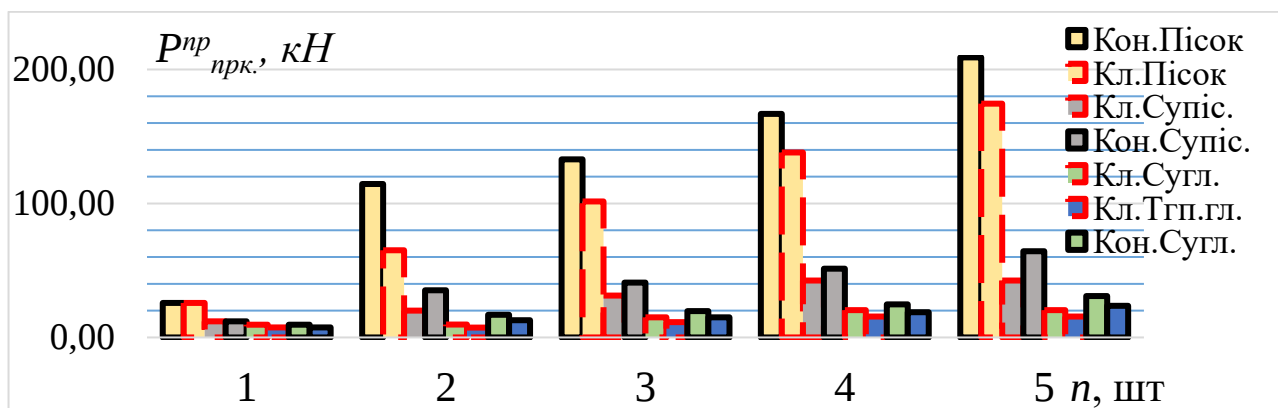


Рисунок 2.16 – Вплив кількості футлярів та форми робочого органу, з виступами, на приведену силу проколювання ТПГ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО,

твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок;

Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок;

Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

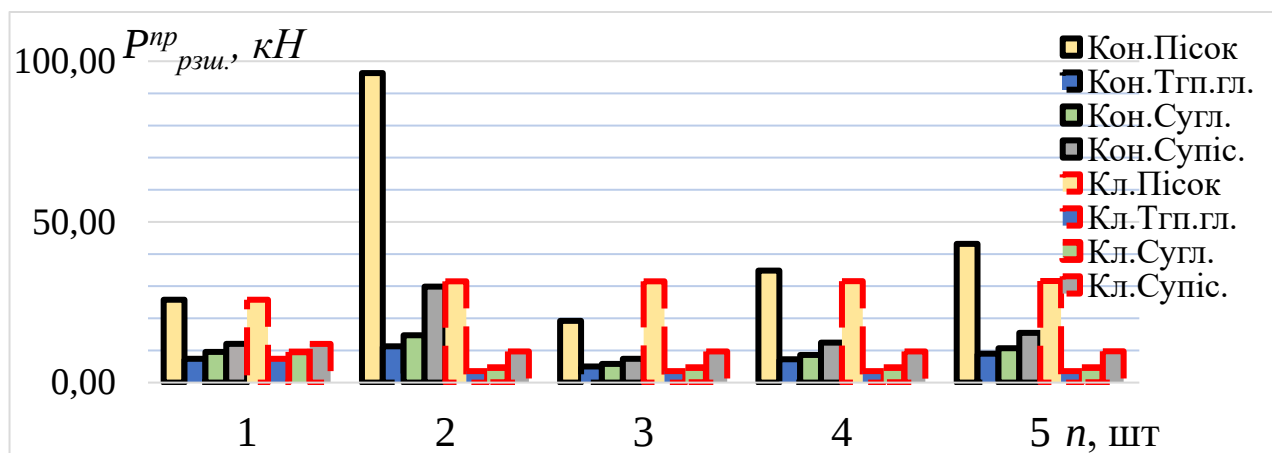


Рисунок 2.17 – Вплив кількості футлярів та форми робочого органу, з виступами, на приведену силу розширення ТПГ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок; Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок; Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

Висновки за розділом 2

2.1) Обґрунтовано гіпотезу взаємодії клиново-призматичних наконечників з ґрунтом при статичному проколі на основі приведеного закону зміни щільності ґрунту по товщині клиново-призматичного наконечника.

2.2) Проведено аналітичні дослідження по визначенню сил проколювання ТПГ, та оптимізації параметрів РО, отримано співвідношення сили лобового опору проколюванню ґрунту клиново-призматичними та традиційними конічно-циліндричними наконечниками, встановлено зниження сили більше ніж в 1,2-1,76 рази, в залежності від кількості футлярів, що одночасно прокладаються, що вказує на доцільність використання такої форми РО.

2.3) Прийнято, що для виконання розрахунків сили проколювання ТПГ різними робочими органами використовуємо табличні значення з будівельних норм на основі знань про тип ґрунту, що визначається стандартизованим експрес аналізом вологості, число пластичності, границі текучості та розкочування.

2.4) Аналітично визначено тиск ґрунту на комунікації які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій, на основі закону збереження маси ґрунту, можливості зменшення його за рахунок використання клиново-призматичних наконечників. Аналітично визначено величина зони деформування a_{def} , що становить від $a_{def} = 7,5d$ для глинистих ґрунтів до $a_{def} = 65,2d$ для піщаних, що є свідченням нездатності останніх до статичного ущільнення, а відповідно унеможливорює статичного проколювання ТПГ в такому середовищі.

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОКОЛЮВАННЯ ГРУНТІВ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень було підтвердження робочої гіпотези взаємодії клиново-призматичного наконечника з ґрунтом й обґрунтування раціональних параметрів робочого органу, які забезпечують мінімальне зусилля проколу та мінімальний вплив на сусідні комунікації в залежності від властивостей ґрунту та кількості футлярів [65].

Експериментальні дослідження мають підтвердити наукову теорію отримання ТПГ клиново-призматичним РО, яке реалізує методи статичного проколу ґрунту, та обґрунтувати їхні раціональні конструктивні та режимні параметри на основі розроблених теорій процесів взаємодії наконечників РО з ґрунтом при врахуванням деформаційних зон навколо ТПГ, мінімізації сили проколювання (рис. 3.1).

Для досягнення мети було вирішено провести лабораторні експерименти з моделями РО на лабораторному стенді (рис. 3.2) та польові випробування з натурними зразками РО (рис. 3.12 – 3.14) за допомогою установок статичної дії МПК- 30- 100 (див. рис. 1.15), які обумовили розв'язання наступних задач:

- розробити програму експериментальних досліджень з використанням лабораторного стенда (рис. 3.2) та виготовлення відповідно моделей змінних РО;
- дослідити вплив геометричних параметрів РО, на силові та енергетичні процеси формування ТПГ, встановити діапазон їх раціональних значень з урахуванням властивостей ґрунтового середовища та технологій горизонтального формування ТПГ;
- порівняти дані отримані експериментальним шляхом з теоретичними та порівняти їх;
- порівняти дані польових випробувань з теоретичними та лабораторними й оцінити їх розбіжність.

– встановити області ефективного використання методів статичного формування ТПГ та визначити реально можливі показники зниження вартості виконання робіт.

Сформована програма експериментальних досліджень, для чого обрано однофакторний експериментальний план і визначені такі фактори: кількість та діаметр футлярів, що прокладаються одночасно, щільність та вологість ґрунту, глибина прокладання ТПГ, кут загострення РО.

Розроблено схему експерименту (рис. 3.1), де цифрам позначено: 1 – вибір об'єктів дослідження (РО та ґрунт); 2 – підготовка лабораторного та експериментального обладнання; 3 – вивчення фізико-механічних характеристик лабораторного ґрунту та впливу їх на зусилля проколювання РО; 4 – налагоджування експериментального стенда і встановлення робочої швидкості; 5 – підготовка ґрунту: розпушування та пошарове ущільнення; 6 – вимірювання вологості та вимірювання міцності, ґрунту в коробі, малим ударником ДорНДІ; 7 – проколювання пілотного отвору наконечником; 8 – проколювання ТПГ відповідними РО; 9 – реєстрація зусилля проколювання в ході експерименту на ПК; 10 – оцінка впливу форми РО на зусилля проходки ТПГ; 11 – аналіз отриманих результатів, висновок по етапах дослідження; 12 – вибір раціональних параметрів і форми наконечника РО в залежності від кількості та розмірів ЛПО; 13 – розробка програмного забезпечення та методики інженерного розрахунку, для визначення зусилля проколювання клиново-призматичним РО в залежності від фізико-механічних параметрів ґрунту, розмірів та кількості ЛПО.

Відповідно до схеми запасовки тягового каната (рис. 3.2) та розташування тензодатчика опір переміщенню РО визначається за показами тензометричних ваг.

$$P_{роб} = 0,5P_{тд} / \mu_{бл}^4 = 0,565P_{тд}, \quad (3.1)$$

де $\mu_{бл}$ – ККД канатних блоків, що відхиляють (для блоків на підшипниках кочення $\mu_{бл} = 0,97...0,98$).

$P_{роб}$ – зусилля, що діє на РО;

$P_{тд}$ – зусилля, що вимірює тензодатчик.

Остаточно $P_{роб} = 0,5gP_{тд} \cdot \mu_{бл}^{-4} = 0,5gP_{тд} \cdot 0,97^{-4} = 0,542gP_{тд}$.

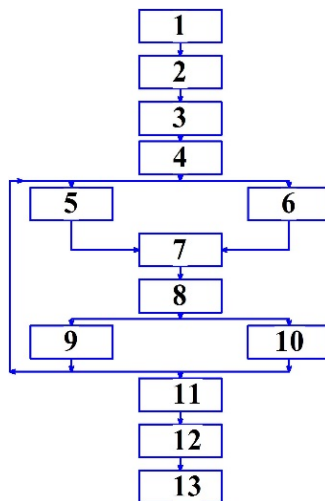


Рисунок. 3.1 – Структурна схема проведення експерименту

Для забезпечення заданої точності однофакторних експериментів повторюваність дослідів визначається за методикою [65, 102]

$$n = \frac{\nu_{\alpha}^2 V^2}{\varepsilon^2}, \quad (3.2)$$

де V – коефіцієнт варіації сили руйнування ґрунту РО;

ε – помилка середньої арифметичної величини, яка визначається (задається в межах $\varepsilon = 0,05 \dots 0,1$ – для лабораторних досліджень);

ν_{α} – коефіцієнт Стюдента, визначається по таблиці 3.1 відповідно до заданої надійності.

Приймаємо, що дійсні значення не виходять за межі довірчого інтервалу з ймовірністю не менше 0,95. Тоді повторюваність дослідів при відомій (заданій) похибці вимірювального стенда визначається коефіцієнтом варіації V :

- визначається електронним тензодатчиком значення сили $P_{тд}$ у вигляді таблиці значень з інтервалом 0,5 с. (табл. 3,2);

- визначається середнє арифметичне значення.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта Стюдента ν_α

Повторюваність дослідів у попере- дніх експериментах	Довірча ймовірність				
	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99
5	0,74	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,73	2,01	2,57	3,65	4,03
7	0,72	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,71	1,90	2,36	2,97	3,50
9	0,71	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,70	1,84	2,26	2,76	3,25
15	0,69	1,76	2,14	2,60	2,98
20	0,69	1,73	2,09	2,53	2,86

$$P_{сер.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{роб}, \quad (3.3)$$

де n – число робочих точок в таблиці значень в комп'ютерній програмі;

$P_{роб}$ – числові значення цих зусиль.

- визначаємо середньоквадратичну помилку

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_{роб.} - P_{сер.})^2}, \quad (3.4)$$

- визначаємо грубі промахи (виникають через неоднорідність ґрунту та фізичного впливу на нього при ущільненні), якщо підозра підтверджується, то цей розмір належить до грубих промахів і вилучається з подальшого розрахунку. Висувається гіпотеза: результат вимірювання X_i не належить до грубих промахів є одним зі значень випадкової величини.

Сумнівними дійсними розмірами можуть бути $P_{роб.маx}$ або $P_{роб.мин}$ варіаційного ряду (табл. 3.2). Для перевірки сумнівного розміру визначають величину $v_{маx}$, $v_{мин}$

$$v_{маx} = \frac{P_{роб.маx} - P_{сер.}}{S} \text{ або } v_{мин} = \frac{P_{сер.} - P_{роб.мин}}{S}. \quad (3.5)$$

Якщо підраховані величини $v_{мин}^{маx} \leq v_{\alpha}$, то припущення вірне. Цей розмір є одним зі значень випадкової величини (розмір не є грубим промахом). Якщо підраховані величини $v_{мин}^{маx} > v_{\alpha}$, то гіпотеза не підтверджується. Цей розмір належить до грубих промахів його слід вилучити із варіаційного ряду та визначити нові значення $\bar{X}$ і S_x . $v_{\alpha} = 2,09$ – табличне значення (табл. 3.1), яке залежить від довірчої ймовірності – прийняли 0,95 при 17 вимірюваннях.

- визначаємо коефіцієнт варіації v_{α} як відношення середньоквадратичну помилку до середнього значення

$$v_{\alpha} = \frac{P_{сер.}}{S}. \quad (3.6)$$

- визначаємо необхідну кількість точок (табл. 3.1), які необхідно опрацювати

$$n \geq \frac{(P_{сер.}/S)^2 v_{\alpha}^2}{\varepsilon^2} = 12,3...17,3.$$

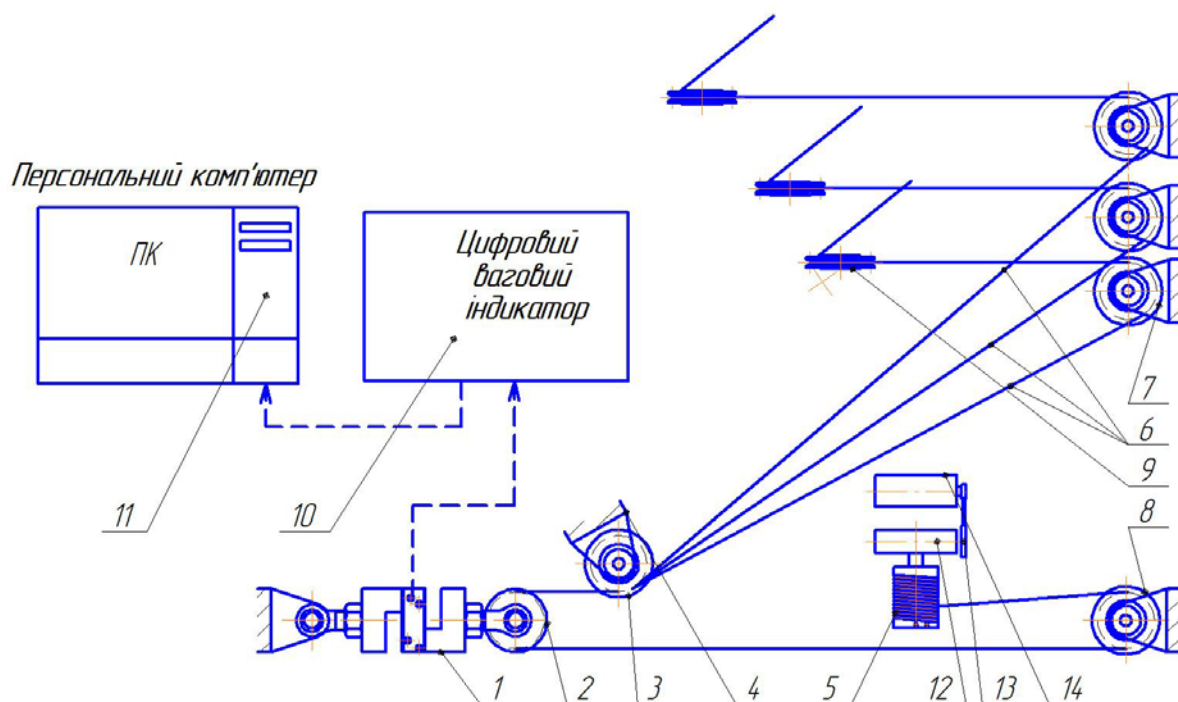


Рисунок 3.2 – Кінематична схема стенда для вимірювання зусиль та приводу канатів: 1 – тензодатчик; 2, 3, 7, 8, 9 – блоки, що відхиляють; 4 – провущина опорна; 5 – барабан тяговий; 6 – канат привідний; 10 – ваговий термінал; 11 – персональний комп'ютер; 12 – редуктор; 13 – клинопасова передача; 14 – електродвигун

Енергоємність руйнування ґрунту – це відношення роботи за одиниці шляху, до сумарного об'єму зруйнованого ґрунту по всій траєкторії.

$$E = \frac{P_{сер.} \cdot 1м}{F_{пр.} \cdot 1м}. \quad (3.7)$$

де $F_{пр.}$ – середня площа поперечного перерізу ТПГ.

Проведемо три серії дослідів по вісім серій у кожному робочому вікні на різній глибині від 0,7 м до 0,5 м (рис. 3.4). Результати яких будуть занесені до таблиць та порівняні з теоретичними значеннями. Для відображення результатів побудуємо графіки.

Таблиця 3.2 – Значення вимірюваного зусилля проколювання РО

Час виконання:	17.Сер.21	$P_{\text{тд}}$, кг	$P_{\text{роб}}$, Н	Примітка
1	0:0:0	8	42,6	канат вибрав слабіну, початок робочого руху
2	0:1:13	215,6	1147,5	
3	0:2:27	348,6	1855,4	
4	0:3:41	341,7	1818,7	
5	0:4:55	287,1	1528,1	
6	0:5:69	258,2	1374,3	
7	0:6:83	245,6	1307,2	
8	0:7:97	219,7	1169,3	
9	0:8:130	226,7	1206,6	
10	0:9:144	222,7	1185,3	
11	0:10:158	232,5	1237,5	
12	0:11:172	204,3	1087,4	
13	0:12:186	175,8	935,7	
14	0:13:200	153,5	817,0	
15	0:14:214	170,6	908,0	
16	0:15:228	163,4	869,7	
17	0:16:242	139,8	744,1	
18	0:17:256	136,2	724,9	
19	0:18:270	2,7	14,4	

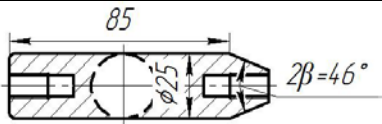
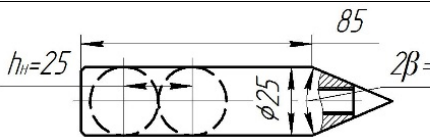
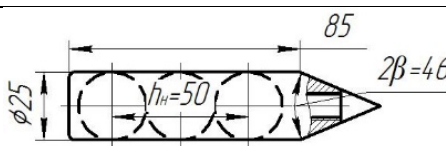
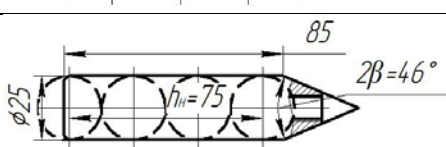
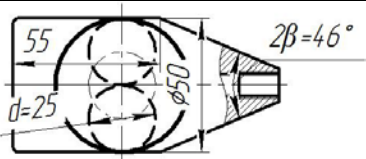
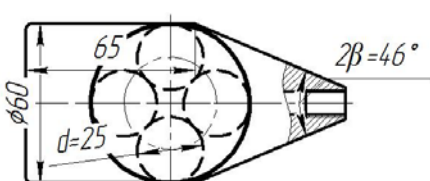
3.2 Стендове обладнання для проведення лабораторних експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень використаємо моделі РО, розміри яких визначимо шляхом масштабування. За взірець використаємо трубчатий футляр найбільш поширеного розміру 100 мм, при цьому кількість одночасно монтованих футлярів варіює від 1 до 4 шт. розмір робочого органу для утворення ТПГ

з рекомендацій збільшимо на 20% по відношенню до футляру. Масштаб моделювання 1:5. Результати розміщені в таблиці 3.3., зображення робочих органів рис. 3.3.

Прийнявши для клиново-призматичних та конічно-циліндричних робочих органів однакові умови маємо (рис. 3.3): кут при вершині конуса або клину дорівнює $2\beta = 46^\circ$, ґрунт – лабораторний (суміш піску з супіском (табл. 3.4) (близький до вологого піску).

Таблиця 3.3 – Геометричні параметри РО для проведення експерименту.

	Типи РО та отвори, які ними тримаємо, розташування в них футлярів	Габарити лабораторного РО, мм		
		Діаметр, висота, ширина, мм	Кут загострення, β , град	Довжина РО, мм
1		$D_{po} = 25$ мм	$\beta = 23^\circ$	85
2		$b = 25, h_{кл} = 25$	$\beta = 23^\circ$	85
3		$b = 25, h_{кл} = 50$	$\beta = 23^\circ$	85
4		$b = 25, h_{кл} = 75$	$\beta = 23^\circ$	85
5		$D_{po} = 50$ мм	$\beta = 23^\circ$	55
6		$D_{po} = 54$ мм	$\beta = 23^\circ$	50
7		$D_{po} = 60$ мм	$\beta = 23^\circ$	65

Моделі РО, які сформовані для проколювання ТПГ в лабораторних умовах (табл. 3.3). Вірогідність математичної моделі процесу утворення ТПГ ущільнювальним робочим органом запропонованої конструкції у випадку відсутності точного аналога підтверджує якісно виконане фізичне моделювання експериментальних досліджень, результати фізичного моделювання можуть бути підставою для уточнення початкової математичної моделі.

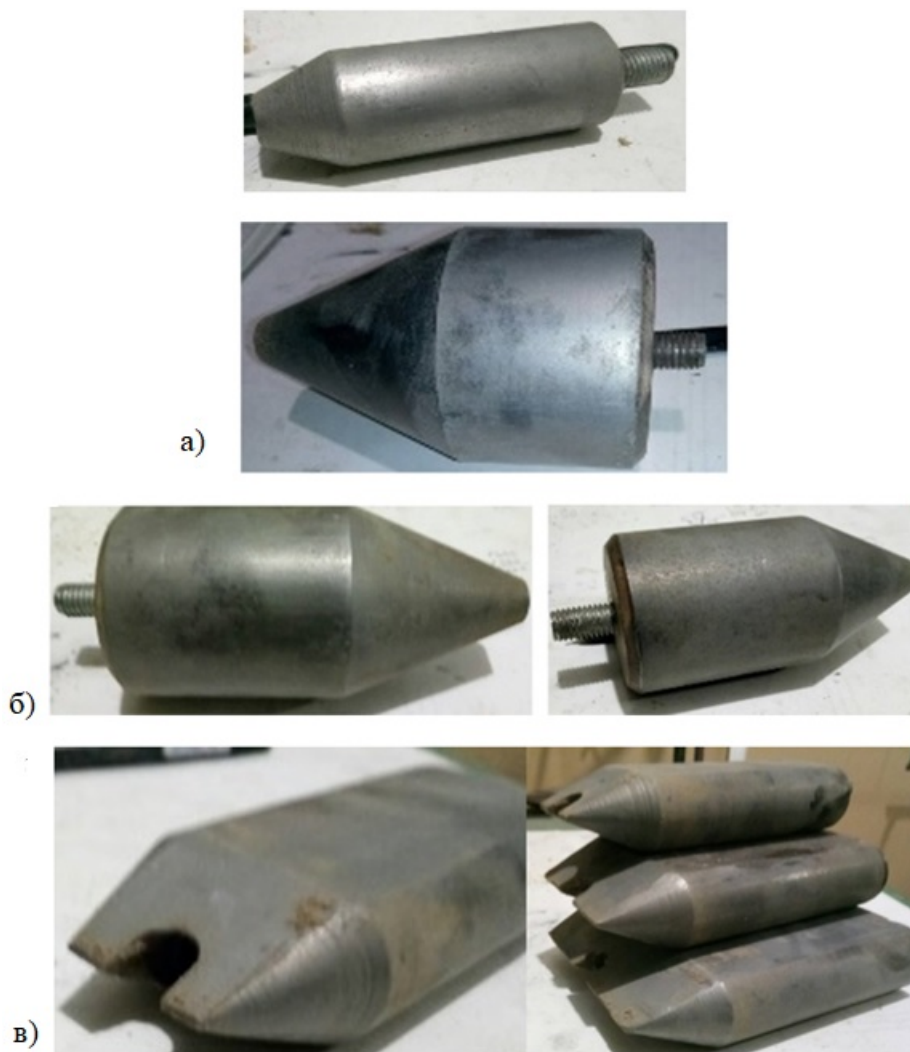


Рисунок 3.3 – Робочі органи для лабораторних досліджень:

а) – пілотний конусний РО; б) – традиційні конічно-циліндричні РО;

в) – клиново-призматичні РО

Об'єктами експериментальних досліджень були наконечники РО для утворювання ТПГ методами статичного проколу, шляхом поступового розширення ТПГ до потрібного розміру, а також ґрунтове середовище, яке визначає умови експлуатації ґрунтопроколюючих установок.

Для проведення лабораторних експериментів ґрунтовий фон був змодельований та складався з 8 частин річкового піску та 2 частин супіску.

В процесі проведення експериментів, ґрунт був зданий на дослідження, для визначення його фізико-механічних характеристик, до лабораторії ТОВ "ДНПРОГЕОАЛЬЯНС", яка займається питаннями інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування. Результати проведеного аналізу ґрунтів приведені в додатку А.

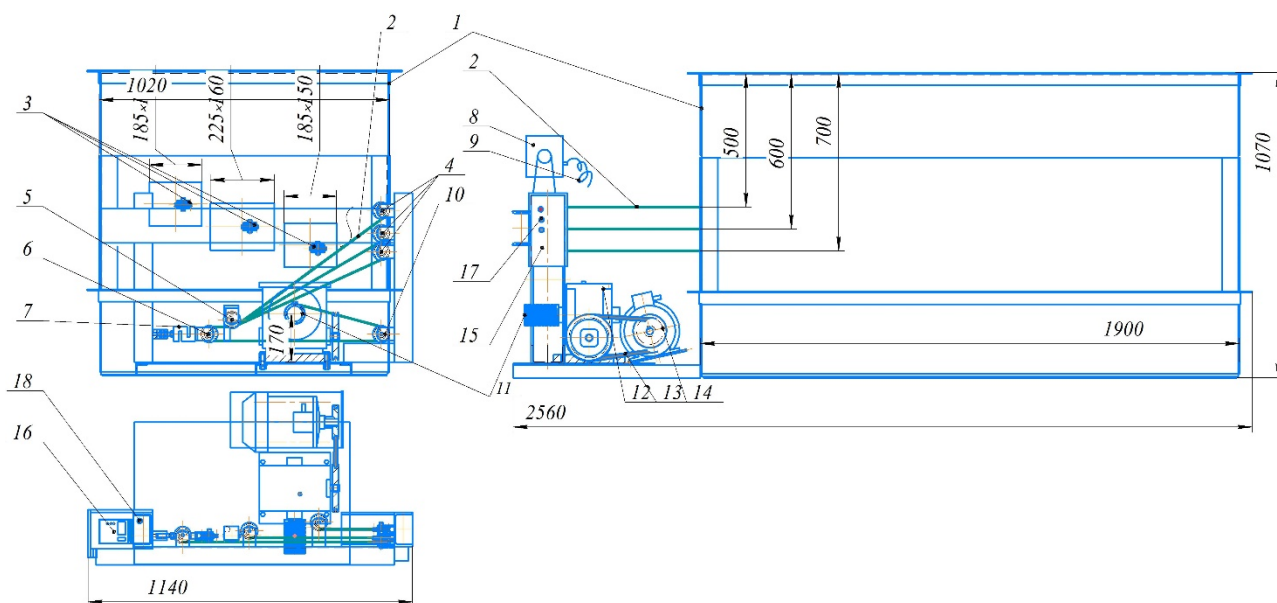


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд лабораторного стенда: 1 – короб; 2 – робочі канати; 3, 4, 5, 6, 10 – блоки, що відхиляють; 7 – силовий тензOMETричний датчик; 8 – ваговий термінал; 9 – лінія числового зв'язку з ПК; 11 – канатний барабан; 12 – редуктор; 13 – клинопасова передача; 14 – електродвигун; 15 – магнітний пускач; 16 – частотний перетворювач; 17 – резистор керування частотним перетворювачем; 18 – розетка живлення вагового терміналу та ПК

Ознакою технології статичного проколу ґрунту є створення зусилля, яке передається на наконечник РО для взаємодії з ґрунтом при цьому ґрунт, що витіснений РО втрамбується в стінки створеного ТПГ. Зважаючи на те, що натискні зусилля передати на наконечник РО важко, а у виробничих умовах дуже дорого і майже неможливо, приймаємо рішення отримувати пілотну ТПГ методом протягування стартового конусно-циліндричного РО.

З урахуванням вимог до розмірів обладнання, для проведення експериментальних досліджень, використано стенд (рис. 3.4), який виконує наступні функції:

- забезпечувати початкове впровадження пілотного РО у масив ґрунту;
- забезпечувати постійне тягове зусилля;
- забезпечувати сталу контрольовану швидкість проколювання, з можливістю її зміни.

Таблиця 3.4 – Характеристика моделі ґрунту сформованого для лабораторних дослідів (результати дослідження ТОВ "ДНІПРОГЕОАЛЬЯНС")

Фізико-механічні характеристики ґрунту	Ґрунт в лабораторії
Параметр / одиниця	
Тип	піщаний ґрунт
Природна вологість, ω , %	6,3
Щільність твердої фази ґрунту, $\rho_{тв}$, т/м ³	2,66
Щільність ґрунту в природному стані, $\rho_{пр}$, т/м ³	1,79
Коефіцієнт питомого зчеплення, c , МПа	0,0
Кут внутрішнього тертя, φ_0 , град.	39
Кут зовнішнього тертя φ , град	42
Коефіцієнт тертя ґрунту по РО (сталі) f	0,607
Питома вага у природному стані ґрунту, $\gamma_{зр}$ кН/м ³	17,9
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,3
Коефіцієнт компресії, c_k , МПа ⁻¹	0,082
Компресійний модуль, $E_{зр}$, МПа	14,519
Кількість ударів щільноміра, $C_{уд}$,	1-3

Розроблено і створено стенд для дослідження процесу проколювання (рис. 3.4). Вона складається з короба 1, в якому виконано по три люки симетрично розташовані розміром 150-200 мм. Короб заповнений ґрунтовою сумішшю (таблиця 3.4.). Перед коробом розташовано механізм приводу, що складається з редуктора 2, барабану, електроприводу 3, на барабані закріплений канат 5, який через

систему блоків, що відхиляють, 4 зв'язаний з робочими органами. Швидкість переміщення контролюється за допомогою частотного перетворювача з векторним керуванням ПЧ CFM310- 4 кВт (рис. 3.5).

Ваговий термінал (рис. 3.6) типу ХК3118Т1 призначений для перетворення сигналу від аналогових тензодатчиків (рис. 3.7) і перетворення в одиниці ваги (кг або фунти) та аналоговий сигнал на цифровий перетворювач RS-232. Індикація ваги здійснюється на 6-ти розрядному світлодіодному дисплеї. Термінал призначений для роботи з промисловими вагами різних типів. Сигнал з цифрового перетворювача записується на персональний комп'ютер для подальшої обробки даних.

Основні технічні характеристики лабораторного стенда приведені в таблиці 3.5, фізико-механічні властивості ґрунту приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика лабораторного стенда

Пор. №	Параметр	Розмірність	Значення
1	Довжина робочого ходу	мм	2000
2	Робоча швидкість каната	мм/с	0-150
3	Сила тяги, максимальна (обмежена міцністю канату)	Н	6500
4	Кількість робочих вікон	шт	3
3	Габарити вікна (висота/ширина)	мм/мм	150/200
5	Ваговий термінал типу ХК3118Т1	-	6-ти розрядний
6	Тензодатчик		Keli DEF 750
7	Діапазон зусиль, що вимірюються	Н	0-6000
8	Потужність приводу	кВт	0,75
9	Редуктор черв'ячний, 1Ч-80		1:40
10	Цифровий вологомір ґрунту Rapitest 1825, (діапазон/ціна поділки)	%/%	0-30/ 0,1
11	Габарити коробка: довжина	мм	2000
	ширина	мм	1000
	висота	мм	1000

Замір та реєстрація сил опору проколювання ґрунту РО стенда здійснюється шляхом вимірювання натягу каната у двох гілках по схемі зображеній на рис. 3.9.. Фіксація сили ваговим комплексом Keli XK3118T1, (див. рис. 3.4, 3.6 - 3,8). Принцип дії тензометричного перетворювача базується на зміні опору тензорезисторів при їх деформації, наклеєних до пружного елементу S-подібного тензодатчика Keli DEF 750 (рис. 3.7), який деформується під навантаженням, що стискає, або розтягує. Зміна опору тензорезисторів пропорційна зміні сили прикладеної до нього.

На рис. 3.8. представлений механізм приводу канатного барабана з електродвигуном, редуктором, рамою, барабаном, блоками, що відхиляють.

Перед початком кожної серії експериментів виконуємо підготовку стенда. Ґрунт викопується з коробу, розпушується і зволожується до необхідних параметрів. Далі виконується пошарове зворотнє засипання ґрунту в короб, з послідовним втрамбовуванням кожного шару та контролем щільності щільноміром ДорнДІ.



Рисунок 3.5 – Частотний перетворювач ПЧ CFM310-4 кВт



Рисунок 3.6 – Ваговий термінал типу ХК3118Т1



Рисунок 3.7 – Тензодатчик Keli DEF 750

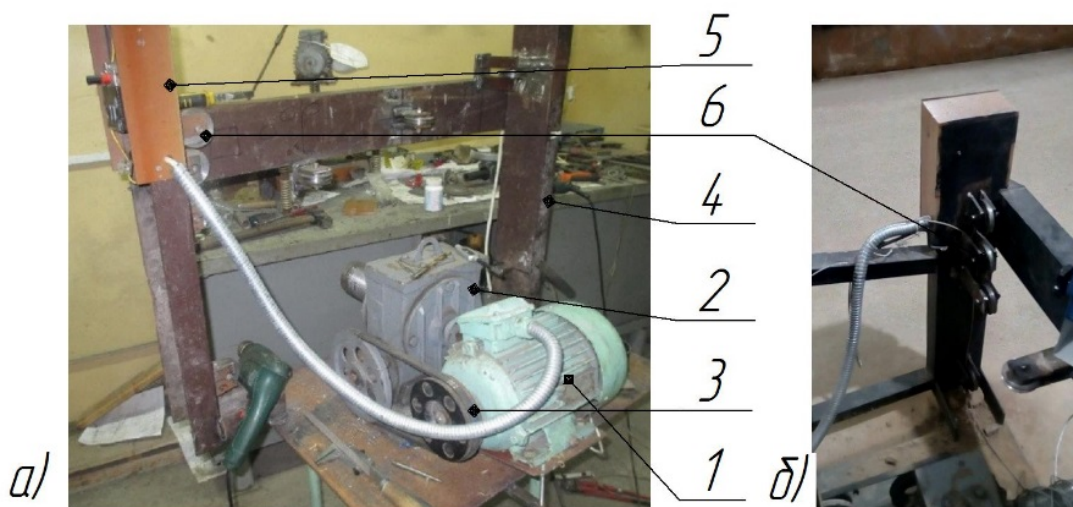


Рисунок 3.8 – Механізм приводу канатного барабана лабораторного стенда:
 а) – привід канатного барабана; б) – блоки, що відхиляють: 1 – електродвигун; 2 – редуктор з барабаном тяговим; 3 – пасова передача; 4 – рама зварна; 5 – пульт керування електродвигуном; 6 – блоки, що відхиляють

Дійшовши до осі майбутнього ТПГ (одне з трьох вікон стенда) закладаємо канат, діаметром 4,5 мм, між двома отворами паралельно боковим стінкам та основі короба (рис. 3.4), далі засипаємо його ґрунтом по 100-120 мм за один прохід ущільнюємо його ручною трамбівкою. Вологоміром (рис. 3.10) вимірюємо вологість ґрунту поблизу осі майбутнього ТПГ, міцність ґрунту знаходиться в межах 25-35 ударів, перевіряємо ударником ДорНДІ (масштабна модель, рис. 3.11), міцність перевіряємо на кожному шарі ґрунту де прокладаємо канат. Після операцію повторюємо до цілковитого заповнення короба.



Рисунок 3.9 – Принципова схема вимірювального вузла



Рисунок 3.10 – Прилад для вимірювання вологи - цифровий вологомір ґрунту Rapitest 1825

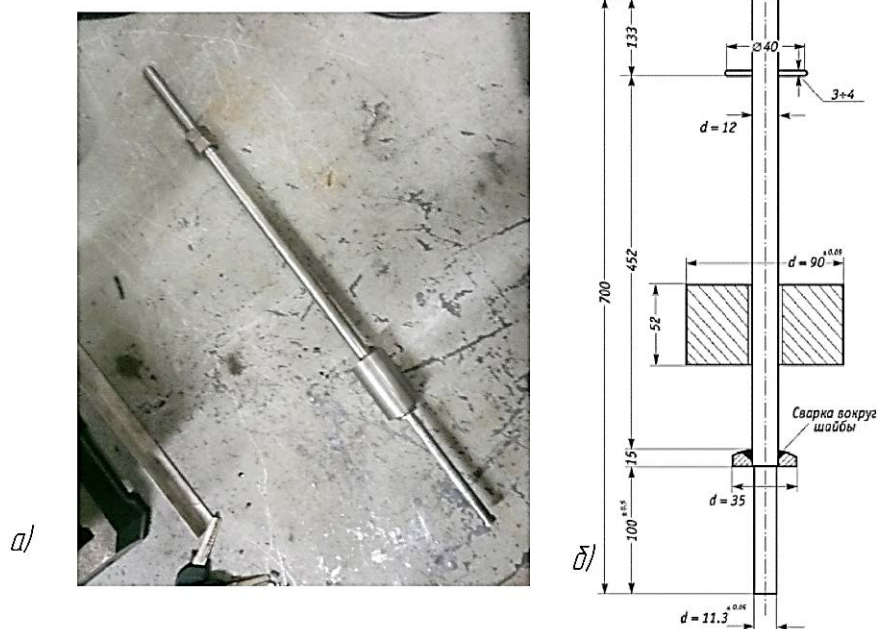


Рисунок 3.11 – Ударник ДорНДІ: а) – загальний вигляд;
б) – креслення ударника

3.3 Робоче обладнання для проведення польових досліджень

Метою польових досліджень є підтвердження отриманих теоретичних положень та лабораторних досліджень щодо підвищення ефективності клиново-призматичних РО при проколюванні ґрунту в міських умовах. Всі роботи проводимо з дотриманням правил охорони праці, пожежної безпеки та безпечної експлуатації машин [58, 111-116].

Конструкція та загальний вигляд робочої установки, що використовувалась для польових досліджень МПК-30-100 приведена на рис. 1.15 її технічні характеристики приведені в таблиці 1.1.

Зусилля проколювання ТПГ на відстань до 100 м, та проєктування обладнання (див рис. 1.15) для цього, розроблені на основі проведених нами теоретичних (розділ 2) та лабораторних досліджень (розділ 3.2.) й ґрунтуються на знаннях вихідних даних про ґрунти (див. розділ 1 та табл. 1.1).

Для проведення дослідів використовувались РО конічної (рис. 3.12) та клиново призматичної форми (рис. 3.13, 3.14.), реєстрація робочих зусиль проводиться персональним комп'ютером.

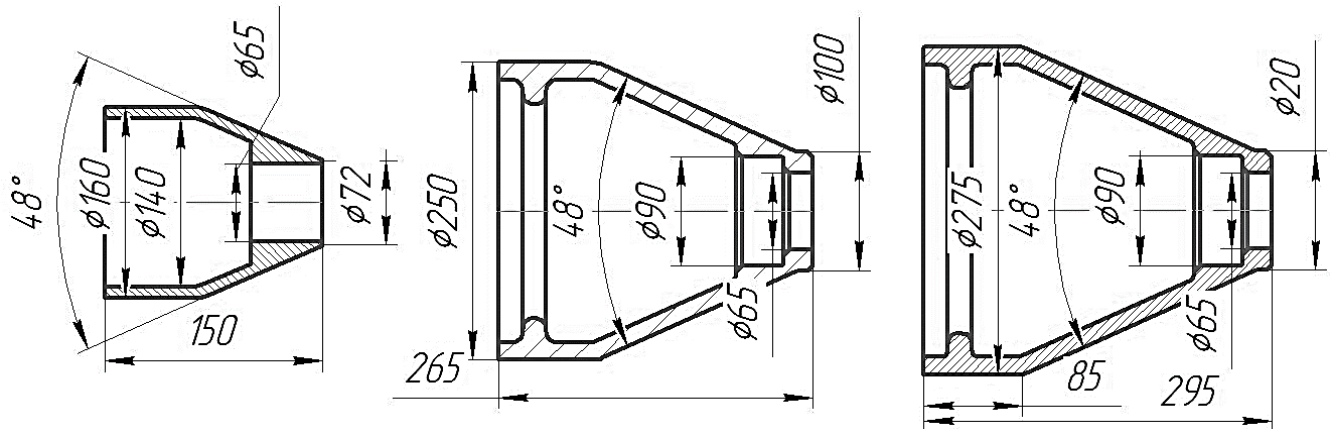


Рисунок 3.12 – Набір конічно-циліндричних РО для поступового розширення ТПГ при прокладанні 3 футлярів розміром 90 мм

Експеримент проводився в звичайних умовах міської забудови, м. Дніпро, вул. Володимира Антоновича між будинками 24-40, при спорудженні переходів під асфальтованими дорогами та проїздами у двори будинків. Оскільки по проєкту потрібно спорудити по 2 переходи під 3 футляри (гофрована захисна пластикова труба – кабель-канал [69]) розміром 90 мм кожний на відстані 1 м один від одного

для основних та резервних силових кабелів. Умови виконання переходу однакові, виконані впродовж одного робочого дня, без використання бурових розчинів.

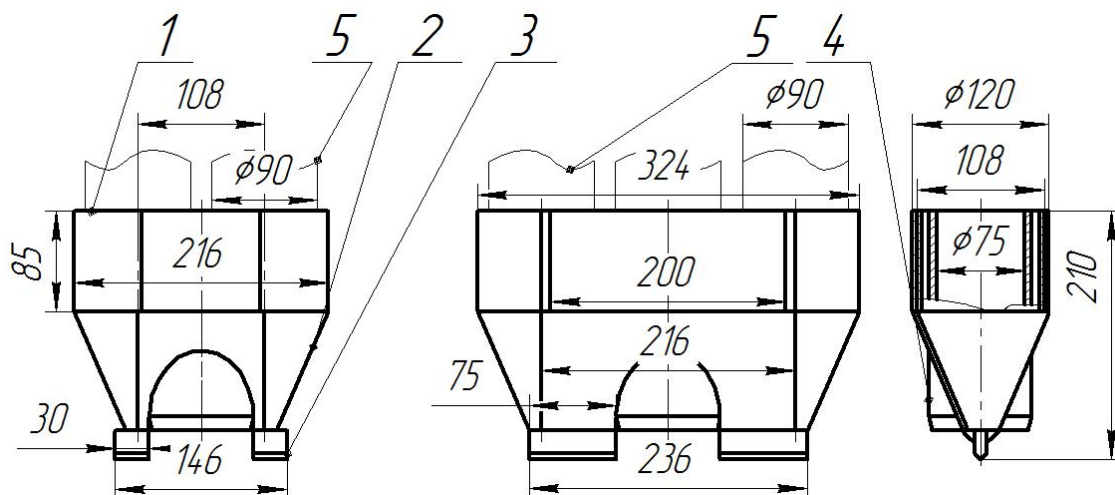


Рисунок 3.13 – Набір клиново-призматичних РО для поступового розширення ТПІ при прокладанні 3 футлярів розміром 90 мм: 1 – призматична направляюча з напів-циліндричними бічними поверхнями; 2 – конічна частина; 3 – спрямовуючий ніж; 4 – напірний патрубок



Рисунок 3.14 – Клиново-призматичні РО для 2 та 3 футлярів діаметром 90 мм, фото

Для виконання роботи використали спроектовану та виготовлену нами установку МПК-30-100 (на замовлення фірми ТОВ «БМК СІНЕРГІЯ») рис. 3.16. Пілотне кероване буріння виконуємо пілотним буром косим наконечником з великим кутом загострення для твердих ґрунтів рис. 3.15, керування відбувається за рахунок комплекту локаційної системи DigiTrakMark III рис. 3.17. шляхом поєднання прямолінійного руху штанг, за рахунок гідроциліндрів установки, та їх обертання, за рахунок редуктора з гідромотором.



Рисунок 3.15 – Косий наконечник з великим кутом загострення (близько 60 град) для твердих суглинкових та супісчаних ґрунтів, фото

Для спостереження траєкторії переміщення пілота використовуємо локатор, що переміщується вздовж лінії проколу нанесеній на поверхні ґрунту, та повторювач, що знаходиться перед оператором, при цьому зонд встановлений в пілот генерує сигнал про своє положення в просторі (рис. 3.17). В разі корекції траєкторії зупиняють рух вперед, обертаючи вибирають напрямок корекції, далі виконавши вдавлювання РО на відстань 200-300 мм виконують прокручування пілотного бура. Операцію повротюють декілька разів до отримання необхідного результату. Після виходу на денну поверхню приймального приймку пілот замінюють на розширювач, і послідовно нагвинчуючи на кінець бурового ставу штанги виконують перше розширення. Операцію виконують необхідну кількість разів. Останнім проходом закріплюють футляри та протягують їх в ТПГ.

Персональний комп'ютер

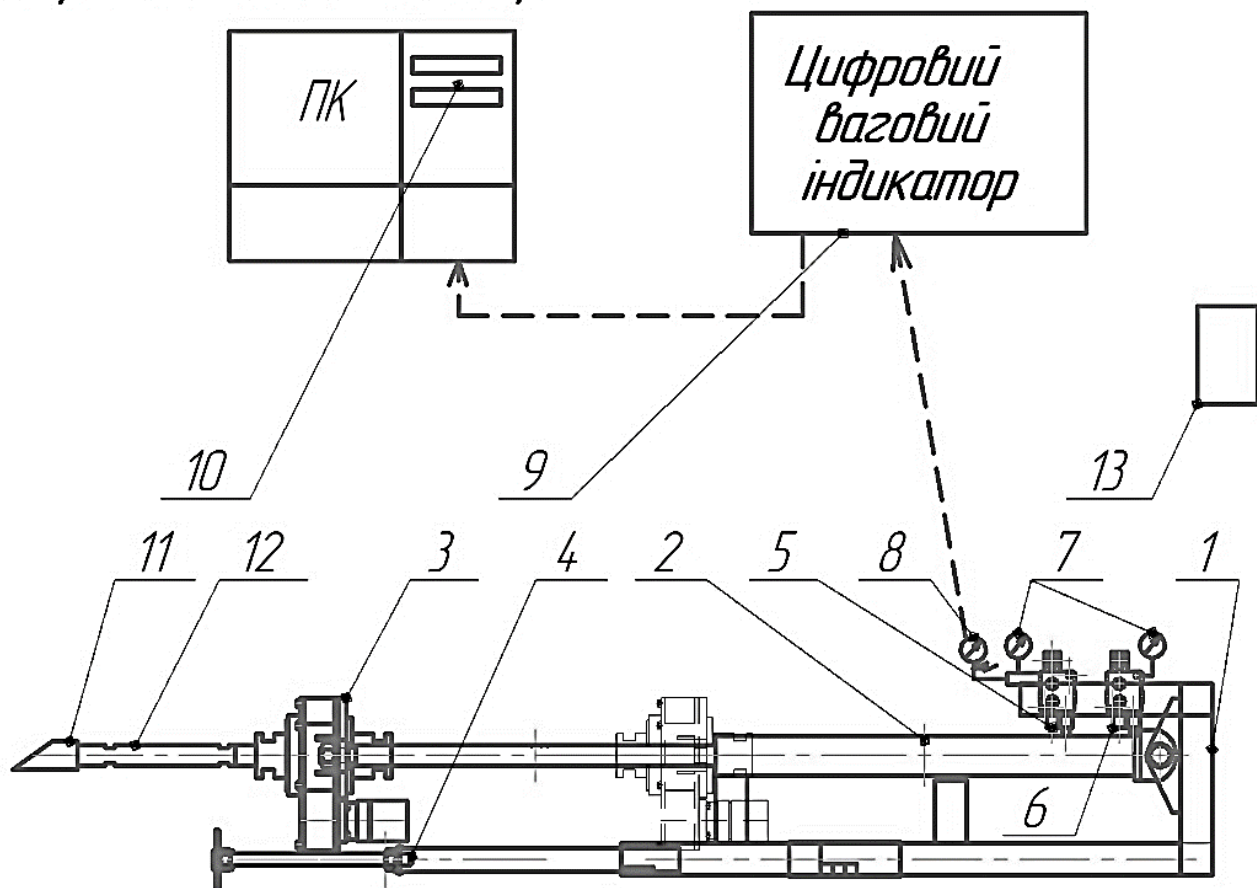


Рисунок 3.16 – Розташування обладнання для проведення польових досліджень:
 1 – рама силової установки; 2 – силові гідроциліндри; 3 – редуктор для створення крутного моменту на робочих штангах; 4 – подовжуюча рама з регульованими упорами; 5, 6 – гідророзподільники з запобіжними клапанами; 7 – манометри; 8 – п'єзоелектричний датчик тиску; 9 – перетворювач тиску ЕСО-1; 10 – персональний комп'ютер з програмним забезпеченням; 11 – пілотний бур; 12 – косий наконечник з великим кутом загострення; 13 – повторювач сигналу локаційної системи

Реєстрація тиску робочої рідини виконувалась перетворювачем тиску ЕСО-1 (рис. 3.18). Запис даних, що надходять через спеціальний шлейф від датчика тиску до перетворювача та реєструючого комплексу з аналого-цифровим перетворювачем ЕРА100 (далі АЦП), ноутбука з встановленим на ньому програмним забезпеченням і джерела живлення. Паралельно стоїть манометр, що дає можливість опосередкованої оцінки робочих зусиль в польових умовах.



Рисунок 3.17 – Загальний комплект локаційної системи DigiTrakMark III:
а) – локаційна система, б) – повторювач сигналу, в) – зонд використовується в залежності від глибини прокладання пілотного отвору та типу ґрунту на поверхні

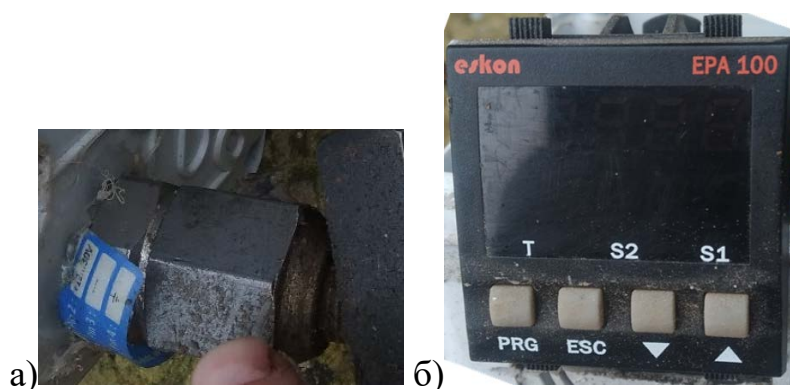


Рисунок 3.18 – Комплекс реєстрування тиску з цифровим перетворювачем ECO-1:
а) – датчик тиску; б) – аналого-цифровий перетворювач, фото

Для адекватності роботи приладів та реєструвальної апаратури проводимо тарування елементів вимірювальної системи, параметри заносимо в програмне забезпечення АСП, остаточні результати отримуємо в зручній табличній формі та проводимо обробку масиву даних. Робота приладів та вимірювальних датчиків в складних погодних умовах вносить певні похибки в вимірювання, похибки змінюються з плином часу та зміною умов їх враховуємо при розрахунку сумарної середньоквадратичної похибки каналу [44, 47]. Дані вносимо до програмного забезпечення для автоматичного корегування результатів.

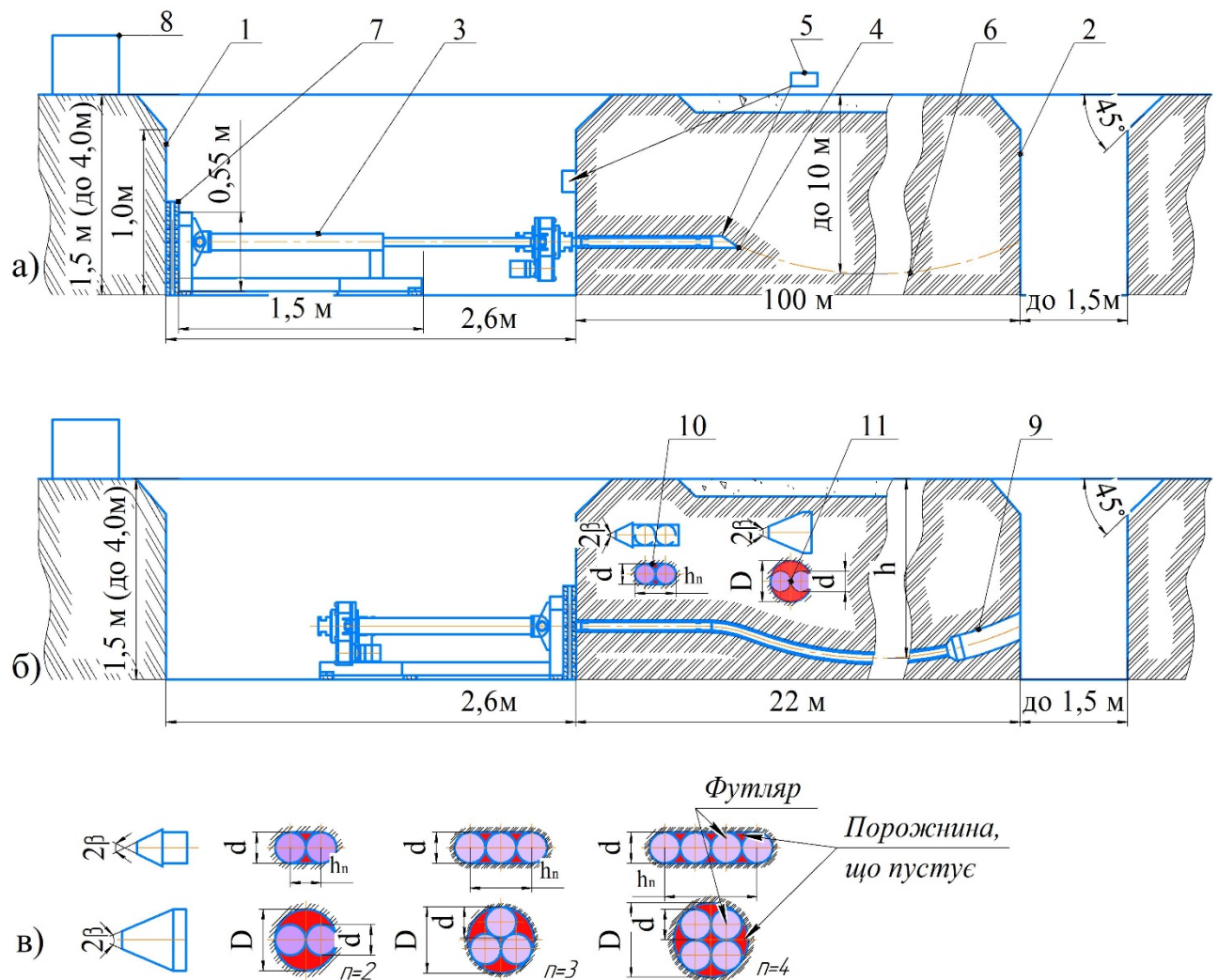


Рисунок 3.19 – Застосування машин МПК-30-100 при спорудженні ТПГ під дорогою шириною 20 м: а) – положення установки та допоміжного обладнання при пілотному проході; б) – положення установки та РО при поетапному розширенні ТПГ; в) – форма РО та розташування футлярів в отриманому ТПГ: 1 – робочий прямок; 2 – приймальний прямок; 3 – установка керованого статичного проколу ґрунту МПК-30-100; 4 – пілотна проколююча голівка; 5 – локаційна система; 6 – траєкторія прокладання ТПГ; 7 – упорна площадка; 8 – двонасосна гідростанція; 9 – розширена ТПГ; 10 – клиново-призматичний РО; 11 – конічно-циліндричний РО

Середньоквадратична похибка (далі СКВ) каналу розраховується за формулою

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{\text{АЦП}}^2 + \sigma_{\text{ПД}}^2 + \sigma_{\Gamma}^2}, \quad (3.8)$$

де $\sigma_{\text{АЦП}}$ – СКВ похибка АЦП (паспортні дані);

$\sigma_{\text{ПД}}$ – СКВ похибка перетворювача тиску (паспортні дані);

σ_{Γ} – СКВ коефіцієнта градування.

СКВ похибка градування за формулою

$$\sigma_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\sum \Delta P_i^2}{(n-1) \sum Y_i^2}}, \quad (3.9)$$

$$\Delta P_i = P_i - K_{\Gamma} Y_i, \quad (3.10)$$

де P_i – контрольний тиск;

Y_i – числове значення діапазону, в який потрапляє вимірюваний сигнал;

n – кількість експериментальних даних.

В результаті проведених розрахунків були отримано СКВ= 2,56.

З огляду на те, що похибка каналу низька, не перевищує значення 5%, що є допустимим, а точність виміру є достатньою, що задовольняє наші вимоги.

Взаємозв'язок тиску рідини та зусилля, що розвивається установкою за формулою

$$P = \frac{\pi D_{\text{п}}^2 p_{\text{гс}} z}{4000}, \quad (3.11)$$

де $D_{\text{п}}$ – діаметр поршня гідроциліндра, мм;

$p_{\text{гс}}$ – тиск в гідросистемі, МПа;

z – кількість гідроциліндрів.

Таким чином, за показниками манометра поз. 7 (при виконання дослідів манометр дубльовано через розгалужуючий трійник перетворювачем тиску ЕСО-1), вбудованого в гідравлічну систему (див рис. 3.16) і запропонованим графіком можна оперативно визначати зусилля (при експериментах програма автоматично перераховувала тиск в силу і транслювала значення на аналого-цифровому перетворювачі ЕРА100і записувала в таблицю), що виникають на робочому органі ґрунтопроколюючої установки при проведенні експериментів (див. рис. 3.16).

Тип ґрунту та його фізико-механічних властивості зазначені в проєкті виконання робіт, експрес-аналізом визначили вологість та категорія в польових умовах за методикою А. Н. Зеленіна динамічним щільноміром ДорНДІ, значення записуємо в таблиці (табл. 3.6), або заносимо до програм визначення робочих сил відповідно до рекомендацій [72, 89]..

Схема проведення експерименту з використанням машин для проколювання ТПГ, клиново-призматичних РО та їх елементів для проведення інженерних розрахунків взаємодії наконечників з ґрунтом приведені на рис. 3.19.

Таблиця 3.6 – Характеристика ґрунту на місці проведення експерименту

Тип ґрунту/ параметр	Твердий супісок
1	2
Визначені характеристики	
Кількість ударів C_0	3
Категорія ґрунту за методикою А. Н. Зеленіна	1
Природна вологість, ω , %	13,2
Прийняті табличні значення	
Щільність твердої фази ґрунту, $\rho_{тв}$, т/м ³	2,7
Щільність ґрунту в природному стані, $\rho_{пр}$, т/м ³	2,05
Коефіцієнт зчеплення, c , МПа	0,02
Кут внутрішнього тертя, φ_0 , град.	28
Кут зовнішнього тертя φ , град	25

Продовження таблиці 3.6

1	2
Коефіцієнт тертя ґрунту по РО (сталі), f	0,532
Питома вага у природному стані ґрунту, γ_{cp} кН/м ³	20,5
Несуча спроможність ґрунту, $q_{кр}$, МПа	0,37
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,344
Коефіцієнт компресії, c_k , МПа ⁻¹	1,08
Компресійний модуль, E_{cp} , МПа	1,39
Модуль загальної деформації, E , МПа	1,0
Модуль об'ємної деформації, E_v , МПа	0,95

3.4 Результати експериментальних лабораторних досліджень

Для перевірки гіпотез описаних в розділі 2 визначимо зусилля проколювання РО теоретичні та практичні на основі лабораторного експерименту. При проколюванні ґрунту клиново-призматичними або конічно-циліндричними наконечниками результати, масив чисел, заносимо в таблиці (табл. 3.2). Проведемо серію експериментів з шістнадцяти досліджень. При цьому комбінуємо протягування одного отвору конусним наконечником, а іншого клиново-призматичним або навпаки.

Отримані масиви чисел перевіримо на наявність грубих промахів, які пов'язані з нестабільністю ущільнення ґрунту, та неоднорідністю самого ґрунту й середнє значення занесемо до таблиць Додатку Б.

На основі таблиць (Додаток Б, таблиці Б.1-Б.6) результатами побудуємо: графіки (рис. 3.20-3.32) порівняння, теоретичного та практичного значення сумарного опору розширення ТПГ клиново-призматичним РО від розташування та кількості футлярів комунікації, що прокладаються одночасно, рис. 3.20, 3.24, 3.28; графіки порівняння, теоретичного та практичного значення сумарного опору розширення ТПГ конічно-циліндричним РО від розташування та кількості футлярів комунікації, що прокладаються одночасно, рис. 3.21, 3.25, 3.29; графіки порівняння теоретичного

та практичного значення залежності сумарного опору розширення ТПІ клиново-призматичного та конічно-циліндричного РО від глибини розташування та вологості, при прокладанні 2 футлярів комунікацій, що прокладаються одночасно рис. 3.22, 3.26, 3.30, графіки порівняння теоретичного значення сумарного опору проколювання ТПІ клиново-призматичним та конічно-циліндричним РО від розташування та кількості футлярів комунікації, що прокладаються одночасно рис. 3.23, 3.27, 3.31,

Побудуємо окремо графік залежності сумарного опору клиново-призматичного наконечника від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м (рис. 3.22), для комунікацій, що прокладаються на глибині 0,6 м (рис. 3.26), комунікацій, що прокладаються на глибині 0,5 м (рис. 3.30).

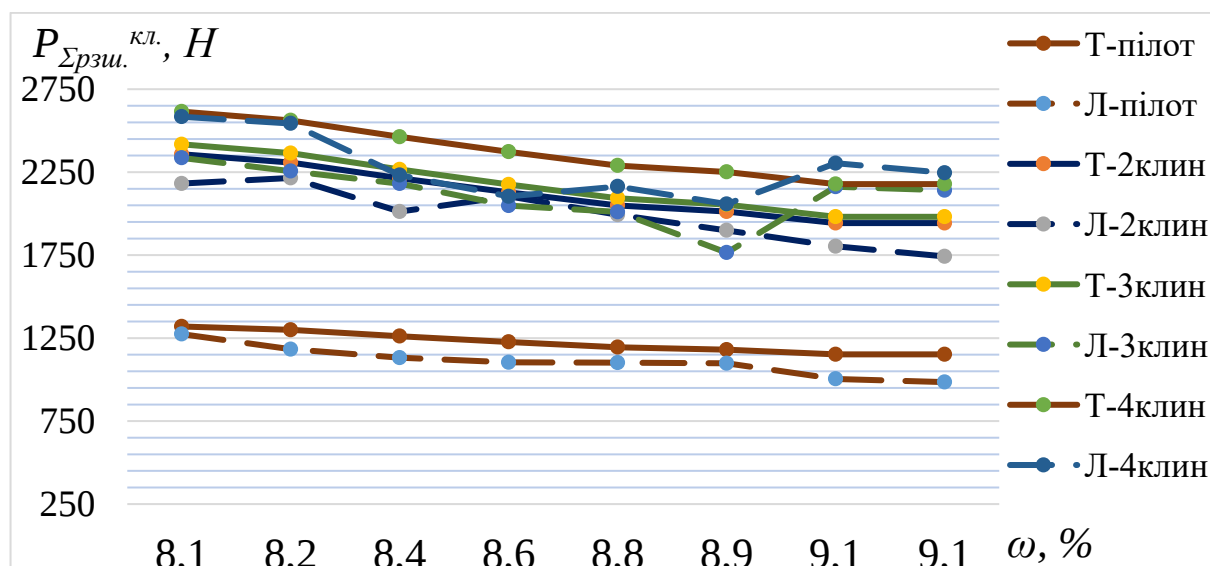


Рисунок 3.20 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ клиново-призматичним РО від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

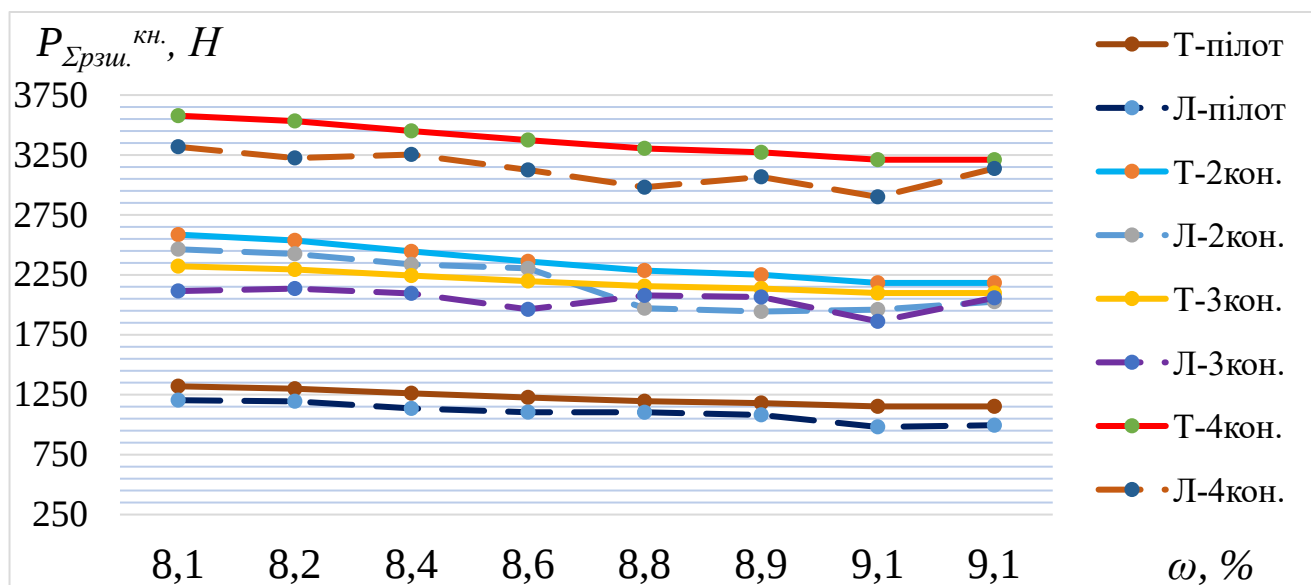


Рисунок 3.21 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ конічно-циліндричним РО, від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

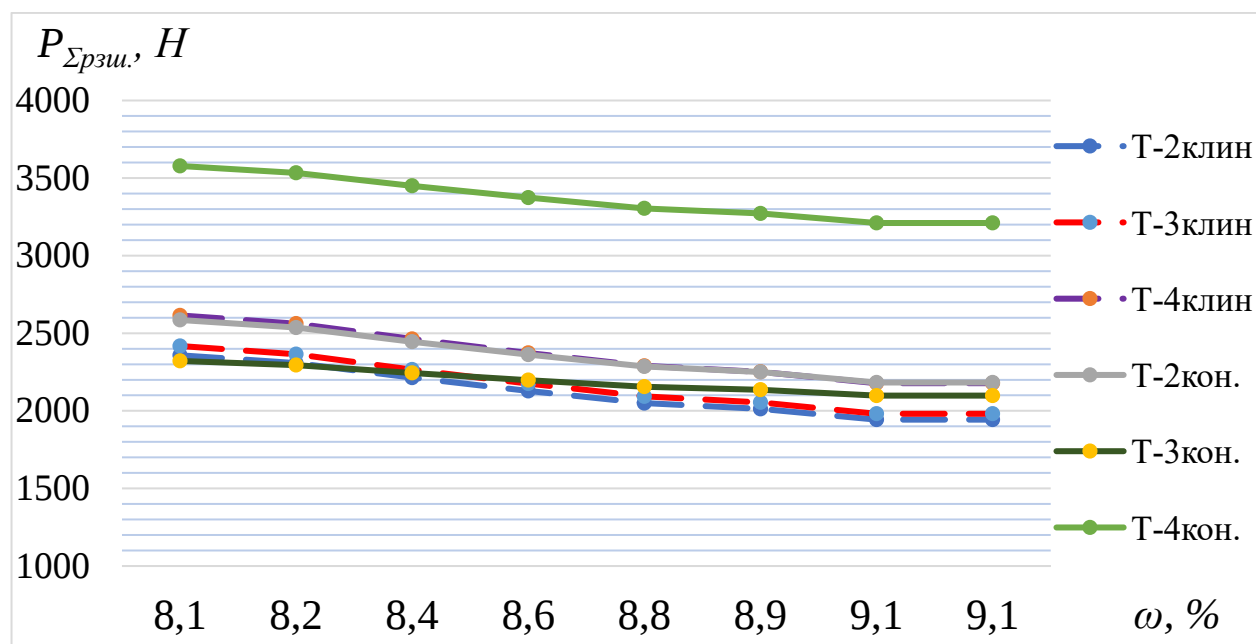


Рисунок 3.22 – Графік сумарного опору проколювання при поступовому розширенні ТПІ на глибині 0,7 м клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками, від вологості ґрунту: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

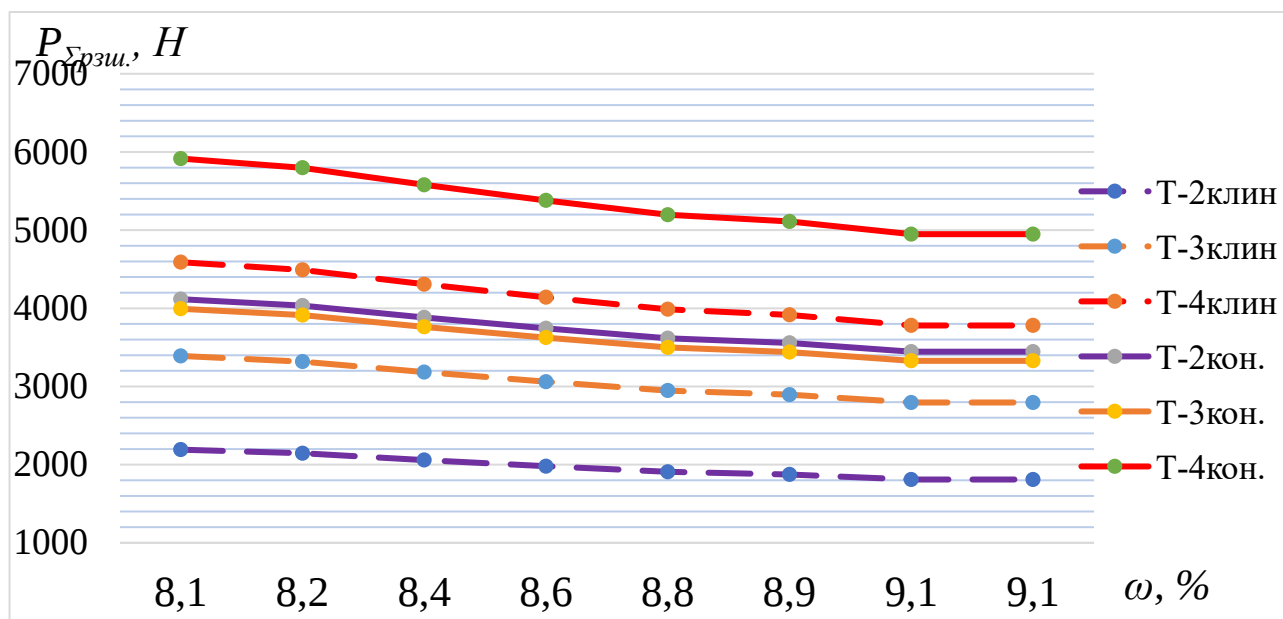


Рисунок 3.23 – Графік зміни сили проколювання клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками РО, для прокладання 2...4 футлярів на глибині 0,7 м, від кількості футлярів: Т – теоретичне значення сумарної сили; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

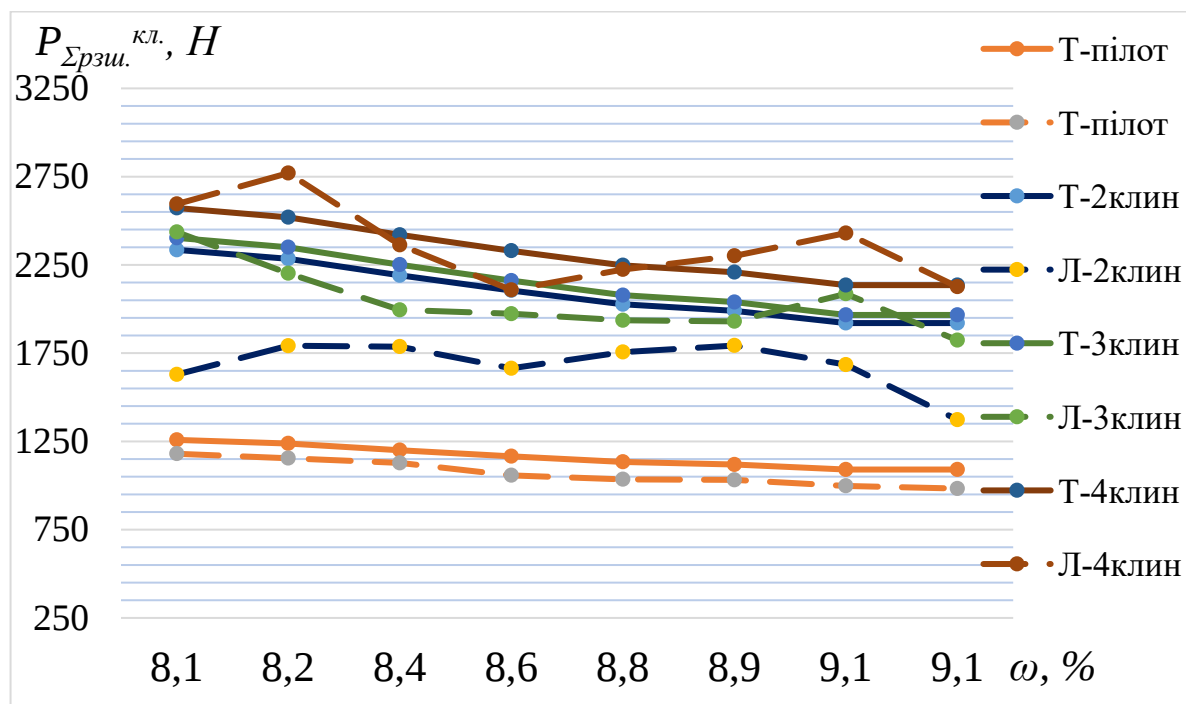


Рисунок 3.24 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ клиново-призматичним РО від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,6 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

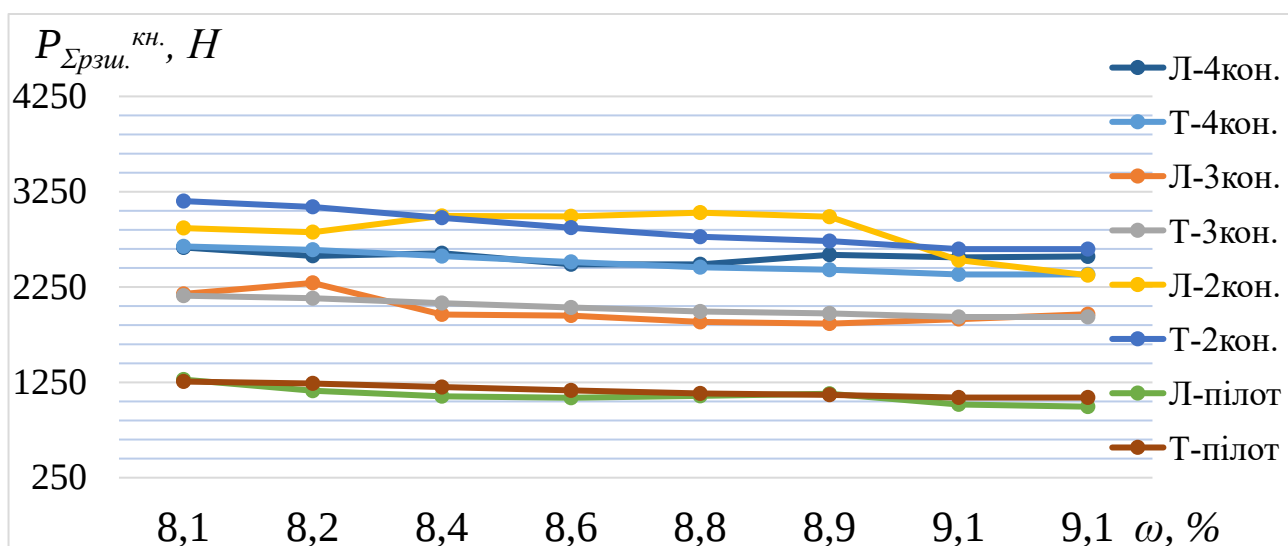


Рисунок 3.25 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПГ конічно-циліндричним РО, від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,6 м: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» – зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

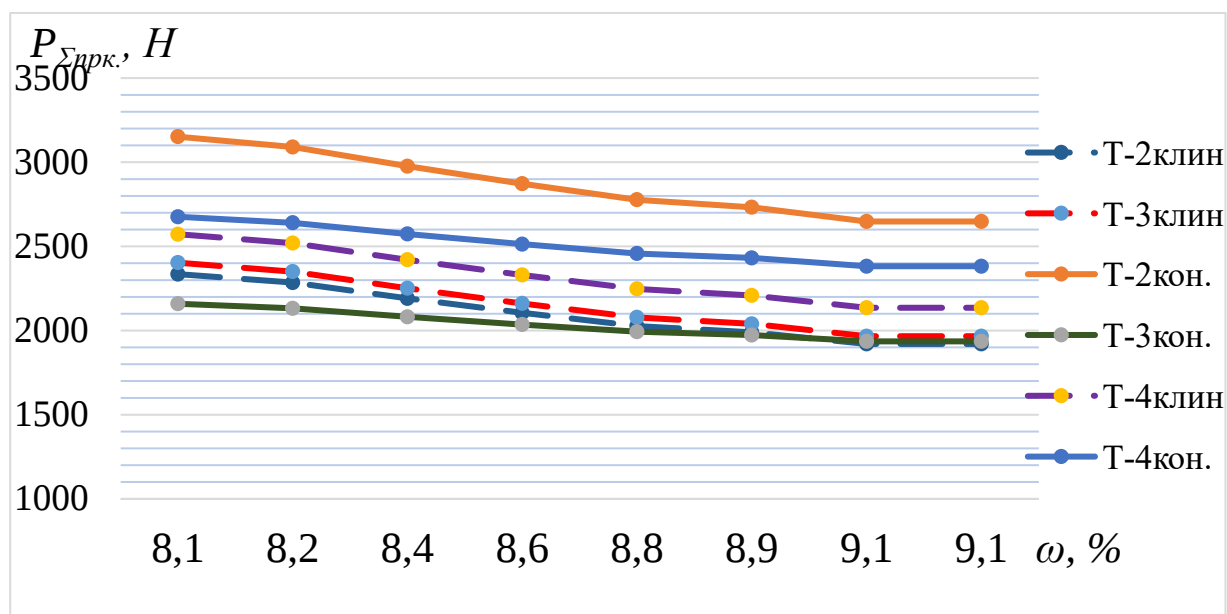


Рисунок 3.26 – Графік сумарного опору проколювання при поступовому розширенні ТПГ на глибині 0,6 м клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками, від вологості ґрунту: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

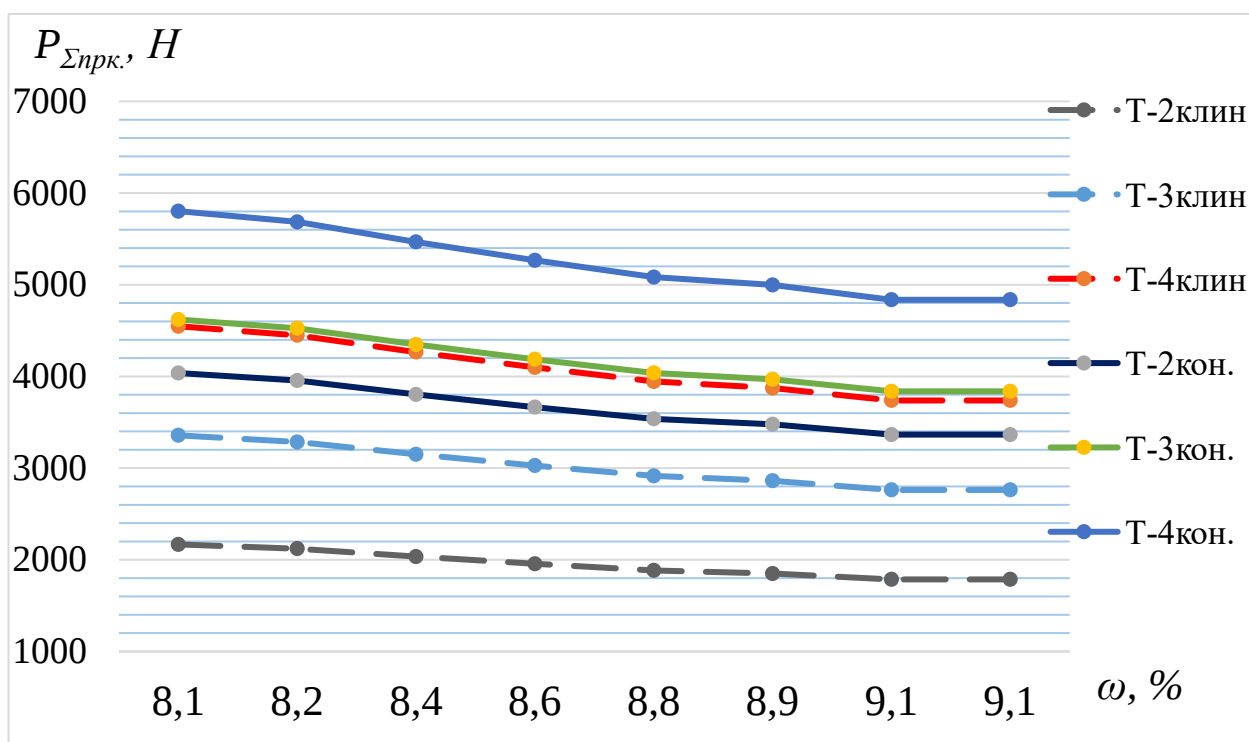


Рисунок 3.27 – Графік зміни сили проколювання клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками РО, для прокладання 2...4 футлярів на глибині 0,6 м, від кількості футлярів: Т – теоретичне значення сумарної сили; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

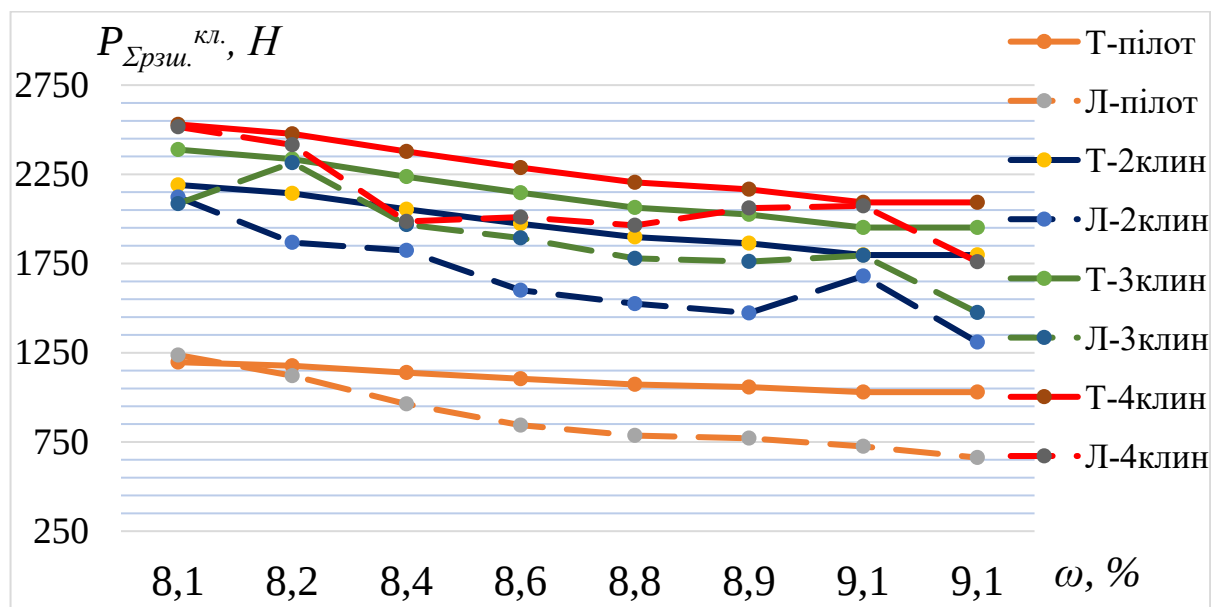


Рисунок 3.28 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ клиново-призматичним РО від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,5 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» – зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

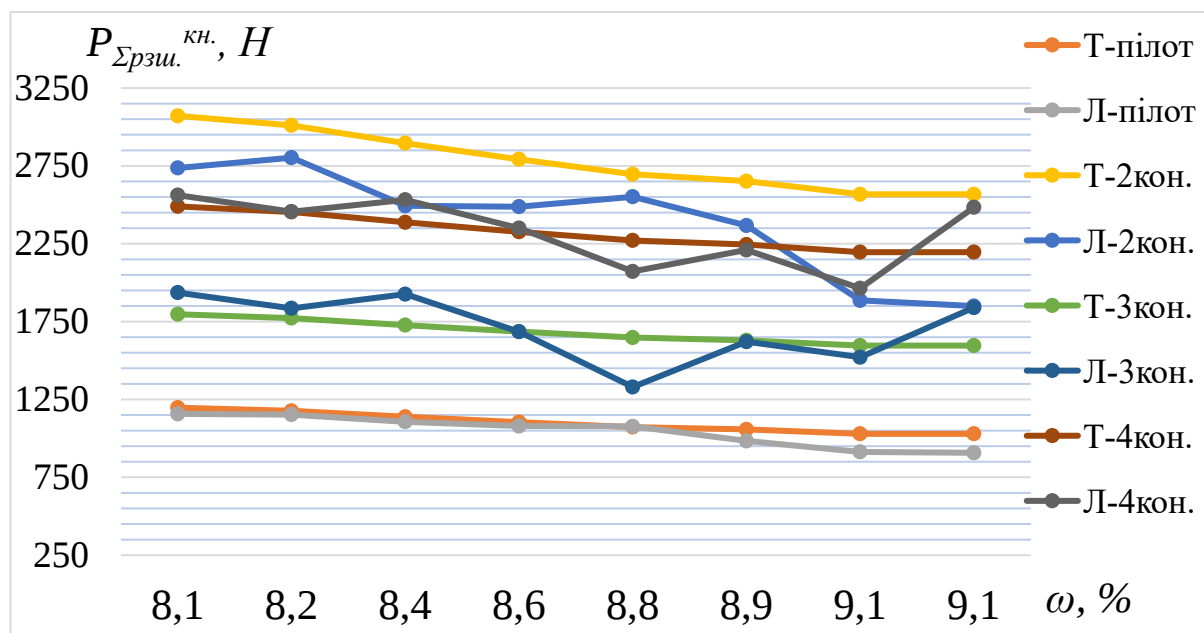


Рисунок 3.29 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПГ конічно-циліндричним РО, від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,5 м: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - зусилля протягування пілотного РО; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

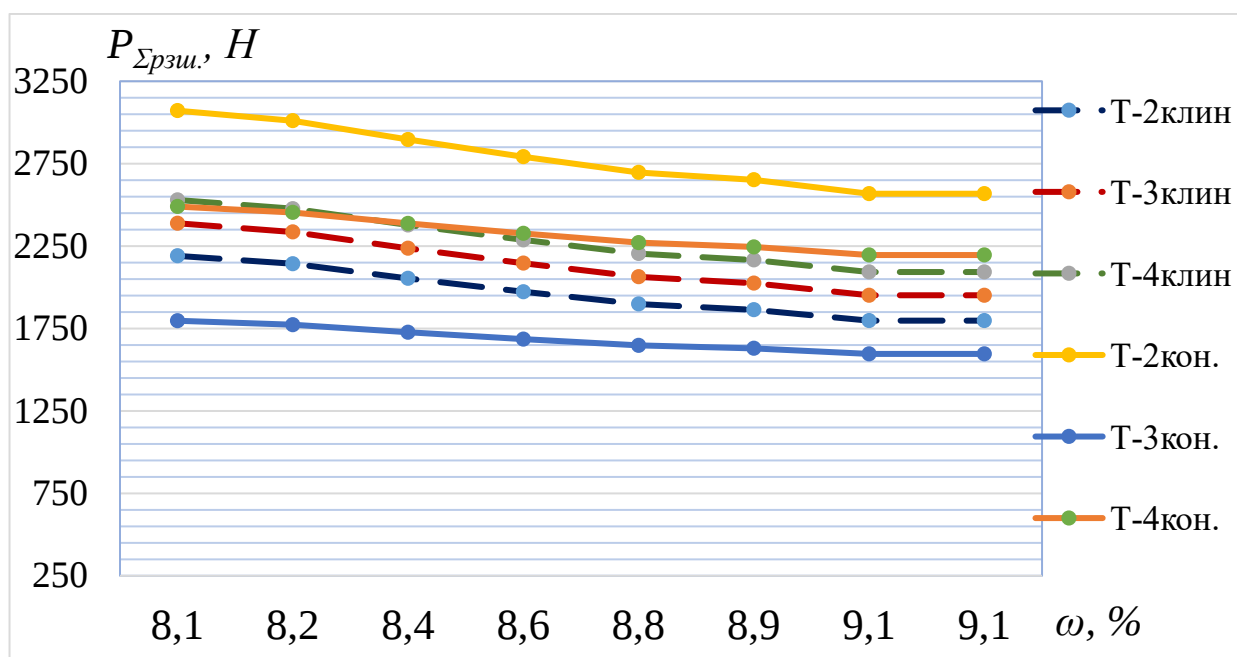


Рисунок 3.30 – Графік сумарного опору проколювання при поступовому розширенні ТПГ на глибині 0,5 м клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками, від вологості ґрунту: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

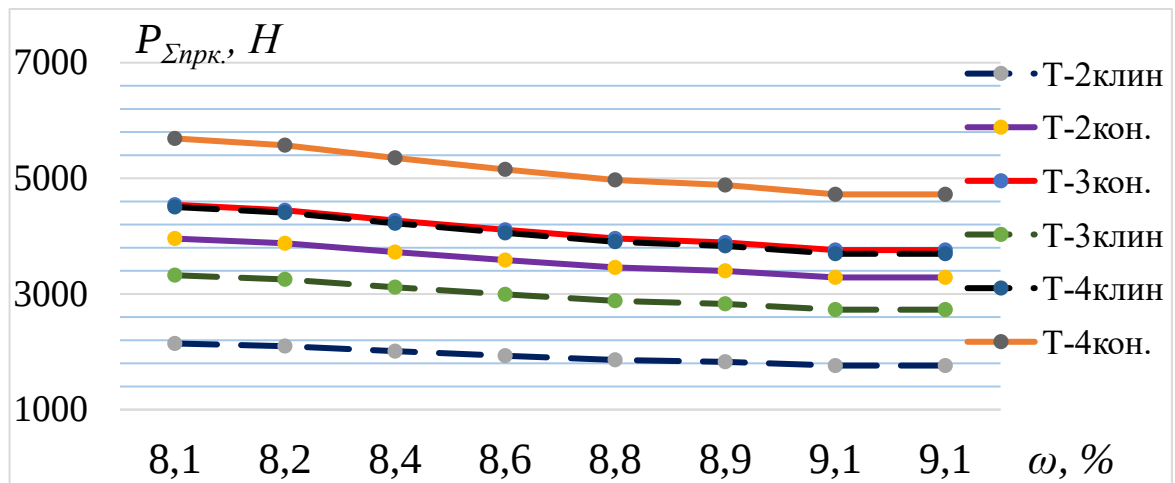


Рисунок 3.31– Графік зміни сили проколювання клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками РО, для прокладання 2...4 футлярів на глибині 0,5 м, від кількості футлярів: Т – теоретичне значення сумарної сили; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

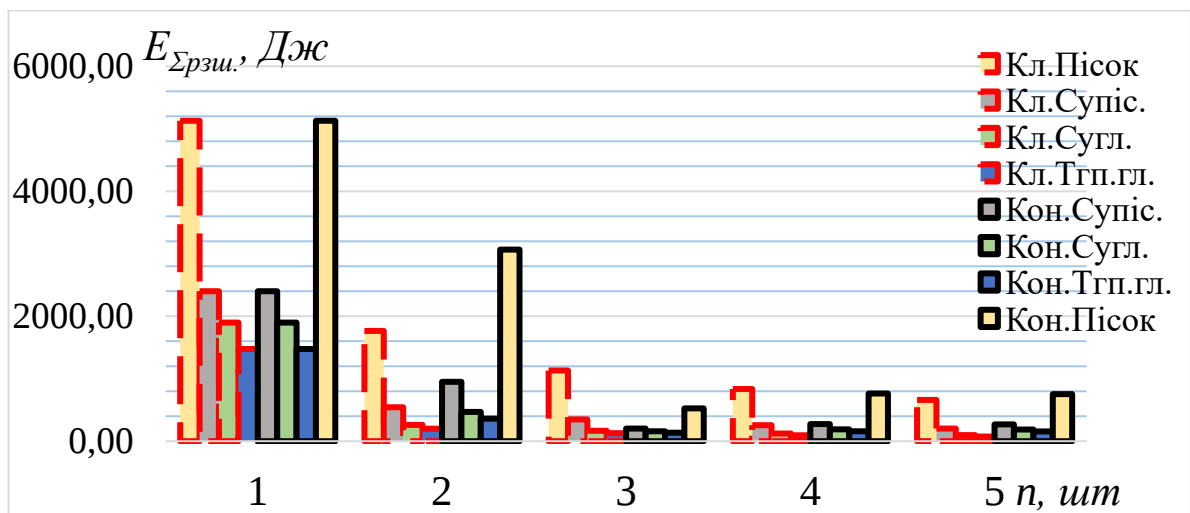


Рисунок 3.32 – Залежність зміни енергомісткості руйнування ґрунту при розширенні клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками РО приведена до кубічного метра деформованого середовища, при діаметрі футлярів 100 мм, кількості – $n=1\ldots 5$ шт, глибина прокладання комунікацій $h=1.5$ м: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок; Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок; Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

Визначивши енерговитрати на отримання ТПІ при поступовому розширенні отворів з використанням запропонованих конструкцій клиново-призматичних та традиційних конічно-циліндричних наконечників РО також показують істотне зменшення енерговитрат. Отримані графіки (див. рис. 3.32) показують істотне зменшення витраченої енергії при використанні клиново-призматичних наконечників, а також недоцільність використання способу проколу в піщаних ґрунтах оскільки енерговитрати для прокладання 2..3 футлярів в два рази вищі ніж в інших ґрунтах, а з попередніх розрахунків (2.64) зона розповсюдження надлишкових деформацій становить $a_{def} = (65,2...86,8)d$ – для піску.

3.5 Результати експериментальних польових досліджень

Метою експериментальних польових досліджень є підтвердження отриманих теоретичних та лабораторних дослідів щодо підвищення ефективності РО клиново призматичної форми в порівнянні з конічно-циліндричними.

Для цього необхідно експериментально в польових умовах встановити та зіставити з теоретичними наступні дані:

- визначити вологість ґрунту в місці проведення експерименту;
- визначити щільність ґрунту в місці проведення експерименту;
- визначити тип ґрунту в місці проведення експерименту
- прийняти з таблиць фізико-механічні характеристики ґрунту в місці проведення експерименту;
- зібрати установку МПК-30-100, встановити вимірювальні прилади та зібрати пілот з локаційним зондом;
- поетапно провести проколювання та розширення ТПІ до необхідного розміру, не менше ніж 3 проколи кожним РО;
- співставити значення та побудувати графіки.

Отримані значення виміряного тиску перетворимо в значення сили за формулою (3.11), відкинемо грубі промахи, визначимо середнє значення і заносимо до

таблиці 3.7. Окремо підставивши у формули 2.37 та 2.45 параметри ґрунту та габаритні розміри РО отримаємо теоретичні значення сили проколювання ТПГ результати заносимо до таблиці 3.8.

Таблиця 3.7. Значення зусилля розширення ТПГ в польових умовах реальними РО, глибин 2,1 м, ґрунт – твердий супісок, вологість 13,5%, к-ть ударів 3

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів	кН	Дослід			
		1	2	3	4
Вологість ґрунту, %		13,5	13,4	13,6	13,5
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	13,26	13,26	13,62	13,48
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}2.}^{\text{теор}}$	53,20	51,50	50,61	51,05
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}3.}^{\text{теор}}$	59,71	58,29	57,28	57,78
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	18,50	18,80	19,50	19,20
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}2.}^{\text{лаб.}}$	64,38	62,31	62,75	71,47
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}3.}^{\text{лаб.}}$	81,80	79,86	78,47	79,16
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	18,60	18,90	18,40	18,55
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{теор}}$	85,03	84,77	88,77	87,38
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}3.}^{\text{теор}}$	96,09	95,78	100,31	98,74
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{лаб.}}$	117,78	117,43	122,65	120,84
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{лаб.}}$	133,09	132,69	138,60	136,55

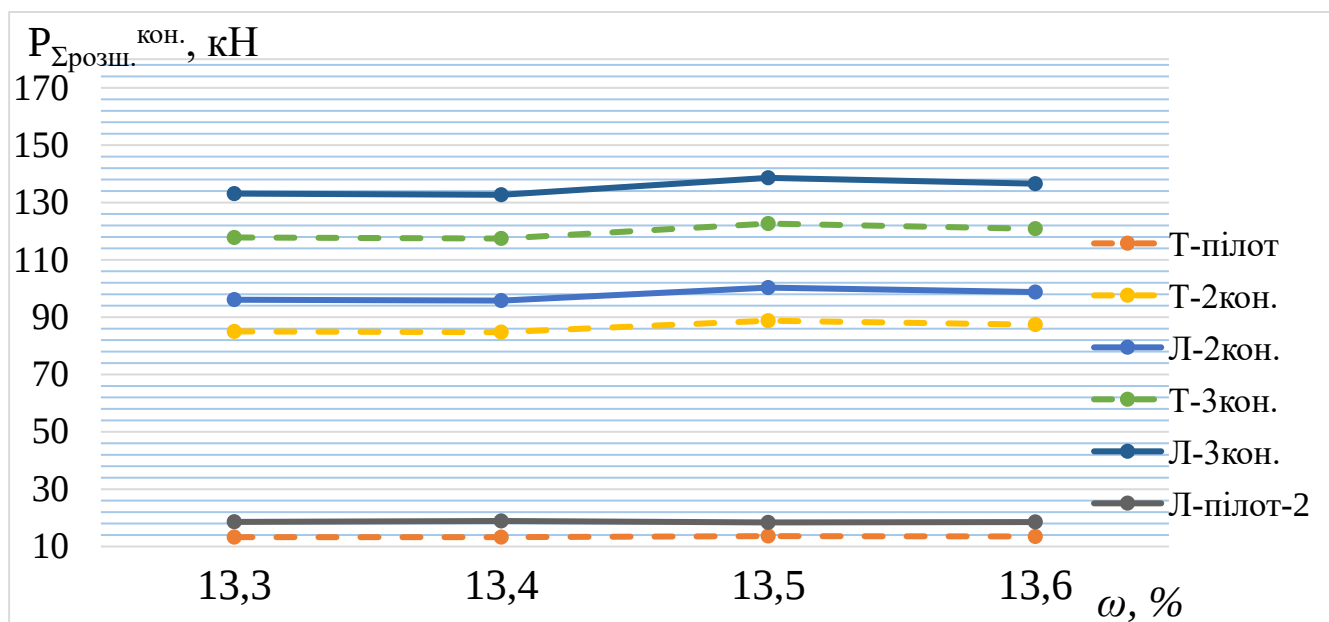


Рисунок 3.33 – Графік зміни сили проколювання конічно-циліндричними наконечниками РО, для прокладання 3 футлярів на глибині 2,2 м, від вологості ґрунту:

Т – теоретичне значення сумарної сили; 2, 3 – кількість футлярів, що протягуються одночасно; П – пілотний наконечник

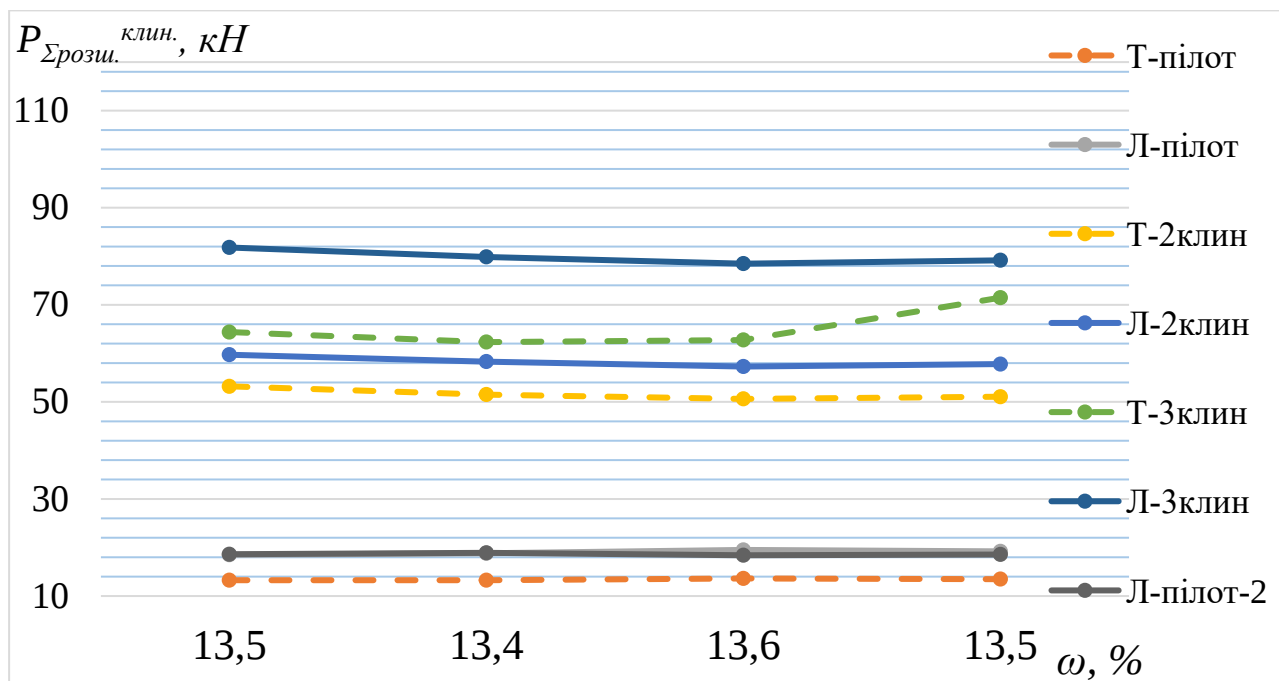


Рисунок 3.34 – Графік зміни сили проколювання клиново-призматичними наконечниками РО, для прокладання 3 футлярів на глибині 2,2 м, від вологості ґрунту:

Т – теоретичне значення сумарної сили; Л – значення отримане дослідним шляхом; 2, 3 – кількість футлярів, що протягуються одночасно; П – пілотний наконечник

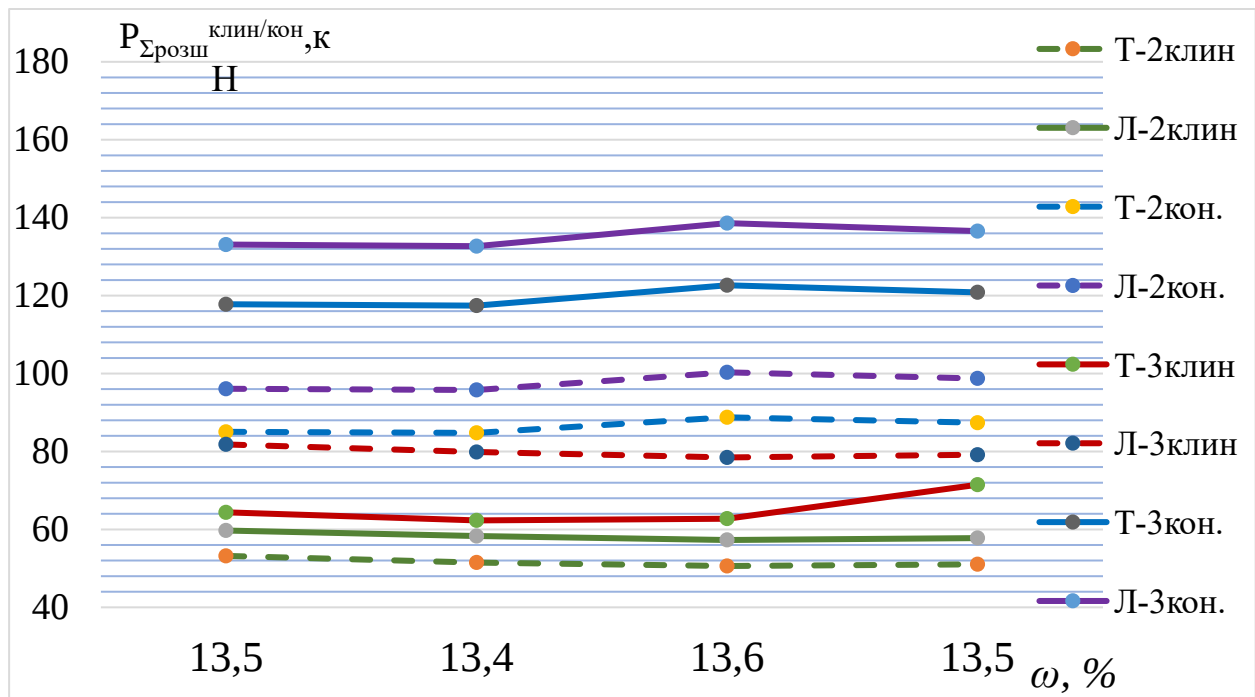


Рисунок 3.35 – Графік порівняння зміни сил проколювання клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками РО, для прокладання 3 футлярів на глибині 2,2 м, від вологості ґрунту Т – теоретичне значення сумарної сили; 2, 3 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

Висновки за розділом 3

3.1) Для проведення лабораторних експериментальних досліджень розроблене та створене стендове обладнання з робочим зусиллям до 6 кН та комплект РО клиново-призматичної та конічно-циліндричної форми, яке дало змогу провести серію дослідів по підтвердженню теоретичних викладок отримання ТПГ у ґрунті для одночасного прокладання двох і більше футлярів.

3.2) Вихідні дані ґрунту, що знаходиться в коробі стендового обладнання, для виконання розрахунків сил проколювання ТПГ, визначались стандартизованими методами в умовах спеціалізованій лабораторії ТОВ «ДНПРОГЕОАЛЬЯНС», вологість – експрес методом електронним приладом, щільність ударником ДорНДІ.

3.3) Для однофактного експерименту встановлено повторюваність результатів не менше 12...17 разів при надійності 0,95, ми провели три серії експериментів загальною кількістю 24 дослідів.

3.4) Проведено експериментальні дослідження з перевірки функціональної працездатності запропонованої конструкції клиново-призматичних РО, отримали графіки порівняння теоретичних та експериментальних даних, що показують ефективність запропонованої конструкції в порівнянні з традиційною, а також показують значне зростання сил та збільшенням зони впливу на комунікації в 5...8 разів у ґрунтах піщаного типу порівняно зі зв'язними ґрунтами

3.5) Розробили методику вибору технологій утворювання горизонтальних порожнин шляхом статичного проколювання ґрунту РО для умов прокладання розподільних мереж в стислих міських умовах на відстань до 100 м та діаметром до 450 мм.

3.6) Слід відмітити суттєве розходження теоретичного та практичного значення сили проколювання ТПГ, причиною таких розбіжностей – більше 10 % є зниження вологості та суттєве ущільнення основи дорожнього полотна, що переводить ґрунт до іншої 2 категорії, і з приямків цього визначити, на початку, не можливо.

3.7) Розроблено методики визначення основних параметрів робочих органів і опору їх переміщенню, для формування горизонтальних порожнин, з урахуванням їх технологічних особливостей процесу, що успішно працюють.

3.8) В основі процесу визначення сили статичного проколу ТПГ, було закладено рекомендацію використання кута загострення наконечника РО в межах 40-55° та розрахункові величини оптимального розміру конусного наконечника з виступами, рекомендовані значення ефективний розмірів РО для статичного проколювання за умови мінімальних енерговитрат.

3.9) Запропоновані методики можуть бути використані у процесі проектування плану виконання робіт з умови максимально енергоощадного використання безтраншейних технологій, та проектуванні установок статичного проколювання та обладнання, для стислих міських умов на відстані до 100 м та розміром до 450 мм.

4 НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА АЛГОРИТМИ ВИБОРУ І РОЗРАХУНКУ МАШИН ТА РО ДЛЯ ПРОКОЛЮВАННЯ ТПГ

4.1 Методика проведення інженерних розрахунків РО

Методи розрахунку сили проколювання ТПГ та проектування обладнання для цього розроблені на основі проведених досліджень і ґрунтуються на теорії незмінності маси ґрунту, знаннях фізико-механічних характеристик ґрунту, кількості та габаритів футлярів, що прокладаються.

Мета розробок – визначення сил проколювання або розширення ТПГ клиново-призматичними РО, проектування нових установок або РО для прокладання підземних комунікацій. Основні положення розробки викладені в наукових працях [9, 30, 28, 47, 66, 94-95, 108-109, 117-118].

Схема застосування машин для проколювання ТПГ, клиново-призматичних РО та їх елементів для проведення інженерних розрахунків взаємодії наконечників з ґрунтом приведені на рис. 3.19.

Умовні позначення та вихідні дані до практичних розрахунків:

h – глибина прокладання підземних комунікацій, м;

n – кількість лінійно-протяжних об'єктів, що одночасно прокладаються, шт;

d – діаметр лінійно-протяжних об'єктів (футлярів), що одночасно прокладаються в одній ТПГ, мм;

2β – кут загострення клину РО;

f – коефіцієнт тертя ґрунту по клину.

ω – природна вологість ґрунту, %;

σ_1 – напруження в ґрунті на границі пружної та пластичної зон, МПа [7];

l_y – довжина циліндричної частини конусно-циліндричного наконечника
($l_y = 0,1 \dots 0,3$), м;

E_v – модуль об'ємної деформації, МПа [66];

E_{cp} – компресійний модуль деформації, МПа [66];

$2\beta_{кл.}$ – кут загострення клиново-призматичного РО ($2\beta_{кл.} = 40...60^\circ$);

$P_{\Sigma кл.}$ – сумарний опір проколюванню клиново-призматичного РО з виступами, МН;

$P_{пр.}^{кл.}$ – приведений опір проколюванню клиново-призматичного РО з виступами, МН;

$q_{кр.}$ – критичний тиск на ґрунт за несучою спроможністю, МПа (див. додаток);

ξ – коефіцієнт бічного тиску [66];

$\beta_{л.}$ – кут нахилу еліптичної площини зрізаного наконечника до горизонту, град;

q_3 – залишковий тиск на циліндричній частині наконечника, (якщо $l_y > 0,2$ м, $q_3 = 0,016...0,035$ МПа), МПа;

S – поперечне відхилення асиметричного наконечника в залежності від довжини траси L , м;

$H_{пр}$ – глибина прокладання ТПГ у ґрунті, м;

$H_{\min}$ – мінімально-допустима глибина проходки ТПГ у даному типі ґрунту та розмірі порожнини;

$d_{ТПГ}$ – розмір ТПГ.

Умовою алгоритму є відповідність глибини прокладання ТПГ h з кількістю ЛПО та формою розташування їх в просторі, розміру мінімально-допустимого значення глибини закладання ТПГ в конкретному типі ґрунту (2.62). Виконання цієї умови виключає можливість пошкодження дорожнього полотна при формуванні ТПГ методом проколу. Мінімальну глибину закладання ТПГ від поверхні визначаємо по рівнянню, наведеному в роботі [30, 61, 91, 92]:

$$H_{пр} \geq H_{\min} = \left[4,4 + \frac{1}{(0,01n_0)^{2,25}} \right] d_{ТПГ} \quad (4.1)$$

де n_0 – природна пористість ґрунту.

Якщо умова по мінімальній глибині виконується, то ТПГ виконують методом проколу, якщо ні то збільшують глибину проходки, збільшують вологість ґрунту або використовують комбінований метод прокладання ЛПО - проколювання та горизонтально шнекове буріння, або розширення кільцевим ножом.

При розробці ТПГ для ЛПО методом проколу головною умовою подальшого вибору технології розробки є її довжина, траєкторія та тип ґрунту. Якщо траса не перевищує довжини прямолінійного проколу близько 20 м, ТПГ можна утворювати сталевую трубою з конусним наконечником за один прохід, або з утворюванням лідерної свердловини та її розширенням клиново-призматичними РО. Якщо дистанція перевищує 20 м, лідерну свердловину слід утворювати методом керованого проколу з використанням локаційних систем та асиметричними наконечниками.

Перевірка ефективності створення ТПГ з умови мінімальної сили проходки та кількості переходів при розширенні, виконується шляхом порівняння заданого діаметру проколу з розрахунковим максимально ефективним - раціональним діаметром свердловини [44, 95, 109]:

$$d_{ТПГ} \leq d_{opt} = \frac{4 f b_n (\pi + 2(n-1)) \left(2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right)}{(\pi + 4(n-1)) \left(1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_v} \right)^2 \right) E_{ep} (1 + fctg \beta)}. \quad (4.2)$$

де d_{opt} – оптимальні розміри ТПГ, що ефективно отримувати статичним проколюванням.

Якщо розмір свердловини перевищує отриману величину, то слід перейти до поетапного розширення лідерної свердловини до проєктного розміру ТПГ. Встановлення раціонального розміру наконечника дозволяє мінімізувати енергетичні і часові витрати на утворювання ТПГ. Але, якщо силові характеристики

установки не відповідають розрахунковому опору ґрунту, то слід перейти до ступінчастого розширення.

Особливістю керованого проколу є те, що траєкторія руху робочого органу відрізняється від прямолінійної, що призводить до збільшення сили проколювання за рахунок додаткового тертя об стінки ТПГ при корегуванні та дає можливість збільшити довжину переходу.

Умовою використання комбінованого методу проколювання ґрунту клиново-призматичним РО є захищеність дорожнього полотна та комунікацій від пошкодження, коли відстань h до ТПГ буде меншою від зони руйнування ґрунту, яка утворюється при деформації навколо РО при просуванні [30, 44, 92], яка з урахуванням залежності (2.62) має вигляд:

$$h \geq a_{\text{деф}} = (\lambda^2 - 1) \frac{d}{2} = \left[\frac{\left(\gamma_{np} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right)^2 \operatorname{tg}^8 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{d}{2}. \quad (4.3)$$

де

$$\lambda = \frac{\left(\gamma_{sp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \quad (4.4)$$

Вибір технології базується на силових можливостях приводу установок, раціоналізації їх потужності, та ефективності виконання комплексу робіт по прокладанні футлярів. Після вибору технології створення ТПГ за необхідності корегують параметри обладнання (установка МПК-30-100 має два комплекти гідроциліндрів Ц-80*900 та Ц-110*350), що відповідно або збільшує швидкісні характеристики або

сило, по вибраним параметрам провести тягові розрахунки та визначити параметри РО та кількість необхідних переходів.

4.2 Визначення параметрів обладнання для утворення ТПГ статичним проколюванням

Послідовність прокладання ТПГ при заданих діаметрі D_{ce} та глибині прокладання H_{np} підземних комунікацій наступна:

- 1) Вибираємо кут загострення наконечника РО в межах $2\beta = 45 - 50^\circ$ [41, 22, 25] – виміряти кути у наявного обладнання, або взяти з паспорта.
- 2) Відповідно до розмірів та кількості футлярів, що прокладаються вираховуємо раціональний розмір клиново-призматичного наконечника з виступами (2.54), вибрати РО з наявного обладнання

$$d_{onm} = \frac{4fb_n(\pi + 2(n-1))\left(2c \cdot tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2}\right) + \frac{a_q}{2}h\right)}{(\pi + 4(n-1))\left(1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_v}\right)^2\right)E_{cp}(1 + fctg\beta)}. \quad (4.5)$$

- 3) Визначаємо зусилля проколу РО з виступами з наявного обладнання

$$P_{пр.кл.}^{доб.} = d^2 E_{cp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) \left(\frac{\pi + 4(n-1)}{8} \right). \quad (4.6)$$

- 4) Вираховуємо максимально-граничний розмір ТПГ (грунтової порожнини), при якому клиново-призматичний наконечник з боковими виступами не є ефективним для утворення ТПГ способом проколювання

$$d_{\max} = 2d_{onm}. \quad (4.7)$$

5) Визначення та вибір параметрів робочих органів для утворення ТПІ з використанням програмного забезпечення. Параметри та кількість футлярів вибираємо з проекту комунікації яку споруджують.

5.1) Визначити та вибрати на панелі тип ґрунту (зазначено в проекті прокладання комунікації), визначити та записати його вологість рис. 4.2 у відповідну комірку (якщо відсутній тип ґрунту, що відповідає робочому середовищу, його потрібно додати – послідовно записавши необхідні характеристики в базу – свої властивості ґрунту)

Рисунок 4.2 – Вибір типу ґрунту

Визначити та вибрати на панелі параметри ґрунту та тип РО, рис. 4.3

Рисунок 4.3 – Вибір форми робочого органу – клиново призматичний РО

Визначити та вибрати на панелі параметри робочої установки для проколювання ґрунту: кількість циліндрів, робочий тиск, діаметр поршнів, хід штока рис. 4.4

Скинути налаштування Про програму Вихід

Визначити тип ґрунту
Тип ґрунту Свої властивості ґрунта

Для власного типу ґрунту введіть властивості:

c, Коефіцієнт зчеплення ґрунту, МПа	0.010	γ, питома вага у природному стані ґрунту, кН/м ³	0.000
φ _в , кут внутрішнього тертя, град	0.0	ω, природна вологість ґрунту, %	16
φ, кут зовнішнього	0.0	f, Коефіцієнт тертя	0

Футляри
Форма футлярів Клиново-приз d, діаметр футлярів, м 0.100

Тип футлярів Гофро-труба n, кількість футлярів 3

Результати

h, глибина прокладання, м 2.00 L, довжина переходу, м 50.00

Для клиново-призматичного робочого органу

Лобовий опір занурення Сумарний опір

Установка

d, діаметр циліндра, м 100 мм

Робочий тиск, МПа 80 мм

n, кількість циліндрів 90 мм

Зусилля установки 100 мм

Робочий орган

β, кут загострення при вершині, град 0.0

dl, діаметр робочого органу, м 0.000

q, тиск ґрунту на калібруючу частину робочого органу 0.016

Рахувати

Рисунок 4.4 – Вибір параметрів силового блоку проколюючої установки.

Визначити та ввести відповідні характеристики матеріалу футляру, глибини прокладання, кута загострення РО та розширювачів, врахувати параметри опорних стінок та отримати значення проколювання РО з виступами та сумарного зусилля проколювання та затягування ЛПО порівняти з можливостями силового блоку рис. 4.5.

Скинути налаштування Про програму Вихід

Визначити тип ґрунту
Тип ґрунту Твердий супісок

Для власного типу ґрунту введіть властивості:

c, Коефіцієнт зчеплення ґрунту, МПа	0.010	γ, питома вага у природному стані ґрунту, кН/м ³	0.000
φ _в , кут внутрішнього тертя, град	0.0	ω, природна вологість ґрунту, %	9
φ, кут зовнішнього	0.0	f, Коефіцієнт тертя	0

Футляри
Форма футлярів Клиново-приз d, діаметр футлярів, м 0.100

Тип футлярів Гофро-труба n, кількість футлярів 3

Результати

h, глибина прокладання, м 2.00 L, довжина переходу, м 50.00

Для клиново-призматичного робочого органу

Лобовий опір занурення 36 т Сумарний опір 55.4 т

Установка

d, діаметр циліндра, м 100 мм

Робочий тиск, МПа 20

n, кількість циліндрів 2

Зусилля установки 32 т

Робочий орган

β, кут загострення при вершині, град 0.0

dl, діаметр робочого органу, м 0.000

q, тиск ґрунту на калібруючу частину робочого органу 0.016

Рахувати

Рисунок 4.5 – Результат визначення робочих зусиль при визначеній вологості (9% для даного ґрунту та місця проведення робіт).

Визначити значення сили проколювання РО з виступами та сумарного зусилля із затягуванням ЛПО за умови локального збільшення вологості ґрунту з 9 до 16% (шляхом замочування пілотного отвору буровим розчином протягом 2-4 годин) порівняти з можливостями силового блоку рис. 4.6

калькулятор протяжки футлярів

Скинути налаштування Про програму Вихід

Визначити тип ґрунту
Тип ґрунту:

Для власного типу ґрунту введіть властивості:

c, Коефіцієнт зчеплення ґрунту, МПа	0.010	γ, питома вага у природньому стані ґрунту, кН/м3	0.000
φ, кут внутрішнього тертя, град	0.0	ω, природна вологість ґрунту, %	16
φ, кут зовнішнього	0.0	f, Коефіцієнт тертя	0

Футляри

Форма футлярів:

Тип футлярів:

h, глибина прокладання, м:

Лобовий опір занурення:

Установка

d, діаметр циліндра, м:

Робочий тиск, МПа:

n, кількість циліндрів:

Зусилля установки:

Робочий орган

β, кут загострення при вершині, град:

dl, діаметр робочого органу, м:

q, тиск ґрунту на калібруючу частину робочого органу:

Результати

n, кількість футлярів:

L, довжина переходу, м:

Сумарний опір:

Рахувати

Рисунок 4.6 – Результат визначення робочих зусиль при змінній вологості (16% після замочування протягом 2 годин)

4.3 Техніко-економічні розрахунки

Порівняння різних машин здійснюється шляхом зіставлення показників, які характеризують як можливості машин, так і результати їх роботи. До перших показників відносяться темпи ведення робіт (технічні можливості машини), до другої групи – вартість виконуваних робіт [34, 37, 45, 47, 124]. Початкові дані до розрахунку представлені в таблиці 4.2.

Порівняльні розрахунки економічних показників робіт по безтраншейному прокладанні групи футлярів для ЛПО, в стислих міських умовах, установкою горизонтально-направленого буріння ГНБ-800/300 та установкою статичного керованого проколювання – МПК-30-100. Робочі органи в обох випадках будуть схожі – пілотна бурова голівка з системою локації та пілот зі скошеним наконечником та локаційним зондом, які використовуються для керованого проходу стартового отвору, та розширюючих робочих органів, виробництва фірми «ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро. Обидві установки працюють з робочих при-

мків, працюють по керованій траєкторії, для малих діаметрів використовують метод статичного проколювання з подальшим розширенням ТПГ конусними або клиново-призматичними РО й затягування на останньому етапі робіт групи футлярів.

Таблиця 4.2 – Економічна ефективність установок (станом на 10.12.2021 р.)

Вихідні дані	Од. вимір.	ГНБ-800/300 + коні- чно-циліндричні РО	МПК-30-100 + клиново-приз- матичні РО
1	2	3	4
Максимальний діаметр ТПГ	мм	450	450/ 180-540
Довжина свердловини	м	300	100
Технічна швидкість проколу:	м/год		10,0
пілотне буріння		60 (40)	50 (20)
розширення ТПГ		60 (40-10)	50-10
Ціна машини з комплектом штанг (без навігації)	грн	1880000 (на 300 м)	230000 (на 100 м)
Прилади навігації DigiTrak Mark III	грн	108000	
Потужність силової установки	кВт	120	13,5
Зусилля проколу, протяжці	кН	До 600	До 320
Вага з комплектом допоміжного обладнання	т	3,7+4,9	0,52+1,65
Робочий тиск в гідросистемі	МПа	20/25	20/25
Питома витрата палива	л/год	до 29,2	до 4,1
Кількість обслуговуючого персо- налу / розряд	люди	1/6 + 2/4	1/6 + 2/4
Габарити: силова установка	м	3,4×1,5×1,1	1,4(2,6)×0,65×0,65
гідростанція	м	2,0×1,8×1,2	1,1×0,6×0,65

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
касета зі штангами		0,3×0,4×0,9 - 5 шт	0,3×0,4×0,9 - 5 шт
буровий насос високого тиску НБ-3 з приводом, фільтром та трубопроводами		1,0×0,8×1,2	
Ємність для приготування буро- вого розчину		2,0×2,0×2,2 (5 м³) або 1,2×1,1×2,2 (2 м³)	

При виконанні розрахунку середня швидкість робіт установками ГНБ- 800/300 – 30 м/год, машиною МПК- 30-100 – 15 м/год. Для розрахунків в обох випадках приймаємо умову розробки ТПГ та прокладання футляру у вигляді двох поліетиленових футлярів трубопроводу ПС-80 діаметром 90 мм проводимо методом статичного проколювання та розширення ТПГ без бурового розчину (окрім пілотного отвору для ГНБ установки – де заборонено працювати без бурового розчину). Перехід довжиною 80 м, з розширенням в 2 етапи для зменшення руйнівного впливу на ґрунт, глибина проходки 1200 мм, обидві установки встановлені в приямок глибиною 1,8 м, до місця виконання робіт доставляються кран маніпуляторами відповідно 10 т (ІВЕКО) та 0,25 т (ГАЗель). При виконанні розрахунків базовою є перша установка ГНБ- 800/300 у розрахунках буде індекс «Б», а друга МПК- 30-100 за нову – у розрахунках індекс «Н» [44].

Універсальним показником ефективності роботи установок є приведені витрати на 1м отриманого ТПГ, що враховують вартість створення машини, вартість експлуатації, вартість модернізації, транспортні витрати, зарплатня обслуговуючого персоналу, тощо, залежно від об'ємів робіт і технічних можливостей машин.

$$Z_y = \frac{S_k + S_e + S_3}{V_b \cdot T_p}, \quad (4.8)$$

де S_k – вартість покупки або виготовлення;

S_e – експлуатаційні витрати;

S_3 – заробітна плата машиністів;

V_b – продуктивність, м/год;

T_p – річний фонд робочого часу, год/рік.

Продуктивність визначається:

$$V_b = V_T \cdot k_{\text{пер}}, \quad (4.9)$$

де V_T – конструктивна швидкість виконання робіт;

$k_{\text{пер}}$ – коефіцієнт, що враховує перехідні процеси, $k_{\text{пер}} = 0,6$.

Темпи виконання робіт – пілотне буріння, для базової машини складають

$$V_b^{\sigma} = V_T^{\sigma} \cdot k_{\text{пер}} = 60 \cdot 0,6 = 36, \text{ м/год.}$$

Темпи виконання робіт – пілотне буріння, для нової машини складають

$$V_b^H = V_T^H \cdot k_{\text{пер}} = 50 \cdot 0,6 = 30, \text{ м/год.}$$

Темпи виконання робіт – розширення ТПГ, для базової машини складають

$$V_b^{\sigma} = V_T^{\sigma} \cdot k_{\text{пер}} = 60 \cdot 0,6 = 36, \text{ м/год.}$$

Темпи виконання робіт – розширення ТПГ, для нової машини складають

$$V_b^H = V_T^H \cdot k_{\text{пер}} = 10 \cdot 0,6 = 6, \text{ м/год.}$$

Річний режим роботи машин теоретичний:

$$T_p = \frac{T_\phi - 2T_{co}}{\frac{1}{t_{3M} k_{3M}} + D_p - \frac{d_\pi}{T_{ob}}}, \quad (4.10)$$

де T_ϕ – теоретичний річний фонд робочого часу, $T_\phi = 250$ дн.;

T_{co} – технічне обслуговування, $T_{co} = 10$ дн.;

t_{3M} – робоча зміна, $t_{3M} = 7,71$ год.;

k_{3M} – коефіцієнт змінності, $k_{3M} = 1,6$;

D_p – простої машини, зовнішні фактори, підготування бурових розчинів, тощо;

d_π – тривалість перебазування, $d_n^B = 1$, $d_n^H = 0,3$ день;

T_{ob} – чистий час роботи на об'єкті.

Час очікування ремонту та техобслуговування:

$$D_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (d_{pi} + d_{oi}) a_i}{T_p} + \frac{t_b}{t_{3M} T_b} \right] k_\chi, \quad (4.11)$$

де d_{pi} – тривалість технічного обслуговування, планового чи аварійного ремонту, дні;

d_{oi} – тривалість очікування ремонту, 2-5 днів.;

a_i – кількість технічного обслуговування або ремонтів;

T_p – середній ресурс до капітального ремонту, 2000 год.;

t_b – середній час усунення відмови;

T_B – наробіток на відмову, $\frac{t_B}{T_B} = 0,05$;

k_q – коефіцієнт переходу мото-годин в машино-години, 0,45.

$$\sum_1^m (d_p + d_{oi}) a_i = n_1 a_1 + n_2 a_2 + n_3 a_3 + n_4 a_4 + n_5 a_5 + a_6 =$$

$$= 0,2 \cdot 96 + 24 \cdot 0,6 + 6 \cdot 2 + 7 \cdot 8 + 1 \cdot 17 + 30 = 148,6, \text{ дн};$$

$$D_p = \left[\frac{148,6}{7600} + \frac{0,05}{7,71} \right] \cdot 0,45 = 0,0011, \text{ дн/маш/год.}$$

Тривалість одного перебазування:

$$d_{\Pi} = 0,01 \left(\frac{L}{V} + t_3 \right), \quad (4.12)$$

де L – середня відстань ходу перебазування, 15 км;

V – середня швидкість переїзду, км/год;

$t_{\text{пр}}$ – середня тривалість завантаження і розвантаження, 0,5 маш/год.

$$d_{\Pi} = 0,01 \left(\frac{15}{9} + 0,5 \right) = 0,216, \text{ дн.}$$

Середній час перебування машини на одному об'єкті.

$$T_{\text{об}} = \frac{0,86 \cdot T_{\Phi} \cdot k_{\text{зм}} \cdot t_{\text{зм}}}{n_{\Pi}}, \quad (4.13)$$

де n_{Π} – кількість перебазувань машини за рік.

$$T_{\text{об}} = \frac{0,86 \cdot 250 \cdot 1,6 \cdot 7,71}{50} = 53,05, \text{ маш/год.}$$

$$T_p = \frac{130 - 2,2}{\frac{1}{7,71 \cdot 1,4} + 0,0011 - \frac{0,216}{210}} = 1240, \text{ маш/год.}$$

Капітальні вкладення розраховуються по наступній залежності:

$$S_k = A_b + B_p = C_m \frac{N_m}{P_m} + 0,05 C_m \cdot N_m, \quad (4.14)$$

де A_b – амортизаційні відрахування прямим методом;

B_p – витрати на поточний ремонт і швидкозношуваний інструмент грн/рік;

C_m – ціна машини;

N_m – кількість установок, шт.;

P_m – термін служби машин, років. Приймаємо для обох установок строк -10 років.

Для базової установки капітальні вкладення дорівнюють:

$$S_k^b = 800000 \frac{1}{10} + 0,05 \cdot 800000 \cdot 1 = 120000, \text{ грн.}$$

Для нової установки:

$$S_k^h = 230000 \frac{1}{10} + 0,05 \cdot 230000 \cdot 1 = 34500, \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати визначаються залежністю:

$$S_e = S_{\text{пал}} + S_{\text{мм}} + S_{\text{тм}} + S_{\text{кс}} + S_{\text{гр}}, \quad (4.15)$$

де $S_{\text{пал}}$ – витрати на паливо;

$S_{\text{мм}}$ – витрати на моторне мастило;

$S_{\text{тм}}$ – витрати на трансмісійне мастило;

$S_{\text{кс}}$ – витрати на консистентне мастило;

$S_{\text{гр}}$ – витрати на гідравлічну рідину.

Враховуючи, що установки працюють з робочих напрямків до прийомних напрямків врахуємо вартість виконання земляних робіт з транспортуванням ґрунту у відвал з подальшою зворотною засипкою.

Визначимо витрати на паливо:

$$S_{\text{пал}} = C_{\text{пал}} \cdot n_{\text{пал}}, \quad (4.16)$$

де $C_{\text{пал}}$ – вартість палива, бензину АІ-92 становить 30 грн./л, дизельного палива ДП становить 30 грн, (станом на 10.12.2021 р.) ;

$n_{\text{пал}}$ – кількість споживаного палива, л/рік;

$$n_{\text{пал}} = T_{\text{р}} \cdot \Pi_{\text{пал}} \cdot k_{\text{з}}, \quad (4.17)$$

де $\Pi_{\text{пал}}$ – питома витрата палива, л/год;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження двигуна, $k_{\text{з}}^{\text{Б}} = 0,4$; $k_{\text{з}}^{\text{Н}} = 0,8$.

$$n_{\text{пал}}^{\text{Б}} = 1240 \cdot 6,2 \cdot 0,4 = 3075,2, \text{ л/рік,}$$

$$n_{\text{пал}}^{\text{Н}} = 1240 \cdot 4,5 \cdot 0,4 = 2232, \text{ л/рік,}$$

$$S_{\text{пал}}^{\text{Б}} = 24 \cdot 3075,2 = 73804,8, \text{ грн,}$$

$$S_{\text{пал}}^{\text{Н}} = 24 \cdot 2232 = 53568, \text{ грн.}$$

Визначимо витрати на моторне мастило:

$$S_{\text{мм}} = 0,032 \cdot n_{\text{пал}} \cdot C_{\text{мм}}, \text{ грн}, \quad (4.18)$$

де $C_{\text{мм}}$ – вартість моторного мастила, $C_{\text{мм}} = 55$ грн/л.

$$S_{\text{мм}}^{\text{б}} = 0,032 \cdot 3075,2 \cdot 55 = 5412,35, \text{ грн},$$

$$S_{\text{мм}}^{\text{н}} = 0,032 \cdot 2232 \cdot 55 = 3928,32, \text{ грн}.$$

Визначимо витрати на консистентне мастило, яке йде на змащення різьбових з'єднань штанг:

$$S_{\text{кс}} = n_{\text{кс}} \cdot C_{\text{кс}}, \text{ грн}, \quad (4.19)$$

де $n_{\text{кс}}$ – кількість консистентного мастила у рік, приймаємо витрати для обох установок $n_{\text{кс}}^{\text{б}} = n_{\text{кс}}^{\text{н}} = 100$ кг;

$C_{\text{кс}}$ – вартість консистентного мастила, $C_{\text{кс}} = 56$ грн /кг.

$$S_{\text{кс}}^{\text{б}} = S_{\text{кс}}^{\text{н}} = 100 \cdot 56 = 5600, \text{ грн}.$$

Визначимо витрати на гідравлічну рідину:

$$S_{\text{гр}} = 0,04 n_{\text{пал}} C_{\text{гр}}, \text{ грн}, \quad (4.20)$$

де $C_{\text{гр}}$ – вартість гідравлічної рідини, $C_{\text{гр}} = 65$ грн/л.

$$S_{\text{гр}}^{\text{б}} = 0,04 \cdot 3075,2 \cdot 65 = 7995,52, \text{ грн},$$

$$S_{\text{гр}}^{\text{н}} = 0,04 \cdot 2232 \cdot 65 = 5803,2, \text{ грн}.$$

Витрати на заробітну плату визначаються залежністю:

$$S_3 = 12C_{\text{ст}} \cdot E_{\text{об}} \cdot N_{\text{м}}, \quad (4.21)$$

де $C_{\text{ст}}$ – заробітна плата машиніста і оператора, 7600 грн/міс.;

$E_{\text{об}}$ – обслуговуючий персонал, $E_{\text{об}} = 2$ люд.

$$S_3^{\text{б}} = S_3^{\text{н}} = 12 \cdot 7600 \cdot 2 \cdot 1 = 182400,00, \text{ грн.}$$

$$S_{\text{е}}^{\text{б}} = S_{\text{пал}}^{\text{б}} + S_{\text{мм}}^{\text{б}} + S_{\text{тм}}^{\text{б}} + S_{\text{кс}}^{\text{б}} + S_{\text{гр}}^{\text{б}}, \quad (4.22)$$

$$S_{\text{е}}^{\text{б}} = 73804,8 + 5412,35 + 5600 + 7995,52 = 92812,67, \text{ грн.}$$

$$S_{\text{е}}^{\text{н}} = S_{\text{пал}}^{\text{н}} + S_{\text{мм}}^{\text{н}} + S_{\text{тм}}^{\text{н}} + S_{\text{кс}}^{\text{н}} + S_{\text{гр}}^{\text{н}}, \quad (4.23)$$

$$S_{\text{е}}^{\text{н}} = 53568 + 3928,32 + 5600 + 5803,2 = 68899,52, \text{ грн.}$$

Питомі витрати на одиницю виконаної роботи для базової машини складають

$$Z_y^{\text{б}} = \frac{120000 + 92812,67 + 182400}{3 \cdot 1240} = 106,24 \text{ грн/м.}$$

Питомі витрати на одиницю виконаної роботи для нової машини складають

$$Z_y^{\text{н}} = \frac{34500 + 68899,52 + 182400}{3 \cdot 1240} = 76,83 \text{ грн/м.}$$

Остаточню (станом на 05.2021р), на основі розрахунків маємо, що використання нової установки МПК-30-100 на 27,68% ефективніше, ніж використання базової установки ГНБ-800/300.

Висновки за розділом 4

4.1) Створено методику вибору технологій утворювання ТПГ для прокладання кількох ЛПО методом статичного проколювання РО клиново-призматичної форми в стислих міських умовах на відстань до 100 м та діаметром до 400 мм.

4.2) В основі вибору існуючих технологій статичного проколювання ТПГ було закладено умови підвищення економічних показників виконання робіт, що зумовлено дотриманням проектної траєкторії, збереження основи доріг і прилеглих комунікацій від руйнування РО.

4.3) Розроблено порядок визначення необхідних силових параметрів обладнання та робочих органів для формування ТПГ з урахуванням технологічних особливостей процесу.

4.4) В основі методики визначення сили проходу РО при утворенні ТПГ статичним проколюванням, закладено умову використання раціонального кута загострення наконечника в межах $40-55^\circ$ та величин раціональних розмірів клиново-призматичних наконечників з виступами, а також визначено максимально ефективний розмір ТПГ.

4.5) Визначення параметрів клиново-призматичного РО для утворення ТПГ враховує відстань, на яку розповсюджуються руйнівні деформації в ґрунті.

4.6) Розроблені методики інженерних розрахунків можна використати у процесі проектування установок статичного проколювання ТПГ та РО для них, з умови максимально ефективного їх використання при безтраншейних технологіях ведення робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) Аналіз сучасних технічних та наукових літературних джерел, а також передових досягнень в галузі No-Dig технологій прокладання підземних ЛПО отримано:

- встановлено, що статичні методи формування ТПГ у ґрунті мають значні обмеження по використанню, що пов'язані з великою зоною радіального ущільнення ґрунту, що обмежує його використання в умовах щільного розташування комунікацій, та розмірів ТПГ до 250 мм, що не забезпечує вимоги сьогодення, розмір ТПГ складає близько 400 мм, а довжина проходки 100 м;

- визначено, що підвищити ефективність використання установок статичного проколювання ТПГ відповідно до визначених умов можливо за рахунок керуваності створення лідерної свердловини, зменшенням зони деформації ґрунту та впливу на прилеглі комунікації за рахунок використання клиново-призматичних РО та якіснішого заповнення порожнини отвору комунікаціями.

2) Обґрунтовано форму й конструкцію РО клиново-призматичної форми для формування ТПГ, які базуються на наступних підходах:

- вперше було запропоновано наконечники РО клиново-призматичної форми при одночасному прокладанні декількох футлярів для монтажу ЛПО – патент;

- для визначення закономірності розподілу тиску ґрунту на поверхнях РО вперше застосовано закон збереження маси ґрунту до і після його деформування;

- запропоновано послідовність визначення робочих зусиль в процесі створення ТПГ з урахуванням геометричних параметрів наконечників РО та фізико-механічних характеристик ґрунтів.

3) Розроблено послідовність визначення сили статичного проколу ґрунту клиново-призматичним наконечником, який включає:

- розробку аналітичних закономірностей зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину та конуса наконечника РО, що дозволило отримати розрахункові залежності сили від діаметра та кількості ЛПО, що прокладаються одночасно та фізико-механічних властивостей ґрунту;

- визначення величини сили тертя ґрунту по бічних поверхнях клинової, конічної, призматичної та циліндричних частин наконечника, яка сягає 40-60% від загального опору просування РО;
- визначення еквівалентного і оптимального розмірів виступів клинової частини клиново-призматичного РО, що дозволяє знизити опір його просування до 25%;
- встановлення максимального зниження сили проколювання ґрунту еквівалентним клиново-призматичним наконечником, що має місце для ТПГ висота якого у 2 рази менша за максимально-граничний розмір. Якщо необхідний розмір більший за це значення, то роботи виконують в декілька етапів з послідовним розширенням ТПГ до необхідного значення;
- визначено тиск ґрунту на сусідні комунікації та зони можливого руйнування при формуванні ТПГ з використанням клиново-призматичного РО.

4) Розроблена методика експериментальних польових досліджень статичного проколу ґрунтів і експериментальна установка з натурними зразками наконечників РО, створено лабораторний стенд, що дозволило відтворити процеси та підтвердити їх працездатність запропонованої теорії. Результати досліджень підтвердили теоретичні положення, отримання геометричних параметрів РО, їх впливу на опір переміщення в ґрунті залежно від його фізико-механічних властивостей. Відмінність Розходження дослідних та розрахункових значень не перевищує 15% це пов'язано зі зниженням вологості ґрунту та збільшення щільності земляного масиву під полотном дороги на 1,5% - 2%, що суттєво впливає на розрахункові значення, більш точні параметри вологості не можливо визначити з прямих.

5) Отримані в дисертації залежності лягли в основу написання програми для визначення сил проходження РО в ґрунті, та вибору енергоощадного способу отримання ТПГ для прокладання групи футлярів способом статичного проколювання, або перевірки можливостей обладнання для виконання робіт.

6) Обґрунтування форми й конструкції:

- розроблено методику створення високоефективних клиново-призматичних наконечників РО для статичного проколювання ТПГ в залежності від розмірів та кількості футлярів, що довжини й траєкторії траси, умов залягання комунікації по глибині та властивостями ґрунтового середовища;

- розроблені інженерні методики визначення раціональних параметрів РО для статичного проколу, що використовується у стислих міських умовах.

7) Здійснено впровадження результатів дисертаційної роботи, що полягає:

- проектуванні малогабаритних установок статичного керованого проколювання ТПГ для ЛПО, проектуванні та виготовленні клиново-призматичних робочих органів РО для отримання ТПГ в піщаних (обмежено), супіщаних, суглинистих та глинистих ґрунтах без твердих включень будь-якої вологості підприємствами ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ» та ТОВ «Алрус»;

- у розробці технологічної карти «Технологічна карта на безтраншейну прокладку групи футлярів діаметром до 180 мм, або одиноких футлярів до 500 мм, установками статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті»;

- у практичному використанні програмного забезпечення при проектуванні трас прокладання ЛПО установками МП-25 та МПК-30-100, що експлуатуються понад три роки в спеціалізованій будівельній компанії: ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ» та ТОВ «Алрус»; та підтвердило можливість зниження собівартості прокладання комунікацій до 30% за рахунок зменшення об'єму земляних робіт, зростання довжини переходу, темпів та якості робіт, малих габаритів і ваги та високої потужності установок;

- у навчальному процесі при вивченні студентами спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціальних дисциплін «Машини для земляних робіт», «Машини для колійних робіт».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Najafi, M., and Baosong Ma. (2009). ICTPP 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications / Edited by. – Shanghai, China.
- 2 Васильев, С. (1974). Закрытая прокладка коммуникаций: учеб. пособие для строит. вузов и фак. Львов.
- 3 Деркач, І. (2006). Міські інженерні мережі. Навч. Посібник. Харків.
- 4 Кравець, С. (1999). Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. Рівне.
- 5 PosmItyuha, O. & Glavatskiy, K. (2012). Metodi beztransheynogo utvorennya tehnologichnih porozhnin u Gruntі dlya prokladannya komunikatsiy. Vestn. Hark. nats. avtomob.-dor. un-ta: sb. nauch. tr. – Vyip. 57, 214-221. <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/356>
- 6 Закон України. «Про охорону навколишнього природного середовища». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12> (дата звернення: 20.08.2023).
- 7 Закон України. «Про оцінку впливу на довкілля». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 20.08.2023).
- 8 Про затвердження Правил благоустрою території міста Дніпра: від 27.11.2013 № 44/43. Режим доступу: https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/kodifik_rishennya_vid_27-11-2013__44-43_na_22-03-2023.pdf (дата звернення: 07.07.2023).
- 9 Посмітюха, О. & Главацький, К. (2012). Обґрунтування поперечного перерізу безтраншейно утворених технологічних порожнин у ґрунті для комунікацій.. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. (57), 195-202. <https://crust.ust.edu.ua/items/5fd71740-c095-4d7b-b91c-8772cd7ecef3>.
- 10 Посмітюха, О. (2017). Про використання способу проколу ґрунту при горизонтально направленому бурінні. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference. Radom: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 125-128.

- 11 Кравець, С., Посмітюха, О., Супонев, В. & Главацький, К. (2018). Використання плоского робочого органу для прокладання підземних комунікацій способом статичного проколу ґрунту. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей VII міжнародної науково технічної конференції. 51-52.
- 12 Сідак, В. & Дудолад, О. (2006). Новітні технології будівництва та реновації інженерних мереж. Навчальний посібник. Харків.
- 13 The advantages of the NO-DIG systems from TRACTO-TECHNIK (2021). Electronic resource / (Germany) – 2021. – Access mode: <https://tracto.com/en/Products/grundodrill-the-new-generation>. (date of apped: 20.08.2022).
- 14 Najafi, M., and Sanjiv, B., Gokhale. (2014). Trenchless technology: pipeline and utility design, construction, and renewal. New York: McGraw-Hill.
- 15 Lee, H., Najafi, M., & Matthys, J. (2007). "Cost Comparison of Pipeline Asset Replacement: Open-Cut and Pipe Bursting," Proceedings of ASCE International Pipelines 2007 Conference, Boston.
- 16 ДБН Б.2.2-12:2019. "Планування і забудова територій". Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211 (дата звернення: 20.08.2022).
- 17 Закон України. «Про благоустрій населених пунктів». підстава. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (дата звернення: 20.08.2023).
- 18 Руднев, В., Супонев, В. & Олексин, В. (2010). Выбор бестраншейной технологии для подземной прокладки коммуникаций. Сборник научных трудов восемнадцатой ежегодной международной научно-технической конференции. Харьков. 508-514.
- 19 Zhao Jun Ling Bian (2014). Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press. China.
- 20 Кованько, В. (2011). Біомеханічні основи створення підземнорухомих пристроїв підвищеної ефективності. Монографія. Рівне.

- 21 Хмара, Л., Кириченко, І., Шатов, С., Голубченко, О., Кроль, Р. & Холодов, А. (2021). *Машины для земляних робіт. Атлас конструкцій. Навчальний посібник.* Харків.
- 22 Кравец, С., Руднев, В., Каслин, Н. & Супонев, В. (2008). *Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций: учебное пособие.* Харьков.
- 23 Супонев, В. (2018), Створення обладнання для розробки горизонтальних свердловин комбінованими способами статичної дії. Монографія. Харків.
- 24 Спосіб розширення горизонтальної свердловини. Пат. 72790 Україна. 2006.01. № u201202507; заявл. 02.03.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16.
- 25 Супонев, В. & Олексин, В. (2008). Бестраншейные технологии прокладки распределительных инженерных коммуникаций. *Науковий вісник будівництва.* (№49), 213-217.
- 26 Najafi, M. (2012). *Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods: The complete guide to trenchless technology project management, planning, costs, and methods.* McGraw-Hill.
- 27 Преимущества использования бестраншейных технологий. (2008). Ассоциация «Современные Бестраншейные Технологии». Режим доступа: https://www.no-dig.odessa.ua/?page_id=226 (дата звернення: 07.07.2021).
- 28 Пристрій для безтраншейної прокладки комунікацій. Пат. 144598 Україна. 2020. № u202002964; заявл. 18.05.2020; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19. – 5 с.
- 29 Zhao, J., and Rajani, B. (2002). *Construction and Rehabilitation Costs for Buried Pipe with a Focus on Trenchless Technologies*, Institute for Research in Construction National Research Council Canada, Ottawa.
- 30 Posmituha, A. Kravets, S., Suponyev, V., & Kulazhenko, Y. (2018). Determination of the size of the seal zone and the pressure of the soil on underground communications in the process of deformation of the soil by the wedge tip. *INDUSTRIAL AND TECHNOLOGY SYSTEMS*. Published online: (5, NO 1(43)), 11-16. URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/146626/146478> (date of apped: 09.01.2019).

31 Erez, N., Allouche, S., & Ariaratnam, T. (2012). 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). (date of apped: 20.08.2022).

32 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*. 1140–1154.

33 Haupteinsatzgebiet BM 600 LS [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.bohrtec.de>. (date of apped: 20.08.2021).

34 HDD technology and methods of horizontal drilling rigs PERFORATOR (2021). [Electronic resource] / (USA) – 2021: Access mode: <https://www.ditchwitch.com/directional-drills>. (date of apped: 20.08.2022).

35 Ditch Witch. Equipment NO-DIG. directional drills. Electronic resource / (USA) – 2021. – Access mode: <https://www.ditchwitch.com/directional-drills>. (date of apped: 20.08.2022).

36 Установка направленного бурения для прокладки инженерных коммуникаций VERMEER. Электронный ресурс / (Україна) – 2021. – Режим доступу: <https://effis.com.ua/ustanovka-napravlennoho-bureniya-dlya-prokladki-inzhenernykh-kommunikatsiy/>. (дата звернення: 07.07.2023).

37 HDD technology and methods of horizontal drilling rigs PERFORATOR. (2002). Electronic resource. Germany. Режим доступа: <http://perforator.su/tekhnologiya.html>.

38 Установка для прокола грунта МК-ТБ-08. (2022). Машинобудівельна компанія "Тясмін Бурмаш". Режим доступу: <http://mktb.com.ua/ua/production/ustanovki-dlya-prokola-grunta/ustanovka-dlya-prokola-grunta-mk-tb-08.html>. (дата звернення: 07.07.2023).

39 Руднев, В., Супонев, В. & Хачатурян, С. (2013). Ефективність використання газового змащення при проколюванні ґрунту. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* № 2, 2-6. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2013_2_2.

40 Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів: від 28 лютого 2008 №174/2008. Указ Президента України. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/174/2008#Text>. (дата звернення: 07.07.2023).

40 Ustanovki napravlenogo prokolu UNP-575, UNP-325, UNP-1200. (2022) Kompaniya «Chikur». Odesa. Режим доступу: <http://chikur.com/gnb-odessa.php> . (дата звернення: 07.07.2023).

41 Баловнев, В. & Хмара, Л. (1988). Повышение производительности машин для земляных работ. Киев.

42 Willoughby, D. (2005). Horizontal Directional Drilling: Utility and Pipeline Applications, McGraw-Hill, New York.

43 Pridmore, A., & Geisbush, J. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. Pipelines 2017: Planning and Design (553 - 563).

44 Супонев, В. (2020). Методологічні основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті: дис. д-ра техн. наук. Харків.

45 Супонев, В. & Олексин, В. (2010). Обоснование параметров установок для бестраншейной прокладки распределительных сетей инженерных коммуникаций методом гидростатического прокола. Энергосбережение энергетика энергоаудит. – 2010. – (№5.), 66-74.

46 Полтавцев, И., Ляхович, И. & Орлов, В. (1973). Комплексная механизация строительства линий связи. Киев.

47 Кравець, С., Супонев, В., Посмітюха, О., & Балесний, С. (2021). Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті. Монографія. Харків.

48 Бабич, С., & Крусь, Ю. (2001). Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Підручник. Рівне.

49 Якименко, О. (2018). Земляні роботи. Навчальний посібник. Харків.

50 Терцаги, К. Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G., (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Ed. Wiley-Interscience. ISBN 0-471-08658-4.

- 51 Балесный, С. (2017). Особенности процессов статического прокола грунта. Вісник ХНАДУ. Вип. 76, 138–141.
- 52 ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4905 (дата звернення: 20.08.2022).
- 53 Najafi, M. and Sanjiv, Gokhale. (2021). Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal, Second Edition Hardcover. McGraw-Hill Education.
- 54 Jian, Xin (2014). Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology / [Electronic resource] // International Conference on Pipelines and Trenchless Technology. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>. (date of apped: 20.08.2022).
- 55 Пристрій для безтраншейної прокладки інженерних комунікацій: Пат. 109838 Україна: 2006.01. Опубл. 12.09.2016. Бюл. № 17.
- 57 Установка для керованого проколу ґрунту. Пат. 95501 Україна. 2006.01. № u201407764; заявл. 10.07.2014; опубл. 25.12.2014. Бюл. №24.
- 58 ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=78687 (дата звернення: 20.08.2022).
- 59 Супонев, В., Олексин, В. & Вивчар, С. (2014). Требования, выдвигаемые к параметрам горизонтальных скважин, и эффективность бестраншейных методов их разработки. Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. (№65–66), 101-106.
- 60 Кравець, С. (2008). Теорія руйнування робочих середовищ. Навчальний посібник. Рівне.
- 61 Руднев, В., Супонев, В. & Олексин, В. (2013). Расширение горизонтальных скважин кольцевыми ножами. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – Харьков: №3, 72-77.
- 62 Закон України «Про землеустрій». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

63 Закон України. «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2480-17#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

64 Закон України. «Про охорону земель». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

65 Кравець, С., Лук'янчук, О. & Тимейчук, О. (2011). Дослідження робочих процесів машин і методи оптимізації. Навчальний посібник. Рівне.

66 Кравець, С., Кованько, В., & Лук'янчук, О. (2015). Наукові основи створення землерийно-ярусних машин і підземно рухомих пристроїв. Монографія. Рівне.

67 Полтавцев, И., Ляхович, И. & Орлов, В. (1977). Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства. Киев.

68 ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51079 (дата звернення: 20.08.2022).

69 ДСТУ Б 8.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації будинків і споруд та кабельної каналізації. Технічні умови. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=40207 (дата звернення: 20.08.2022).

70 ДБН В.2.5 – 74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54058 (дата звернення: 20.08.2022).

71 ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62131 (дата звернення: 20.08.2022).

72 ДБН В.2.5 – 75: 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Режим доступу

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54057 (дата звернення: 20.08.2022).

73 «Про затвердження Правил охорони магістральних трубопроводів», від 16.11.2002 № 1747. Постанова - Кабінету Міністрів України. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1747-2002-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

74 «Про затвердження Правил охорони електричних мереж», від 04.03.1997 р. № 209. Постанова - Кабінету Міністрів України. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/209-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

75 Antonets Yu., & Obozny A. L. (2020). XLPE-INSULATED POWER CABLES for voltages from 6 kV up to 30 kV. PJSC Factory "Yuzhcable". Kharkiv.

76 ВБН В.2.2-45-1-2004. Проектування телекомунікацій. Лінійно-кабельні споруди (рос). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=6920 (дата звернення: 20.08.2021).

76 Сідак, В. & Дудолод, О. (2006). Комплексні підходи до керування надійністю систем газопостачання. Навчальний посібник. Харків.

77 ГБН В.2.5-00013741-72:2013. Зовнішні мережі та споруди. Кабельні лінії напругою до 10000 В з використанням гнучких гофрованих двошарових труб із поліетилену. Проектування. Режим доступу http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=57279 (дата звернення: 20.08.2022).

78 НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=47257 (дата звернення: 20.08.2022).

79 СОУ-Н МПЕ 40.1.20.509:2005. Експлуатація силових кабельних ліній напругою до 35 кВ. Інструкція. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=63843. (дата звернення: 07.07.2023).

80 СОУ 40.1-31032472-12:2009. Монтаж кабельних ліній напругою до 10000 В з використанням гнучких гофрованих двошарових труб із поліетилену. Інструкція. Режим доступа: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27603 (дата звернення: 07.07.2023).

81 ДБН В.2.5.16-99. Інженерне обладнання споруд, зовнішніх мереж визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж. Режим доступа http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4692 (дата звернення: 20.08.2022).

82 ДБН В.2.3-18:2007. Трамвайні та тролейбусні лінії. Загальні вимоги до проектування. Режим доступа http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54057 (дата звернення: 20.08.2022).

83 Пенчук, В. (2010). Винтовые сваи и анкеры для опор. Монография. Донецк.

84 Супонев, В., Хачатурян, С. & Олексин, В. (2016). Исследование процесса изменения состояния грунта вокруг горизонтальной скважины после её формирования методом статического прокола грунта. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. (№73), 202-205.

85 Хачатурян, С. (1983). Взаимодействие с грунтом и выбор параметров прокалывающего рабочего органа с газовой смазкой. Дис. канд. тех. наук. Харків.

88 Najafi, M. (2010). Trenchless technology piping. Installation and inspection / ASCEpress, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia.

89 Руднев, В. (1964). Результаты по резанию грунтов прямолинейными ножами. Изв. ВУЗов. Строительство и архитектура. №9, 112-117.

90 Руднев, В. (1974). Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия. Харьков.

91 Супонев, В. & Олексин, В. (2014). Определение допустимого диаметра скважины и способ его увеличения для бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций методом прокола. Prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu. Panstwowego Instytutu Badawczego, dawczego, № 194 Wydanie konferencyjne Techniki I technologie dla gazownictwa – pomiary, badania, eksploatacja. 173-182.

92 Кравець, С., Супонєв, В. & Посмітюха, О. (2021). Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті. Монографія. Харків.

93 Хмара, Л., Кравець, С. & Скоблюк, М. (2014) Машини для земляних робіт. Н Навчальний посібник. Рівне – Дніпропетровськ – Харків.

94 Кравець, С., Посмітюха, О. & Супонєв, В. (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.

http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmpm_2017_97_14.

95 Кравець, С., Посмітюха, О. & Супонєв, В. (2017). Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конічно-циліндричного наконечника з виступами для проколювання ґрунту. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. (4(70)), 89-97. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_4_12.

96 Седак, В., Супонев, В. & Каслин, Н. (2011). Надёжность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения. Монография. Харьков.

97 Супонев, В. & Каслин, Н. (2008) Оценка качества безопасности инженерно-коммуникационных сетей. Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник ХНАГХ. (84), 414-418.

98 Корнеєнко, С. (2016). Дослідження складу, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Навчальний посібник. Київ. Режим доступу: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/soils_properties.pdf (дата звернення: 20.08.2023).

99 Penchuk, V., Rudnev, V., Saenko, N., & at all. (2015). Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. Magazine of Civil Engineering, 2015. №2, 100–107. Access Mode: doi: 10.5862/MCE.54.11.

100 Вивчар, С. (2017). Закономерности процессов горизонтального завинчивания винтового прокалывающего рабочего органа в ґрунт. Вестник ХНАДУ и Северо-Восточного научного центра Транспортной академии Украины. Вып. №78, 129–130.

- 101 Хмара, Л., Кравець, С. & Скоблюк, М. (2014) Машини для земляних робіт. Підручник. Харків.
- 102 Хачатурян, С. (2013). Фізичне моделювання та багатофакторний експеримент для визначення зусилля проколювання робочим органом активної дії. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). (1(36)), 238-243.
- 103 Шульга, М., Деркач, І. & Алексахін, О. (2007). Інженерне обладнання населених місць. Підручник. Харків.
- 104 Standart IEC 60287-1-1:2001. Electric cables - Calculation of the current rating. Part 1-1. Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – General.
- 105 Standart IEC 60287-3-1:1998.1 Electric cables- Calculation of the current rating. Part 3-1. Sections on operating conditions - Reference operating conditions and selection of cable type.
- 106 Standart IEC 60287-2-1:2001. Electric cables - Calculation of the current rating. Part 2-1. Thermal resistance - Calculation of thermal resistance.
- 107 Васильєв, С. (1980). Подземное строительство неглубокого заложения. Львов.
- 108 Posmitiukha, O., Hlavatskyi, K., Kravets, S., Suponyev, V. and Koval, A. (2020). Analytical method of determining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure tracks. 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020), Dnipro, Ukraine, Volume 985.
- 109 Posmituha, O., Kravets, S., Suponyev, V., & Hlavatskyi, K. (2018). Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018). Section: Railways, Subways and Industrial Transport. Article Number-01011, 230. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001011>. (date of apped: 20.08.2022).
- 110 Сукач, М. (2002). Закономірності взаємодії робочих органів землерийних машин з підводними в'язкопластичними ґрунтами: дис. д-ра техн. наук. Київ.

111 ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456 (дата звернення: 20.08.2022).

112 ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25399 (дата звернення: 20.08.2022).

113 ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54094 (дата звернення: 20.08.2022).

114 ДСТУ Б А.3.2-15:2011. Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27975 (дата звернення: 20.08.2022).

115 ЗАКОН УКРАЇНИ «Про охорону праці». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (дата звернення: 20.08.2023).

116 НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 20.08.2023).

117 Посмітюха, О., Главацький, К. & Кулаженко, Є. (2019). Моделювання процесу проколювання ґрунту плоским клиновим робочим органом для отримання горизонтальних порожнин у ґрунті. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. ДНУЗТ, 2019, 244-245. <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/15301/1/Martinov.pdf>

118 Кравець, С. & Посмітюха, О. (2018). Експериментальні дослідження проколу ґрунту наконечником для формування прямокутної порожнини. Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів, 35-36. <https://diit.edu.ua/upload/files/shares/mex/tezi.pdf>

119 ДСТУ Б Д.1.1-1:2013. Правила визначення вартості будівництва. Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53879 (дата звернення: 20.08.2022).: 20.08.2021).

120 ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6431 (дата звернення: 20.08.2022).

121 ДСТУ Б Д.1.1-7:2013. Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=29369 (дата звернення: 20.08.2022).

122 Кузенко, Л., Вантух, З., Кузенко, Д. & Панюра, Я. (2021). Дорожньо-будівельні машини. Навчальний посібник. Київ.

123 Кузьмінець, М. (2013). Формування комплексу спеціальних землерийних машин для роботи в умовах діючих магістральних трубопроводів. Дис. д-ра техн. наук. Київ.

124 Хачатурян, С. (2012). Визначення параметрів повітряного змащення робочих органів пристроїв для проколювання ґрунту. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. (42 ч. II.), 152-157.

125. Хмара, Л., Колесник, Н. & Станевский, В. (1992). Модернизация и повышение эффективности производительности строительных машин. Киев.

126. Посмітюха, О. (2023). Теоретичне визначення сил розширення технологічної порожнини у ґрунті клиново-призматичними та конічно-циліндричними робочими органами. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. (2 (101)). DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.80.

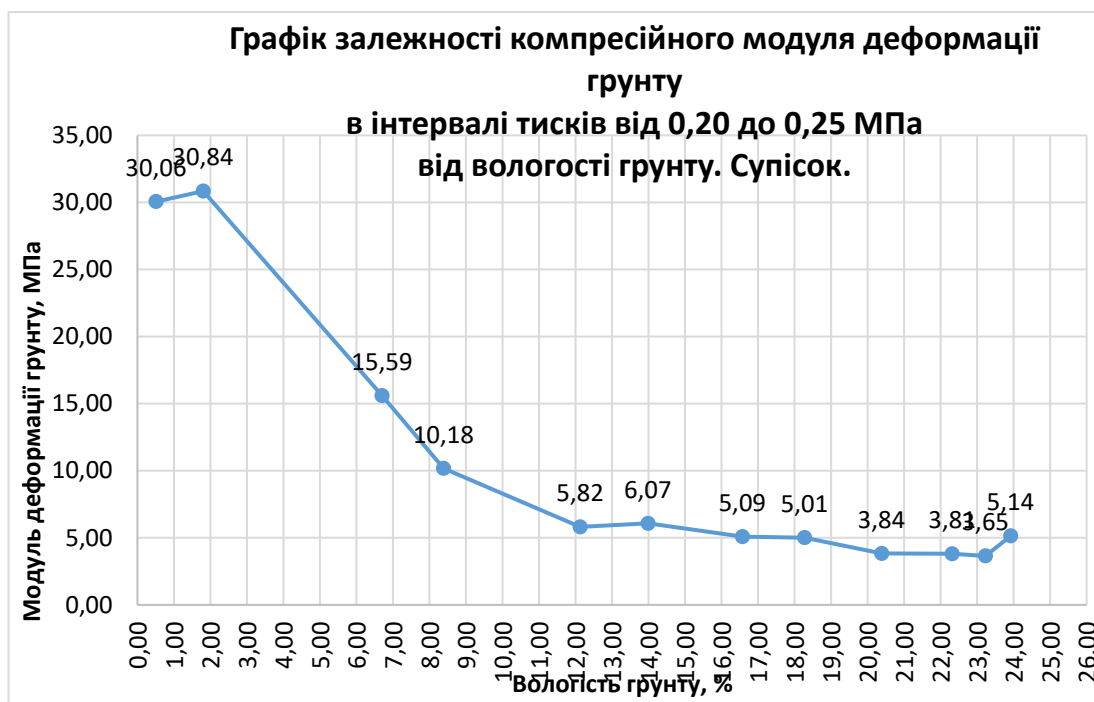


Рисунок А-1 – Залежність компресійного модуля деформації E_{gr} від вологості ґрунту. Твердий супісок. Інтервал тисків від 0,20 до 0,25 МПа

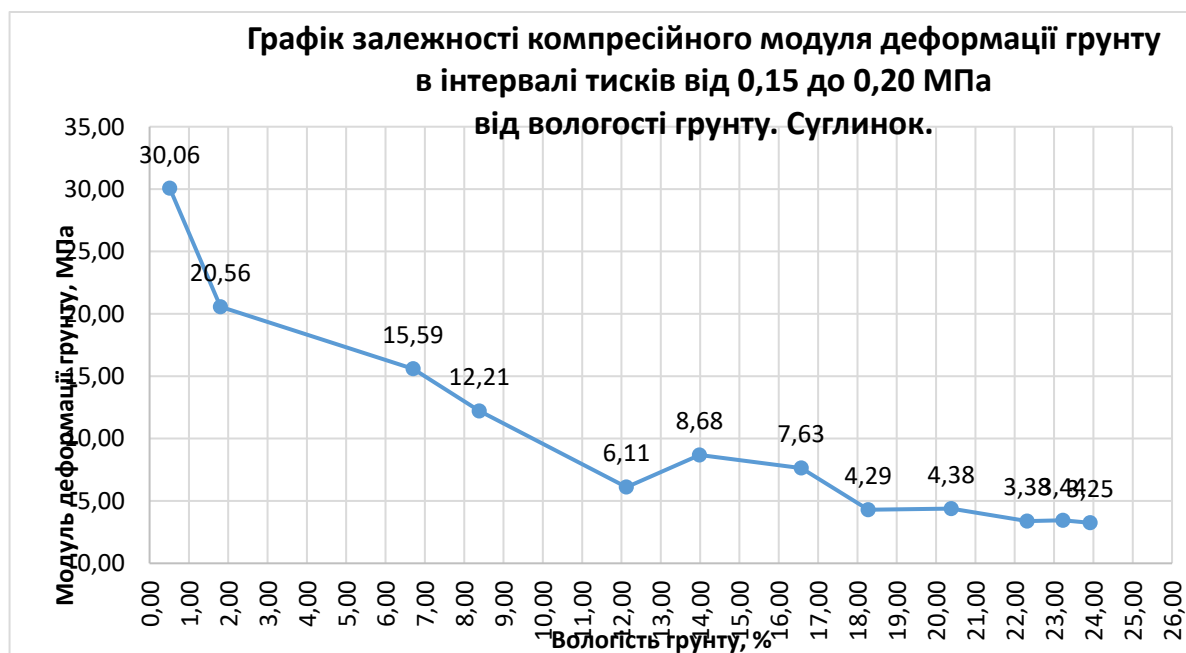


Рисунок А-2 – Залежність компресійного модуля деформації E_{gr} від вологості ґрунту. Напівтвердий суглинок. Інтервал тисків від 0,20 до 0,25 МПа

Таблиця А-3 – Протоколи дослідження ґрунту. Лабораторний ґрунт - пісок.
Інтервал тисків від 0,20 до 0,25 МПа

№ зразка	Позн.	Одиниці виміру	1	2	3	4	5	6
Вологість	W	%	7,5	9	10,5	12	13,5	15
вологість min	ω_{min}	%	6	6	6	6	6	6
вологість max	ω_{max}	%	12	12	12	12	12	12
Щільність ґрунту в природному стані	r	г/см ³	1,782	1,801	1,809	1,803	1,871	1,921
Щільність ґрунту в сухому стані	r_d	г/см ³	1,658	1,652	1,637	1,61	1,648	1,67
Щільність твердої фази ґрунту (щільність часток)	r_s	г/см ³	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
Коефіцієнт пористості	e		0,377	0,379	0,385	0,395	0,38	0,372
Питоме зчеплення	C	кПа	0	0	0	0	0	0
Кут внутрішнього тертя	f_0	град.	39	38	37	36	38	40
Коефіцієнт Пуассона	μ		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Коефіцієнт компресії	c_k	МПа ⁻¹	0,093	0,119	0,139	0,059	0,068	0,05
мін	c_k	МПа ⁻¹	0,294	0,42	0,546	0,672	0,798	0,924
max	c_k	МПа ⁻¹	0,378	0,54	0,702	0,864	1,026	1,188
Компресійний модуль E_{gr}	E_{gr}	МПа	12,97	10,25	8,83	21,22	17,94	24,14
	E_{gr}	МПа	5,458	3,833	2,976	2,459	2,022	1,723
	E_{gr}	МПа	17,254	13,528	11,689	28,006	23,729	31,848
Щільність твердої фази ґрунту	$\rho_{тв}$	т/м ³	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
Щільність ґрунту в природному стані	ρ_{np}	т/м ³	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79

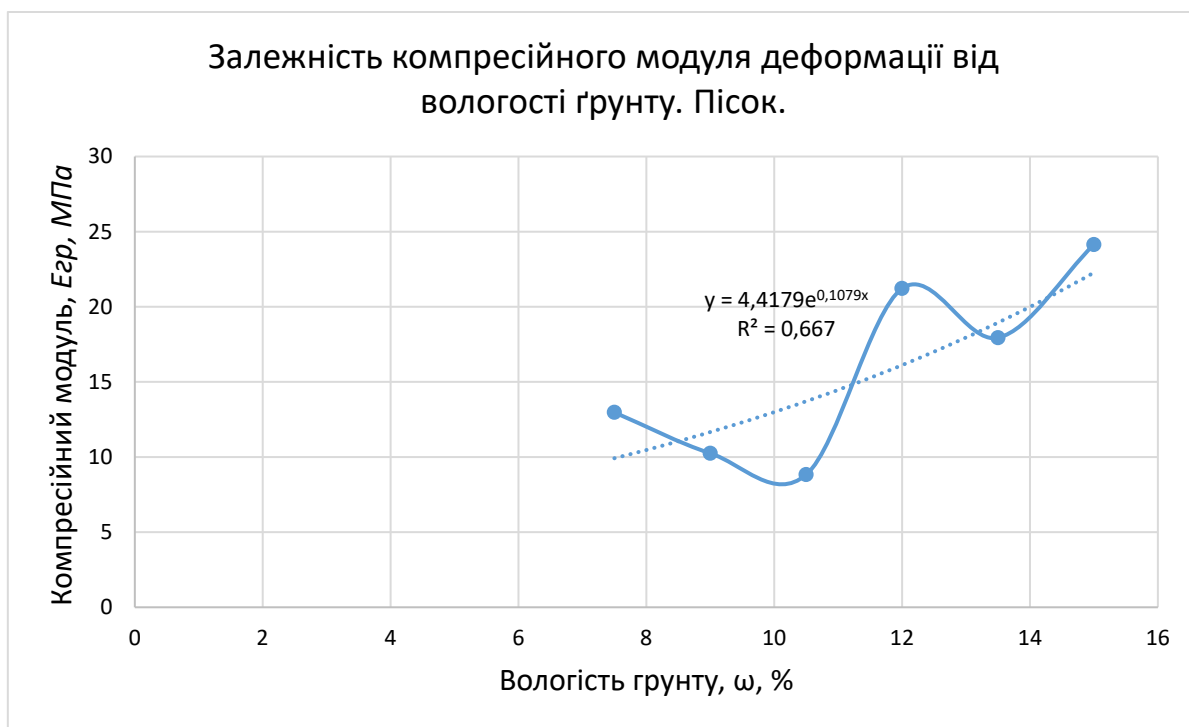


Рисунок А-3 – Залежність компресійного модуля деформації E_{gr} від вологості ґрунту. Лабораторний ґрунт – пісок. Інтервал тисків від 0,20 до 0,25 МПа

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (додаткові дані)

Таблиця Б-1 – Значення зусилля розширення ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,7 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів		Дослід							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Вологість ґрунту, %	Н	8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1320	1300	1262	1227	1195	1180	1152	1152
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1274	1183	1132	1104	1102	1098	1004	985
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 2.}^{\text{теор}}$	2358	2308	2214	2128	2050	2013	1943	1943
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 2.}^{\text{лаб.}}$	2181	2215	2012	2104	1993	1899	1803	1742
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 3.}^{\text{теор}}$	2418	2365	2266	2176	2093	2054	1981	1981
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 3.}^{\text{лаб.}}$	2336	2256	2181	2048	2011	1765	2162	2141
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 4.}^{\text{теор}}$	2615	2562	2463	2373	2290	2251	2178	2178
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 4.}^{\text{лаб.}}$	2584	2543	2232	2104	2164	2058	2304	2246
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1320	1300	1262	1227	1195	1180	1152	1152
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1204	1195	1135	1104	1103	1081	981	995
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	2586	2537	2445	2362	2286	2250	2183	2183
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	2464	2425	2337	2304	1971	1944	1960	2026
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	2322	2295	2244	2198	2155	2136	2098	2098
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	2115	2135	2095	1962	2078	2065	1862	2058
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	3578	3533	3450	3374	3305	3272	3210	3210
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	3318	3224	3254	3125	2981	3067	2900	3137

Таблиця Б-2 – Значення зусилля проколювання ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,7 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів	Н	Вологість ґрунту, %							
		8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}2.}^{\text{теор}}$	2192	2145	2059	1980	1908	1874	1810	1810
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}3.}^{\text{теор}}$	3391	3318	3184	3060	2948	2895	2795	2795
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}4.}^{\text{теор}}$	4590	4491	4308	4141	3988	3916	3780	3780
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	4116	4035	3883	3744	3617	3557	3445	3445
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	3994	3913	3762	3625	3499	3439	3328	3328
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	5915	5798	5579	5379	5196	5110	4948	4948

Таблиця Б-3 – Значення зусилля проколювання ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,6 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів	Н	Вологість ґрунту, %							
		8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}2.}^{\text{теор}}$	2168	2121	2035	1956	1884	1850	1786	1786
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}3.}^{\text{теор}}$	3357	3285	3150	3027	2914	2861	2762	2762
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma\text{клин}4.}^{\text{теор}}$	4547	4449	4266	4098	3945	3873	3738	3738
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	4037	3955	3803	3665	3537	3478	3365	3365
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	4621	4525	4348	4186	4038	3968	3837	3837
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma\text{кон}2.}^{\text{теор}}$	5803	5685	5466	5267	5083	4998	4836	4836

Таблиця Б-4 – Значення зусилля розширення ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,6 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів		Дослід							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Вологість ґрунту, %	Н	8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1259	1238	1200	1166	1134	1119	1091	1091
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1180	1155	1128	1058	1035	1032	998	983
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 2.}^{\text{теор}}$	2335	2285	2191	2105	2027	1990	1920	1920
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 2.}^{\text{лаб.}}$	1629	1792	1787	1664	1756	1793	1685	1373
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 3.}^{\text{теор}}$	2403	2350	2251	2161	2078	2040	1966	1966
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 3.}^{\text{лаб.}}$	2436	2202	1995	1973	1936	1930	2086	1823
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 4.}^{\text{теор}}$	2572	2519	2420	2330	2247	2209	2135	2135
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin} 4.}^{\text{лаб.}}$	2595	2770	2363	2108	2224	2301	2430	2126
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1259	1238	1200	1166	1134	1119	1091	1091
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1279	1162	1104	1088	1108	1130	1018	995
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	3152	3090	2977	2872	2777	2732	2648	2648
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	2869	2825	2995	2991	3030	2987	2532	2374
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	2159	2132	2082	2035	1993	1973	1936	1936
Конічно-циліндричний РО, 3 футляри	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	2178	2293	1962	1950	1884	1866	1913	1965
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	2676	2640	2574	2513	2457	2431	2382	2382
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{лаб.}}$	2665	2577	2604	2488	2488	2588	2561	2571

Таблиця Б-5 – Значення зусилля розширення ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,5 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів		Дослід							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Вологість ґрунту, %	Н	8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1197	1177	1139	1104	1072	1057	1029	1029
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1237	1121	963	844	786	771	725	662
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}2.}^{\text{теор}}$	2191	2143	2054	1973	1898	1864	1798	1798
Клиново-призматичний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}2.}^{\text{лаб.}}$	2122	1868	1823	1600	1525	1473	1680	1309
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}3.}^{\text{теор}}$	2389	2336	2237	2146	2064	2025	1952	1952
Клиново-призматичний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}3.}^{\text{лаб.}}$	2085	2315	1968	1893	1779	1761	1795	1475
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}4.}^{\text{теор}}$	2530	2477	2378	2287	2205	2166	2093	2093
Клиново-призматичний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{clin}4.}^{\text{лаб.}}$	2516	2415	1986	2010	1964	2061	2073	1760
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{теор}}$	1197	1177	1139	1104	1072	1057	1029	1029
Пілотний РО, d_l	$P_{\Sigma \text{кон.}}^{\text{лаб.}}$	1157	1153	1107	1079	1077	983	913	908
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{теор}}$	3071	3010	2896	2792	2697	2652	2568	2568
Конічно-циліндричний РО, 2 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{лаб.}}$	2737	2803	2493	2488	2552	2367	1886	1850
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{теор}}$	1797	1773	1727	1686	1648	1630	1596	1596
Конічно-циліндричний РО, 3 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{лаб.}}$	1936	1835	1926	1685	1330	1621	1521	1840
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{теор}}$	2490	2454	2388	2327	2271	2245	2196	2196
Конічно-циліндричний РО, 4 ф.	$P_{\Sigma \text{кон}2.}^{\text{лаб.}}$	2562	2456	2532	2350	2072	2210	1964	2484

Таблиця Б-6 – Значення зусилля проколювання ТПГ в лабораторних умовах моделями РО на глибині 0,5 м, ґрунт пісок

Типи РО, кількість та розташування в них футлярів	Н	Вологість ґрунту,							
		8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,1
Клиново-призматичний РО, 2 ф	$P_{\Sigma \text{клин} 2.}^{\text{теор}}$	2144	2097	2011	1932	1860	1826	1762	1762
Клиново-призматичний РО, 3 ф	$P_{\Sigma \text{клин} 3.}^{\text{теор}}$	3324	3252	3117	2994	2881	2828	2728	2728
Клиново-призматичний РО, 4 ф	$P_{\Sigma \text{клин} 4.}^{\text{теор}}$	4504	4406	4223	4056	3902	3830	3695	3695
Конічно-циліндричний РО, 2 ф	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	3957	3876	3724	3585	3458	3398	3286	3286
Конічно-циліндричний РО, 3 ф	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	4542	4447	4270	4108	3960	3890	3759	3759
Конічно-циліндричний РО, 4 ф	$P_{\Sigma \text{кон} 2.}^{\text{теор}}$	5690	5573	5354	5154	4971	4885	4723	4723

Таблиця Б-7 – Енергоємність руйнування ґрунту при розширенні ТПГ залежно від кількості футлярів та форми робочого органу, при діаметрі футлярів 100 мм, кількості – $n=1 \dots 5$ шт, діаметр пілотного РО $d_{\text{п}} = 0,08$ м, глибина прокладання комунікацій $h=1.5$ м:

Кількість футлярів	Розмір ТПГ	Площа отриманого ТПГ,	Енергоємність руйнування ґрунту, Дж			
			Клиново-призматичний РО			
шт	м	м ²	Кл.Супіс.	Кл.Сугл.	Кл.Тгп.гл.	Кл.Пісок
1	0,08	0,005	2399,56	1897,76	1476,78	5129,97
2	0,1	0,018	543,20	260,93	198,98	1764,93
3	0,1	0,028	348,45	167,39	127,65	1132,14
4	0,1	0,038	256,69	123,31	94,03	833,99
5	0,1	0,048	203,28	97,65	74,47	660,46
			Конічно-циліндричний РО			
			Кон.Супіс.	Кон.Сугл.	Кон.Тгп.гл.	Кон.Пісок
1	0,08	0,005	2399,562	1897,76	1476,781	5129,975
2	0,2	0,031	951,454	468,4859	360,2186	3066,727
3	0,216	0,037	202,0886	158,6086	136,8592	524,1126
4	0,241	0,046	273,2772	188,6584	158,7029	764,3394
5	0,27	0,057	270,244	187,2206	157,6113	754,4429

ДОДАТОК В

ПРОГРАМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПРОКОЛЮВАННЯ

Програма для визначення сили проколювання ТПГ робочими органами при керованому статичному проколюванні ґрунту для ЛПО

Інтерфейс програми - зовнішній вигляд

Рисунок В-1 – Інтерфейс програми для підрахунку зусилля проколювання ТПГ – вибір типу ґрунту

Рисунок В-2 – Інтерфейс програми для підрахунку зусилля проколювання ТПГ – вибір форми робочого органу (клиново призматичний РО)

Рисунок В-3 – Інтерфейс програми для підрахунку зусилля проколювання ТПГ – вибір типу футляру

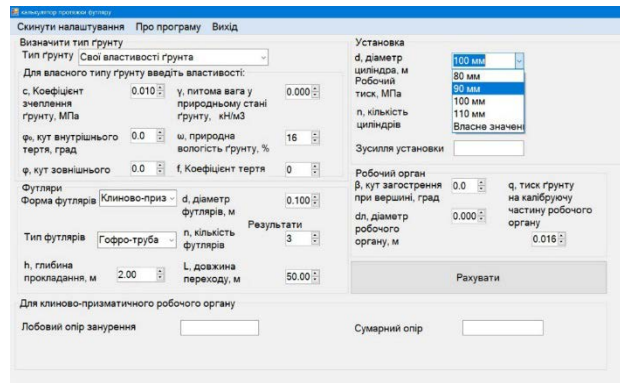


Рисунок В-4 – Інтерфейс програми для підрахунку зусилля проколювання ТПГ – силових параметрів установки

Алгоритм розрахунку параметрів обладнання для створення свердловин методом статичного проколу ґрунту (частково)

Файл “func.cpp”

```
#include "Header.h"
#include <iostream>
#include <math.h>
#define PI 3.141592653589793238462643
using namespace std;
double GradToRad(double beta) //перевод из градусов в радиані для тригонометрический функций
    return beta * (PI / 180);
double tg(double beta)//нахождение тангенса по основному свойству тангенса
    return sin(GradToRad(beta)) / cos(GradToRad(beta));
/// <summary>
/// показатель сигма-сжимающее напряжения
/// напряжения на границі пружної і пластичної зон визначили Кравець С. В. і Кованько В. В. [60]. був у МПа, перевели у Па
/// </summary>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, m</param>
/// <returns></returns>
float syigma(TypGrundy grunt, float h)
    double fi_0 = GradToRad(grunt.fi_0);
    float A = sin(fi_0) * (3 - sin(fi_0));
    float B = 3.0 * grunt.c * cos(fi_0) - 2.5 * grunt.c * sin(2.0 * grunt.fi_0) + grunt.gama * h * (1 + sin(fi_0));
    float C = (grunt.gama * h * (1 + sin(fi_0)) + 4.0 * (grunt.c) * cos(fi_0)) * grunt.c * cos(fi_0);
    return (abs((B + (sqrt(B * B + 4 * A * C))) / (2 * A)));
/// <summary>
/// показатель лямда для подальших розрахунків
/// коефіц відношення зони руйнування до діаметру робочого органу
/// </summary>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, m</param>
/// <returns></returns>
float lamda(TypGrundy grunt, float h) {
    return ((grunt.gama * h + (grunt.c) / tg(grunt.fi_0)) * (pow(tg((PI / 4) + (grunt.fi_0 / 2)), 4.0))) / syigma(grunt, h);
/// <summary>
```

```

/// 2.69
/// максимальний граничний діаметр свердловини
/// при якому конічно-циліндричний наконечник з боковими виступами
/// вже не дозволяє знизити зусилля проколюванню
/// Для наступної за 2.40, для визначення
/// Лобового опору занурення конічно-циліндричного РО, kN
/// </summary>
/// <param name="d">діаметр циліндра, м</param>
/// <param name="beta">кут загострення ро, град</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="l_cylindric">Довжина калібруючої частини ро, m =<0.35</param>
/// <param name="q_cylindric"> калібруючий тиск ґрунту на циліндричну частину наконечника, МПа нужно перевести в Па</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, м</param>
/// <returns></returns>
float D_max(float d, double beta, TypGrundy grunt, float l_cylindric, float q_cylindric, float h)
    return 8.0 * (grunt.f) * (0.1 * lamda(grunt, h) * syigma(grunt, h) + (l_cylindric - 0.2) * q_cylindric) / (pow((1 + (syigma(grunt, h)) /
grunt.E_v), 2.0) - 1) * grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta)));/2.69
float D_opt(float d, double beta, TypGrundy grunt, float l_cylindric, float q_cylindric, float h)
    return 4.0 * (0.1 * grunt.f * lamda(grunt, h) * syigma(grunt, h) + grunt.f * (l_cylindric - 0.2) * q_cylindric) / (pow((1 + (syigma(grunt,
h)) / grunt.E_v), 2.0) - 1) * grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta)));/2.67}
/// </summary>
/// Лобовий опір занурення конічно-циліндричного РО, kN. 2.40(наступна за нею)
/// для обчислення звичайного (розділ 2.3.2)б та з виступами (розділ 2.3.4)
/// </summary>
/// <param name="n">кількість футлярів, що прокладаються одночасно</param>
/// <param name="d"> діаметр циліндра (з виступами-D_opt або D_max) </param>
/// <param name="beta">кут при вершині конуса </param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <returns></returns>
double LobovResistanceKonCylindric(int n, float d, double beta, TypGrundy grunt)
    return (PI / 8) * (pow((d * (1 + (1 / sin(GradToRad(PI / n))))), 2.0)) * grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta));
/// </summary>
/// Сумарний опір конічно-циліндричного РО 2.45
/// </summary>
/// <param name="d">діаметр циліндра, м</param>
/// <param name="beta">кут при вершині конуса, град</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, м</param>
/// <param name="l_cylindric">Довжина переходу, м</param>
/// <param name="q_cylindric">тиск ґрунту на циліндричну частину наконечника</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <returns></returns>
double sumaricResistanceKonCylindric(float d, double beta, float h,
    float l_cylindric, float q_cylindric, TypGrundy grunt)
    return ((PI * grunt.E_grunry * d * d) / 8) * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta)) + (0.1 * PI * lamda(grunt, h) * grunt.f * d * syigma(grunt,
h)) + PI * grunt.f * d * (l_cylindric - 0.2) * q_cylindric;
///=====
/// </summary>
///2.81
/// Лобовий опір занурення конічно-циліндричного РО, kN
/// розширення
/// </summary>
/// <param name="D">діаметр розширюючого конуса, мм; не знаю откуда мы его взяли</param>

```

```

/// <param name="d_l">Діаметр робочого органу (РО)</param>
/// <param name="beta_con">кут при вершині ро, grad</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="l_cylindric">Довжина переходу, m</param>
/// <param name="q_cylindric">тиск ґрунту на циліндричну частину наконечника</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, m</param>
/// <returns></returns>
double LobovResistanceKonCylindricRozshyrennya(float D, float d_l, double beta_con, TypGrundy grunt, float l_cylindric, float h)
{
    float tmp1 = PI * D * D / 8;
    float tmp2 = grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta_con));
    float tmp4 = sigma(grunt, h) / grunt.E_v;
    float tmp3 = (d_l * d_l + (tmp4)*d_l * d_l);
    float tmp5 = PI * tmp3 / 8;
    return tmp1 * tmp2 - (tmp5 * tmp2);
}

//2.33 наступна
/// <summary>
/// Лобовий опір занурення клиново-призматичного РО, kN
/// </summary>
/// <param name="n">кількість футлярів, що прокладаються одночасно</param>
/// <param name="d">розмір отвору умовного півконуса в який вписуються футляр, що прокладається</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="beta">кут при вершині конуса, grad</param>
/// <returns></returns>
double LobovResistanceKlynPrismatic(int n, float d, TypGrundy grunt, double beta) {
    return d * d * grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta)) * ((PI + 4 * (n - 1)) / 8);
}

//2.37
/// <summary>
/// </summary>
/// <param name="n">кількість футлярів, що прокладаються одночасно</param>
/// <param name="d">діаметр циліндра, m</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>
/// <param name="beta">кут при вершині конуса, grad</param>
/// <param name="b_n">довжина бокової поверхні наконечника;</param>
/// <param name="a_q">коефіцієнт пропорційності</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, m</param>
/// <returns></returns>
double sumaricResistanceKlynPrismatic(int n, float d, TypGrundy grunt, double beta, float b_n, float a_q, float h) {
    return ((PI + 4 * (n - 1)) / 8) * d * d * grunt.E_grunry * (1 + grunt.f * grunt.c * tg(beta)) + (PI * d + 2 * (n - 1) * d) * b_n * grunt.f *
    (2 * grunt.c * tg(PI / 4 + grunt.fi_0 / 2) + (a_q / 2) * h);
}

//2.54, (2.55 виходить з 2.54) діаметр оптимальний. Підставимо значення цієї функції як параметр d у 2.33
float d_optLobResistZVystup(int n, float b_n, float a_q, float h, double beta, TypGrundy grunt) {
    return (4 * grunt.f * b_n * (PI + 2 * (n - 1)) * (2 * grunt.c * tg((PI / 4) + (grunt.fi_0 / 2)) + (a_q / 2) * h)) / ((PI + 4 * (n - 1)) * (1 -
    (pow((1 - (sigma(grunt, h)) / grunt.E_v), 2.0))) * grunt.E_grunry * (1 + grunt.c * grunt.f * tg(beta)));
}

/// <summary>
/// Лобовий опір для клинового робочого органу з розширенням
/// </summary>
/// <param name="n">кількість футлярів, що прокладаються одночасно</param>
/// <param name="d">діаметр циліндра, m</param>
/// <param name="d_l">Діаметр робочого органу (РО)</param>
/// <param name="h">глибина прокладання порожнини, m</param>
/// <param name="beta">кут при вершині конуса, grad</param>
/// <param name="grunt">структурна змінна для кожного типу ґрунту</param>

```

```

/// <returns></returns>
double LobovResistanceKlynPrismaticRozshyrennya(int n, double d, double d_l, float h, double beta, TypGrunty grunt)
    return (PI + 4.0 * (n - 1) * d * d - PI * d_l * d_l * (1 + (sygma(grunt, h) / grunt.E_v))) * (grunt.E_grunry / 8.0) * (1 + grunt.f * grunt.c
* tg(beta));}

```

Файл «MyForm.h»

```

#pragma endregion

private: System::Void MyForm_Load(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e)
    TypGrunty NapivTverdiySupisok;
    NapivTverdiySupisok.omega = 18.5; //17...20
    NapivTverdiySupisok.c = 0.02 * (pow(10.0, 6)); //а нужно ли множить?
    NapivTverdiySupisok.fi_0 = 28.0;
    NapivTverdiySupisok.fi = 25.0;
    NapivTverdiySupisok.gama = 20.5;
    NapivTverdiySupisok.c_k = 1.08; //а нужно ли множить?
    NapivTverdiySupisok.E_grunry = 1.39; //а нужно ли множить?
    NapivTverdiySupisok.E_v=0.95; //а нужно ли множить?
    NapivTverdiySupisok.f = 0.532;
    TypGrunty TygoplastychnaGlyna;
    TygoplastychnaGlyna.omega = 27.5; //17...20
    TygoplastychnaGlyna.c = 0.04; //а нужно ли множить?
    TygoplastychnaGlyna.fi_0 = 18.0;
    TygoplastychnaGlyna.fi = 22.0;
    TygoplastychnaGlyna.gama = 20.5;
    TygoplastychnaGlyna.c_k = 2.81; //а нужно ли множить?
    TygoplastychnaGlyna.E_grunry = 0.631; //а нужно ли множить?
    TygoplastychnaGlyna.E_v=0.477; //а нужно ли множить?
    TygoplastychnaGlyna.f = 0.325;
    private: System::Void comboBoxD_SelectedIndexChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
        if (comboBoxD->SelectedIndex == 4)
            numericUpDownD->Visible = true;
            label21->Visible = true;
        else
            numericUpDownD->Visible = false;
            label21->Visible = false;
    private: System::Void comboBoxTypGrunty_SelectedIndexChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
        if (comboBoxTypGrunty->SelectedIndex == 3)
            groupBoxTypGruntyUser->Enabled = true;
        private: System::Void comboBoxForm_SelectedIndexChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
            if (comboBoxForm->SelectedIndex == 0)
                groupBoxKlyn->Visible = true;
                groupBoxKon->Visible = false;
            if (comboBoxForm->SelectedIndex == 1)
                groupBoxKon->Visible = true;
                groupBoxKlyn->Visible = false;
        private: System::Void button_tot_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
            TypGrunty TverdiySupisok;
            TverdiySupisok.omega = 0.12; //10...14
            TverdiySupisok.c = 0.04 * (pow(10.0, 6));
            TverdiySupisok.fi_0 = 23.0;
            TverdiySupisok.fi = 21.0;
            TverdiySupisok.gama = 21.0 * 1000;
            TverdiySupisok.c_k = 1.73 * (pow(10.0, -6));

```

```

TverdiySupisok.E_grunry = 0.892 * (pow(10.0, 6));
TverdiySupisok.E_v = 0.64 * (pow(10.0, 6));
TverdiySupisok.f = 0.424;
TypGrunty NapivTverdiySupisok;
NapivTverdiySupisok.omega = 18.5; //17...20
NapivTverdiySupisok.c = 0.02 * (pow(10.0, 6));
NapivTverdiySupisok.fi_0 = 28.0;
NapivTverdiySupisok.fi = 25.0;
NapivTverdiySupisok.gama = 20.5;
NapivTverdiySupisok.c_k = 1.08 * (pow(10.0, -6));
NapivTverdiySupisok.E_grunry = 1.39 * (pow(10.0, 6));
NapivTverdiySupisok.E_v = 0.95 * (pow(10.0, 6));
NapivTverdiySupisok.f = 0.532;
TypGrunty TygoplastychnaGlyna;
TygoplastychnaGlyna.omega = 27.5; //17...20
TygoplastychnaGlyna.c = 0.04 * (pow(10.0, 6));
TygoplastychnaGlyna.fi_0 = 18.0;
TygoplastychnaGlyna.fi = 22.0;
TygoplastychnaGlyna.gama = 20.5;
TygoplastychnaGlyna.c_k = 2.81 * (pow(10.0, -6));
TygoplastychnaGlyna.E_grunry = 0.631 * (pow(10.0, 6));
TygoplastychnaGlyna.E_v = 0.477 * (pow(10.0, 6));
TygoplastychnaGlyna.f = 0.325;
TypGrunty UserType;
UserType.omega = Convert::ToDouble(numericUpDownOmega->Value);
UserType.c = Convert::ToDouble(numericUpDownC->Value) * (pow(10.0, 6));
UserType.fi_0 = Convert::ToDouble(numericUpDownFi_0->Value);
UserType.fi = Convert::ToDouble(numericUpDownFi->Value);
UserType.gama = Convert::ToDouble(numericUpDownGama->Value);
UserType.c_k = Convert::ToDouble(numericUpDownC_k->Value) * (pow(10.0, -6));
UserType.E_grunry = Convert::ToDouble(numericUpDownE_grunty->Value) * (pow(10.0, 6));
UserType.E_v = Convert::ToDouble(numericUpDownE_v->Value) * (pow(10.0, 6));
UserType.f = Convert::ToDouble(numericUpDownF->Value);
int n = Convert::ToInt32(numericUpDownN_fut->Value); //диаметр футляров 0.08м до 0.215
float d; //диаметр цилиндра
if (comboBoxD->SelectedIndex == 0)
    d = 0.08;
if (comboBoxD->SelectedIndex == 1)
    d = 0.09;
if (comboBoxD->SelectedIndex == 2)
    d = 0.1;
if (comboBoxD->SelectedIndex == 3)
    d = 0.11;
if (comboBoxD->SelectedIndex == 4)
    d = Convert::ToDouble(numericUpDownD->Value) / 1000; //диаметр цилиндра
double beta = Convert::ToDouble(numericUpDownBeta->Value);
float d_l = Convert::ToDouble(numericUpDownD_l->Value); //диам роб орг
float D = 0.03;
float a_q = 0.3;
float b_n = 0.33;
float l_cylindric = Convert::ToDouble(numericUpDownL_fut->Value);
float h = Convert::ToDouble(numericUpDownH->Value); //0,8 м до 8 м

```

```

float q_cylindric = Convert::ToDouble(numericUpDownQ_cylindric->Value) * (pow(10.0, 6));
double LobResKonCyl, LobResKonCylZRoz, LobResKonCylZVystup, SumKonCyl, LobResKlynPrizm, KlynPrizmZRoz,
KlynPrizmZVyst, SumKlynPrizm;

if (comboBoxTypGrundy->SelectedIndex == 0)
    LobResKonCyl = LobovResistanceKonCylindric(n, d, beta, TverdiySupisok);
    LobResKonCylZRoz = LobovResistanceKonCylindricRozshyrennya(D, d_l, beta, TverdiySupisok, l_cylindric, h);
    float d_opt_KonCyl = D_opt(d, beta, TverdiySupisok, l_cylindric, q_cylindric, h);
    LobResKonCylZVystup = LobovResistanceKonCylindric(n, d_opt_KonCyl, beta, TverdiySupisok);
    SumKonCyl = sumarcResistanceKonCylindric(d, beta, h, l_cylindric, q_cylindric, TverdiySupisok);
    LobResKlynPrizm = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d, TverdiySupisok, beta);
    KlynPrizmZRoz = LobovResistanceKlynPrismaticRozshyrennya(n, d, d_l, h, beta, TverdiySupisok);
    float d_opt_KlynPrizm = d_optLobResistZVystup(n, b_n, a_q, h, beta, TverdiySupisok);
    KlynPrizmZVyst = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d_opt_KlynPrizm, TverdiySupisok, beta);
    SumKlynPrizm = sumarcResistanceKlynPrismatic(n, d, TverdiySupisok, beta, b_n, a_q, h);

if (comboBoxTypGrundy->SelectedIndex == 1)
    LobResKonCyl = LobovResistanceKonCylindric(n, d, beta, NapivTverdiySupisok);
    LobResKonCylZRoz = LobovResistanceKonCylindricRozshyrennya(D, d_l, beta, NapivTverdiySupisok, l_cylindric, h);
    float d_opt_KonCyl = D_opt(d, beta, NapivTverdiySupisok, l_cylindric, q_cylindric, h);
    LobResKonCylZVystup = LobovResistanceKonCylindric(n, d_opt_KonCyl, beta, NapivTverdiySupisok);
    SumKonCyl = sumarcResistanceKonCylindric(d, beta, h, l_cylindric, q_cylindric, NapivTverdiySupisok);
    LobResKlynPrizm = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d, NapivTverdiySupisok, beta);
    KlynPrizmZRoz = LobovResistanceKlynPrismaticRozshyrennya(n, d, d_l, h, beta, NapivTverdiySupisok);
    float d_opt_KlynPrizm = d_optLobResistZVystup(n, b_n, a_q, h, beta, NapivTverdiySupisok);
    KlynPrizmZVyst = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d_opt_KlynPrizm, NapivTverdiySupisok, beta);
    SumKlynPrizm = sumarcResistanceKlynPrismatic(n, d, NapivTverdiySupisok, beta, b_n, a_q, h);

if (comboBoxTypGrundy->SelectedIndex == 2)
    LobResKonCyl = LobovResistanceKonCylindric(n, d, beta, TygoplastychnaGlyna);
    LobResKonCylZRoz = LobovResistanceKonCylindricRozshyrennya(D, d_l, beta, TygoplastychnaGlyna, l_cylindric, h);
    float d_opt_KonCyl = D_opt(d, beta, TygoplastychnaGlyna, l_cylindric, q_cylindric, h);
    LobResKonCylZVystup = LobovResistanceKonCylindric(n, d_opt_KonCyl, beta, TygoplastychnaGlyna);
    SumKonCyl = sumarcResistanceKonCylindric(d, beta, h, l_cylindric, q_cylindric, TygoplastychnaGlyna);
    LobResKlynPrizm = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d, TygoplastychnaGlyna, beta);
    KlynPrizmZRoz = LobovResistanceKlynPrismaticRozshyrennya(n, d, d_l, h, beta, TygoplastychnaGlyna);
    float d_opt_KlynPrizm = d_optLobResistZVystup(n, b_n, a_q, h, beta, TygoplastychnaGlyna);
    KlynPrizmZVyst = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d_opt_KlynPrizm, TygoplastychnaGlyna, beta);
    SumKlynPrizm = sumarcResistanceKlynPrismatic(n, d, TygoplastychnaGlyna, beta, b_n, a_q, h);

if (comboBoxTypGrundy->SelectedIndex == 3)
    LobResKonCyl = LobovResistanceKonCylindric(n, d, beta, UserType);
    LobResKonCylZRoz = LobovResistanceKonCylindricRozshyrennya(D, d_l, beta, UserType, l_cylindric, h);
    float d_opt_KonCyl = D_opt(d, beta, UserType, l_cylindric, q_cylindric, h);
    LobResKonCylZVystup = LobovResistanceKonCylindric(n, d_opt_KonCyl, beta, UserType);
    SumKonCyl = sumarcResistanceKonCylindric(d, beta, h, l_cylindric, q_cylindric, UserType);
    LobResKlynPrizm = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d, UserType, beta);
    KlynPrizmZRoz = LobovResistanceKlynPrismaticRozshyrennya(n, d, d_l, h, beta, UserType);
    float d_opt_KlynPrizm = d_optLobResistZVystup(n, b_n, a_q, h, beta, UserType);
    KlynPrizmZVyst = LobovResistanceKlynPrismatic(n, d_opt_KlynPrizm, UserType, beta);
    SumKlynPrizm = sumarcResistanceKlynPrismatic(n, d, UserType, beta, b_n, a_q, h);

textBoxKonCylLobOpirZanur->Text = Convert::ToString(LobResKonCyl / (pow(10.0, 4)));
//textBoxKonCylLobOpirZanurZRoz->Text = Convert::ToString(LobResKonCylZRoz);
//textBoxKonCylLobOpirZanurZVyst->Text = Convert::ToString(LobResKonCylZVystup);
textBoxKonCylSumarc->Text = Convert::ToString(SumKonCyl / (pow(10.0, 4)));
textBoxKlynPrizmLobOpirZan->Text = Convert::ToString(LobResKlynPrizm / (pow(10.0, 4)));

```

```

//textBoxKlynPrizmLobOpirZanZRoz->Text = Convert::ToString(KlynPrizmZRoz);
//textBoxKlynPrizmLobOpirZanZVyst->Text = Convert::ToString(KlynPrizmZVyst);
textBoxKlynPrizmSumaric->Text = Convert::ToString(SumKlynPrizm / (pow(10.0, 4)));
private: System::Void проПпрограмуToolStripMenuItem_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    MessageBox::Show("fff", "Про програму",
        MessageBoxButtons::OK, MessageBoxIcon::Information);
private: System::Void вихідToolStripMenuItem_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    if (MessageBox::Show("Ви дійсно бажаєте вийти з програми?", "Вихід",
        MessageBoxButtons::YesNoCancel, MessageBoxIcon::Question) ==
        System::Windows::Forms::DialogResult::Yes)
        Close();
private: System::Void менюToolStripMenuItem_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    if (MessageBox::Show("Ви дійсно бажаєте скасувати всі налаштування?", "Скасувати налаштування",
        MessageBoxButtons::YesNoCancel, MessageBoxIcon::Question) ==
        System::Windows::Forms::DialogResult::Yes)
        numericUpDownOmega->Value = 0;
        numericUpDownC->Value = 0;
        numericUpDownFi_0->Value = 0;
        numericUpDownFi->Value = 0;
        numericUpDownGama->Value = 0;
        numericUpDownC_k->Value = 0;
        numericUpDownE_grunty->Value = 0;
        numericUpDownE_v->Value = 0;
        numericUpDownF->Value = 0;
        numericUpDownN_fut->Value = 0;
        numericUpDownD->Value = 0;
        numericUpDownBeta->Value = 0;
        numericUpDownD_l->Value = 0;
        float D = 0.03;
        float a_q = 0.3;
        float b_n = 0.33;
        numericUpDownL_fut->Value = 0;
        numericUpDownH->Value = 0;

```

ДОДАТОК Г

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ПРОКЛАДАННЯ ФУТЛЯРІВ

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"МОНТАЖНО-БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ СІНЕРГІЯ"



ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ»

/ Батир АЗІМОВ /

« » 2021 р.

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА
НА БЕЗТРАНШЕЙНЕ ПРОКЛАДАННЯ ГРУПИ ФУТЛЯРІВ
ДІАМЕТРОМ ДО 180 ММ РО КЛИНОВО-ПРИЗМАТИЧНОЇ ФОРМИ, АБО
ОДИНОКИХ ФУТЛЯРІВ ДО 400 ММ РО КОНІЧНО-ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ,
УСТАНОВКАМИ СТАТИЧНОГО КЕРОВАНОГО ПРОКОЛЮВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОРОЖНИН У ҐРУНТІ МКП-30-100

РОЗРОБЛЕНО:

«Український державний університет
науки і технологій»

Кафедра «Прикладна механіка та
матеріалознавство»

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

Сергій Ракша

Старший викладач

Олександр Посмітюха

Дніпро 2021

ВСТУП	3
1. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ	4
2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ РОБОТ	16
3. ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ТА ПРИЙМАННЯ РОБОТ	14
4. ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ І ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ	18
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	21

ВСТУП

Карта містить організаційно-технологічні та технічні рішення безтраншейного прокладання групи футлярів діаметром до 180 мм та одиноких футлярів діаметром до 500 мм установками статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті (далі ТПП) для улаштування лінійно-протяжних об'єктів (далі – ЛПО) з використанням клиново-призматичних робочих органів (далі – РО) та поступовим розширенням порожнин в піщаних, супіщаних, суглинистих та глинистих ґрунтах без твердих включень будь-якої вологості.

У технологічній карті наведено: сферу застосування, організацію та технологічну послідовність виконання робіт, вимоги до якості та приймання робіт, рішення з безпеки та охорони праці й техніко-економічні показники.

Вихідні дані та конструктивні рішення, стосовно яких розроблена карта, прийняті з урахуванням вимог будівельних норм, правил та стандартів.

Технологічна карта є складовою проектно-технологічної документації (далі ПТД) і може використовуватися під час будівельно-монтажних робіт у складі ПТД згідно з ДБН А.3.1-5-96 «Організація будівельного виробництва» і призначена для інженерно-технічних працівників будівельних організацій, виконавців робіт, майстрів та бригадирів, пов'язаних з підземним прокладанням труб, а також працівників технічного нагляду замовника робіт.

У розробці технологічної карти брали участь співробітники кафедри «Прикладна механіка та матеріалознавство» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедри «Будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання» Національний університет водного господарства та природокористування, головний інженер товариства з обмеженою відповідальністю «МОНТАЖНО-БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ СІНЕРГІЯ»:

- Олександр Посмітюха – розробка технологічної карти, комп'ютерна обробка та графіка;
- д.т.н. Сергій Ракша – технічне керівництво, коректура та нормоконтроль;
- д.т.н. Святослав Кравець – спільне керівництво розробкою технологічної документації;

– Олександр Самохвалов – загальне технічне керівництво розробкою технологічної карти, ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ».

Технологічна карта на безтраншейне прокладання групи футлярів діаметром до 180 мм РО клиново-призматичної форми, або одиноких футлярів до 400 мм РО конічно-циліндричної форми, установками статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті МКП-30-100 випускається вперше.

1. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. Технологічна карта призначена для використання лінійним виробничим та інженерно-технічним персоналом ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ» під час безтраншейного прокладання групи футлярів для ЛПО діаметром до 180 мм або одиноких футлярів до 400 мм, установками статичного керованого проколювання ТПП в піщаних, супіщаних, суглинистих та глинистих ґрунтах без твердих включень будь-якої вологості.

1.2. Технологічна карта застосовується під час безтраншейного прокладання групи футлярів для ЛПО під автошляхами, залізничними й трамвайними коліями, під злітно-посадковими смугами аеродромів, будівлями та спорудами, іншими об'єктами та комунікаціями, де неможливе або неприпустиме прокладання труб відкритим траншейним способом.

ЛПО прокладають в захисних футлярах, в якості яких використовують сталеві або поліетиленові труби розміри та характеристики, яких наведені в таблиці Г-1.

1.3. Прив'язка технологічної карти до місцевих умов будівництва полягає в уточненні обсягів робіт, засобів механізації, потреби в матеріально-технічних ресурсах, схеми організації процесу відповідно до фактичного типу, діаметра та кількості футлярів, що прокладаються одночасно, розміру РО та, за необхідності, кількість розширюючих проходів, калькуляції, календарного плану виконання робіт і використовується у складі ПТД згідно з ДБН А.3.1- 5- 96 «Організація будівельного виробництва».

Таблиця Г-1 – Розміри футлярів для ЛПО електромереж

Умовний перетин кабелю АПвЭгП, ПвЭгП, напругою 45-150кВ, мм	Внутрішній діаметр футляра, мм		Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, мм; ГБН В.2.5-00013741-72:2013	Труби сталеві, мм; ДСТУ 8938-2019
	у разі прокладання в трубі одного кабелю, $D \geq 1,5d$, мм	у разі прокладання в трубі трьох кабелів, $D \geq 1,5d$, мм		
44	66	132	63	70
46	69	138	75	76
47	70,5	141	90	88
48	72	144	110	95
56	84	168	125	102
58	87	174	160	108
60	90	180	200	114
62	93	186	250	127
63	94,5	189	315	133
66	99	198	400	140
70	105	210	500	152
75	112,5	225	-	159
83	124,5	249	-	168
86	129	258	-	178
91	136,5	273	-	180
96	144	288	-	219
98	147	294	-	245
100	150	300	-	325
105	157,5	315	-	356
110	165	330	-	377
114	171	342	-	426

1.4. Виконання підготовчих та заключних земляних робіт на об'єктах на території міста, дозволяється виконувати виключно на підставі узгодженого та отриманого ордеру, за затвердженою встановленим порядком документацією, на право проведення земляних робіт.

1.5 До складу робіт даної карти не увійшли роботи з розробки ґрунтів приямків, розбивки траси трубопроводу, що прокладається, встановлення сходів у приямки, транспортування обладнання та необхідних матеріалів.

2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ РОБОТ

2.1. Кероване проколювання з подальшим розширенням ТПП до необхідних розмірів клиново-призматичним РО виконують у два етапи.

На першому етапі формується пілотна свердловина за методом керованого проколу (рисунок Г-1, а)).

На другому етапі застосовуючи метод проколювання, поступово розширюють ТПП (рисунок Г-1, б-г)) за допомогою послідовного протягування клиново-призматичних РО. Кожен наступний прокол збільшується в розмірах на один футляр.

Розміри ТПП при цьому досягають необхідних значень, що виключають пошкодження дорожнього покриття і прилеглих комунікацій.

Діаметр ТПП визначають за формулою:

$$d_{\phi} = D_{\text{св}} \leq \frac{h}{4,4 + \frac{1}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}}}, \quad (1)$$

де h – глибина прокладання ТПП, м;

$D_{\text{св}}$ – діаметр ТПП традиційної круглої форми, м;

d_{ϕ} – розмір футляру для ЛПО, м;

n_0 – пористість ґрунту в природному стані, %.

Після остаточного розширення (в залежності від запасу тягового зусилля) паралельно затягують футляри, або окремо наступним проходом з калібруванням ТПП РО. Стальні футляри затягуються окремо після формування ТПП.

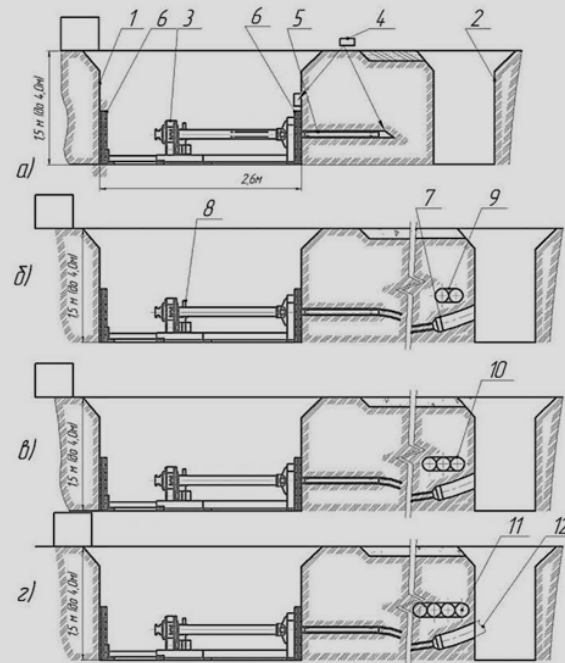


Рисунок Г-1 – Розробка ТПГ клиново-призматичним РО в обмежених міських умовах: а – пілотний прокол; б – розширення ТПГ клиново-призматичним РО розміром під два футляри; в – розширення ТПГ клиново-призматичним РО розміром під три футляри; г - розширення ТПГ клиново-призматичним РО розміром під чотири футляри та затягування футлярів. 1 – робочий прямок; 2 – прийомний прямок; 3 – силова установка з приводом обертання; 4 – локаційна система; 5 – штанга з пілотним буром; 6 – опорні плити; 7 – розширюючий РО; 8 – ключ тяговий; 9 – клиново-призматичний розширюючий РО для двох футлярів; 10 – клиново-призматичний розширюючий РО для трьох футлярів; 11 – клиново-призматичний розширюючий РО для чотирьох футлярів; 12 – цанговий захват для футлярів.

2.2. До початку виконання робіт з безтраншейної прокладки ЛПО необхідно:

- визначити наявність на ділянці перетинів будь-яких підземних комунікацій;
- узгодити проект з безтраншейного прокладання ЛПО методом статичного керованого проколювання з організаціями, у віданні яких перебувають комунікації і споруди, що перетинаються (узгодити з комунальними підприємствами: "Дніпроводоканал", "Теплоенерго",

"Міськесвітло", "Управління по ремонту та експлуатації автошляхів", "Дніпрометробуд", тощо);

- спроектувати трасу ЛПО, що прокладається;
- виконати планувальні роботи у зоні прокладки ЛПО;
- виконати земляні роботи по спорудженні робочого та приймального приямків;
- виконати кріплення стін приямків (при необхідності) або спорудити відкоси;
- встановити огорожі робочої зони, та сходів для проходу робітників у приямки;
- прокласти траєкторію майбутньої траси ТПП на поверхні землі;
- підвести на робочий майданчик робоче обладнання, інструменти та матеріали;
- встановити необхідні плакати, знаки безпеки та пояснюючі написи, що забороняють перебування сторонніх осіб у зоні виконання будівельно-монтажних робіт.

2.3. Технологічною картою з безтраншейного прокладання ЛПО клиново-призматичними РО установками статичного керованого проколювання МПК- 30- 100 ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», передбачається наступний перелік будівельно-монтажних операцій:

- остаточне формування робочого та приймального приямків вручну (через стиснені умови в умовах міста);
- кріплення торцевих стінок приямків, улаштування опорних плит та розпирання установки в робочому приямку;
- підготовка установки статичного керованого проколювання до роботи – подача штанг до приямку, встановлення локаційної системи;
- подача штанг та клиново-призматичних РО необхідних розмірів в приймальний приямок, для закілювання ставу при безперервній роботі;
- підключення установки до гідравлічної станції за допомогою рукавів високого тиску, прогрівання гідростанції;
- пілотне, кероване проколювання ґрунту та формування ТПП клиново-призматичними РО до необхідного розміру;

- закріплення футлярів цанговими захватами та приєднання до протяжного кільця або проколюючого РО;
- подача групи футлярів в приймальний котлован та протягування через готову ТПП;
- демонтаж установки статичного керованого проколювання, штанг, допоміжного обладнання.

2.4. Роботи зі спорудження переходів починають з геодезичної та геологічних досліджень місця прокладання ЛПО, визначення фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища в зоні прокладання ТПП, робочого і приймального приямків.

Розміри приямків визначають залежно від габаритів обладнання, та наявності місця на даній території.

Розміри **робочого** приямку в подовжньому напрямку повинна бути у межах 1,5 – 2,5 м, в поперечному напрямку – у межах 1,0–1.2 м,

Розмір **приймального** приямку:

– для сталевих футлярів – довжина повинна бути не менше довжини труб для вільного опускання на дно котловану і може становити 2, 3, 6 м;

для зварювальника **приймальний** приямок повинен мати мінімальні розміри

$$(1,0 + L)м / (D + 1,2)м / (0,7 + h)м, \quad (2)$$

де L – довжина сталюого футляра;

D – діаметр сталюого футляра;

h – глибина прокладання;

– для полімерних труб розмір приямку повинен відповідати допустимому радіусу вигину труби;

– для полімерних труб при температурі навколишнього середовища нижче +20 ° радіус вигину труби не повинен бути меншим допустимого.

$$R \geq 50d, \quad (3)$$

де d – діаметр футляра.

– для полімерних труб при температурі навколишнього середовища вище $+20^{\circ}$ слід приймати

$$R \geq 30d.$$

– ширина приймального котловану повинна бути не меншою, $d + 800$ мм.

У суглинках та глинах при можливому зволоженні їх внаслідок дощів або сніготанення крутизна укосів повинна бути 1:1.

Найбільша допустима крутизна укосів котлованів, що розробляються у ґрунтах природної вологості, відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів» та ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки труда. Охрана труда и промышленная безопасность в строительстве. Основные положения» (НПАОП 45.2-7.02-12) наведено у таблиці Г-2.

Відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009 з безпеки ведення робіт допускається розробка котлованів з вертикальними стінками в ґрунтах з природньою вологістю без застосування кріплення: на глибину до 1 м – в насипних і природного складання піщаних ґрунтах; до 1,25 м – у супісках; до 1,5 м – у суглинках та глинах.

Після розробки ґрунту приймків проводиться доробка ґрунту вручну, підчищаються стінки та основу приймків. Ґрунт викидається на брівку приймку або в транспортний засіб.

2.5. Після повної готовності ґрунтопроколюючої установки приступають до проколювання ТПГ. До складу робіт входять такі операції:

- спорядження пілотного бура локаційною системою та її калібрування;
- пілотне кероване проколювання ґрунту пілотним буром шляхом нарощування набірних штанг, при постійному обертання ставу, та корегуванні траскторії при необхідності;
- формування ТПГ клиново-призматичним РО для розширювання шляхом їх протягування в ґрунті за допомогою штанг;
- поетапне подальше розширення ТПГ клиново-призматичними РО;
- захоплення групи футлярів та їх протягування через ТПГ;
- тампонування футлярів.

Таблиця Г-2 – Найбільша допустима крутизна укосів котловану в ґрунтах природної вологості

Ґрунт	Найбільша крутизна укосів котлованів при глибині, м					
	до 1,5		1,5 - 3		3 - 5	
	Кут між напрямком укосу та горизонтом, градус	Відношення висоти укосу до його закладення	Кут між напрямком укосу та горизонтом, градус	Відношення висоти укосу до його закладання	Кут між напрямком укосу та горизонтом, градус	Співвідношення висоти укосу до його закладання
Насипний незлежаний	56	1:0,67	45	1:1	38	1:1,25
Піщаний та гравілістий вологий (ненасичений)	63	1:0,5	45	1:1	45	1:1
Супісок	76	1:0,25	56	1:0,67	50	1:0,85
Суглинок	90	1:0	63	1:0,5	53	1:0,75
Глина	90	1:0	76	1:0,25	63	1:0,5
Льосові	90	1:0	63	1:0,5	63	1:0,5
Примітки:						
1 При напластуванні різних видів ґрунту крутизна укосу призначають за найменш стійким видом від обвалення укосу.						
2 До насипних, що не злежалися, відносяться ґрунти з давністю відсипки до двох років для піщаних, до п'яти років - для пилувато-глинистих ґрунтів.						

2.6. Після закінчення роботи з прокладання ЛПО згідно проекту приступають до демонтажу обладнання, що включає:

- від'єднання установки від насосної станції;
- підйом ґрунтопроколюючої установки;
- завантаження обладнання на транспортний засіб.

2.7. При проколюванні особлива увага приділяється міцності опорної стінки, що сприймає опорні реакції від силового блоку проколюючої установки.

Характеристика ґрунтів та конструкції типових опорних стінок (при відстані від поверхні землі до осі футлярів понад 2 м) у різних ґрунтах наведено в таблиці Г- 3.

Таблиця Г-3 – Характеристика ґрунтів

Група ґрунтів	Характеристика та найменування ґрунтів	Орієнтовна величина кутів внутрішнього тертя, ρ
I	Слабкі ґрунти: водонасичені ґрунти, глини, суглинки і супіски в пластичному стані, близькому до межі текучості	$\rho \leq 18^\circ$
II	Ґрунти середньої міцності: дрібно- та середньозернисті піски (незалежно від вологості); глини, суглинки та супіски у пластичному стані	$\rho \leq 18 - 30^\circ$
III	Міцні глини	$\rho > 30^\circ$

2.8. Для безтраншейної прокладки ЛПО методом керованого проколу використовуються спеціальні установки, які підбираються в кожному окремому випадку індивідуально. Установки виробництва ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ» представлені в таблиці Г-4.

Таблиця Г-4 – Перелік установок для безтраншейної прокладки труб

Параметри	Значення	
Установка	МП-25	МПК-30-100
Габаритні розміри д/ш/в, мм	0,65/0,45/0,50	2,5(1,7)/0,6/0,5
Діаметр поршня гідроциліндра/ хід, мм/ мм	100/ 300	80/110-900/350
Кількість гідроциліндрів, шт	2	2
Швидкість подачі штанг , мм/с	0-50	0-50
Діаметр/довжина/ маса штанг, мм/мм/кг	63,5/850/14,5	63,5/850/14,5
Частота обертання штанг, об/хв	-	0-60
Гідростанція: - Потужність двигуна ДВЗ, кВт/ об/хв - продуктивність гідростанції, л/хв - Тиск, що розвивається, МПа	15/3200 12+45 20 (25)	
Діаметр проколу пілотного, мм	70	70/90/120

Продовження таблиці таблиці Г-4

1	2	3
Розмір розширення свердловини клиново-призматичними РО	2*(90; 127; 152; 180; 219); 3*(90; 127; 152; 180; 219)	
Діаметр розширення свердловини конусами, мм	120-325 – 5 шт	120-426 – 7 шт
Довжина проходки шах, м	до 30	до 100
Зусилля установки, що розвивається, кН	125	320
Маса комплекту установки, без штанг, кг	250	425

3. ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ ТА ПРИЙМАННЯ РОБОТ

3.1. Метою проведення контролю якості виконання будівельно-монтажних робіт при прокладанні ЛПО безтраншейним способом є забезпечення необхідної якості виконаних робіт, забезпечення безпеки під час виконання робіт, попередження появи дефектів у процесі виконання робіт, своєчасне виявлення дефектів та недопущення накопичення дефектів.

3.2. Контроль якості робіт має здійснюватися спеціалістами проектувальниками та представниками замовника. При виконанні робіт слід виконувати вхідний, операційний та приймальний контроль, керуючись вимогами ДБН А.3.1-5-96 «Організація будівельного виробництва», ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів», ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації».

3.3. Вхідний контроль - контроль матеріалів, виробів, труб-футлярів тощо, а також технічної документації, у тому числі проектів виконання робіт. Контроль здійснюється реєстраційним методом за сертифікатами, накладними, паспортами тощо, а при необхідності - вимірювальним методом. При вхідному контролі робочої документації проводиться перевірка її комплектності і достатності технічної інформації, що міститься в ній, для проведення робіт.

3.4. Операційний контроль здійснюється в ході виконання робіт та забезпечує своєчасне виявлення дефектів та вжиття заходів щодо їх усунення та

попередження. Здійснюється вимірювальним методом чи технічним оглядом. Результати операційного контролю фіксуються в журналах виробництва робіт, журналах геотехнічного контролю та інших документах, що передбачені чинною в даній організації системою керування якістю.

3.5. Контроль підготовчих робіт включає:

- наявність проекту виконання робіт ПТД за складом повинен відповідати ДБН А.3.1-5-96 Організація будівельного виробництва і повинен бути узгоджений із зацікавленими організаціями;
- відповідність прокладання осі ТПГ, для прокладання ЛПО, робочим кресленням. Допустимі відхилення: по вертикалі - не більше 5% глибини закладення; по горизонталі - не більше 10 %;
- планування майданчика під робочий і приймальний приямки має відповідати ПТД.

3.6. Контроль земляних робіт при безтраншейній прокладці полягає в наступному:

- контроль розмірів приямку. Для забезпечення спуску робітників та роботи в ньому найменша ширина між будівельним обладнанням або футляром та укосом повинна бути не менше 0,7 м;
- перевірка крутості укосів котлованів. Найбільша крутість повинна відповідати даним, наведеним у таблиці 3. Крутизна укосів приямків глибиною більше 5 м і при ґрунтах, не передбачених таблицею 3 повинна встановлюватися проектом;
- перевірка кріплення стін котлованів. Стінки слід кріпити у відповідності з даними табл. Г-5.

-

Таблиця Г-5 – Умови кріплення стін котлованів

Ґрунтові умови	Глибина траншеї, котловану, м	Щити огорожі
Ґрунти, пов'язані природною вологістю, за відсутності або незначного притоку ґрунтових вод	до 3 Понад 3	З просвітами Суцільні
Ґрунти піщані та інші з підвищеною вологістю	Будь яка	Суцільні

3.7. Контроль якості зварювально-монтажних робіт повинен виконуватись відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації».

Під час улаштування кріплення верхня його частина повинна виступати над брівкою виїмки не менше ніж на 15 см. Установку кріплення виконувати за методом зверху донизу:

- контроль розмірів приямка для зварювальника.

3.8. Контроль якості ізоляційних робіт повинен включати (для сталених футлярів):

- контроль пошкоджень заводського ізоляційного покриття кожуха та труб;
- контроль відновлення пошкоджених ділянок ізоляційного покриття кожуха та труб;
- контроль якості ізоляції зварних стиків, кожуха та труб.

3.9. Завершальним етапом контролю якості виконання будівельно-монтажних робіт з безтраншейної прокладки труби є оформлення виконавчої документації.

3.10. Приймальний контроль - контроль, який виконується після завершення безтраншейної прокладки трубопроводу за участю замовника.

Здача-приймання робіт оформляється актами на закриття прихованих робіт, перевірки якості у відкритому котловані огляду та приймання прокладених футлярів. Акти повинні містити перелік технічної документації, на підставі якої було виконано роботи, дані про перевірку правильності виконання робіт, а також перелік недоробок із зазначенням термінів їх усунення.

3.11. Зміна планово-висотного положення трубопроводу у процесі будівельних робіт без узгодження автора проекту категорично забороняється.

3.12. При виробництві земляних робіт, у процесі прокладання трубопроводів необхідно постійне спостереження за станом основ приямків, укосів, поверхневого стоку води та водовідведення. Склад контрольованих операцій, граничні відхилення та способи контролю наведені в таблиці Г-6.

3.13. За результатами приймального контролю приймається документоване рішення щодо придатності прокладеної ділянки трубопроводу для виконання наступних робіт.

Таблиця Г-6 – Склад контрольованих операцій, відхилення та способи контролю

Технічні показники	Граничні відхилення	Контроль (метод та обсяг)
1) Контроль за станом укосів та основи котловану	Не допускається зосереджена фільтрація, винос ґрунту та опливання укосів	Візуальні спостереження, щодня
2) Контроль за осіданням будівель та споруд	Осідання не повинні перевищувати величин, встановлених ДБН В.2.1-10-2009	Нівелювання за марками, встановленими на будівлі або споруді
3) Відхилення позначок дна виїмок від проектних (крім виїмок у валунних, скельних та вічномерзлих ґрунтах) при чорновій розробці:	Нівелювання за марками, встановленими на будівлі або споруді	Вимірювальний, точки вимірювань встановлюються випадковим чином; число вимірювань на ділянку, що приймається, має бути не менше:
а) одноківшевіми екскаваторами, оснащеними ківшами із зубами	Для екскаваторів із гідравлічним приводом +10 см	10
4) Відхилення позначок дна виїмок у місцях встановлення будівельного обладнання після доопрацювання недоборів та заповнення переборів	±5 см	Вимірювальний, по кутах та центру котловану
5) Відхилення осі трубопроводу від проектного положення: по вертикалі / по горизонталі	1 % від довжини прокладеної труби 1,5 % від довжини прокладеної труби	Вимірювальний

4. ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ І ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

4.1. Роботи з безтраншейної прокладки труб методом проколу ґрунтопроколюючими установками повинні виконуватись з дотриманням вимог ДБН А.3.2-2-2009. «Охорона праці та промислова безпека в будівництві».

Робітники під час виконання робіт повинні мати посвідчення на право виконання конкретного виду робіт, а також пройти первинний інструктаж з безпеки та охорони праці відповідно до вимог Закон України «Про охорону праці» [133]

Допуск робітників до самостійного виконання робіт з безтраншейної прокладки футлярів ЛПО дозволяється лише після їх ознайомлення (під розпис) з технологічною картою та, у разі потреби, з вимогами, викладеними у наряді допуску, що пройшли спеціальний інструктаж.

Робітники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (каска, рукавиці, захисні окуляри та ін.) і повинні користуватися ними.

4.2. Електробезпека на будівельному майданчику, ділянках робіт, робочих місцях повинна забезпечуватися відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці». Протягом усього періоду експлуатації електроустановок на будівельних майданчиках слід застосовувати знаки безпеки.

4.3. На весь період робіт повинні бути встановлені технічний нагляд та нагляд за виконанням робіт.

4.4. Особи, відповідальні за утримання будівельних машин у працездатному стані, зобов'язані забезпечувати технічне обслуговування та ремонт відповідно до вимог експлуатаційних документів заводу-виробника.

До машиністів вантажопідйомних машин повинні пред'являтися додаткові вимоги щодо безпеки та охорони праці.

4.5. При наближенні до ліній підземних комунікацій, або в охоронній зоні кабелів, що знаходяться під високою напругою, або діючого газопроводу, земляні роботи повинні проводитися під безпосереднім наглядом представника підприємства, що утримує мережу, за наявності наряд-допуску.

4.6. При виявленні в процесі виробництва земляних робіт не передбачених проектом комунікацій, підземних споруд, вибухонебезпечних матеріалів і

боєприпасів земляні роботи в цих місцях слід припинити, на місце роботи виклика-ти представників замовника та організацій, що експлуатують виявлені комунікації, та вжити заходів щодо запобігання пошкодження виявлених підземних мереж. Роботи поновлюються після отримання відповідного дозволу. У разі виявлення боєприпасів роботи можна розпочати лише після їх видалення представниками МНС.

4.7. Зони, небезпечні для руху людей (вулиці, проїзди, двори населених пунктів тощо), а також інші місця можливого знаходження людей, повинні бути огорожені захисними огорожами з встановленням на них добре видимих попереджувальними знаками та написами, а нічний час - сигнального освітлення. У нічний час котловани мають бути освітлені.

4.8. Виробництво робіт у котловані з укосами, що зазнали зволоження, дозволяється тільки після ретельного огляду виконробом (майстром) стану ґрунту укосів. Стійкість укосів має бути перевірена відповідальною особою незалежно від атмосферного впливу при глибині котловану понад 1,3 м, а також після настання відлиги.

4.9. За станом укосів необхідно систематично вести спостереження перед початком і під час виконання робіт, звертаючи особливу увагу на тріщини, що проявляються, що можуть призвести до обвалення ґрунту і появи осипів.

4.10. Машини, матеріали та обладнання, а також під'їзні шляхи біля напрямку мають розташовуватися за межами призми обвалення ґрунту.

4.11. У разі опускання в котлован обладнання або футлярів знаходження робітників під вантажем не допускається. Між машиністом крана-маніпулятора та робітниками, що знаходяться в напрямку, має бути встановлений надійний зоровий та звуковий контакт.

4.12. При проколі труби швидкість її подачі слід зменшувати у міру зростання опору ґрунту.

4.13. Місце роботи оператора проколюючої установки має бути захищеним на випадок аварії гідравлічної арматури високого тиску.

4.14. Пожежну безпеку на будівельному майданчику, ділянках робіт та робочих місцях слід забезпечити відповідно до вимог «НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні».

4.15. Електробезпека на будівельному майданчику, ділянках робіт та робочих місцях повинна забезпечуватися відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009. «Охорона праці та промислова безпека в будівництві».

4.16. Висвітлення будівельного майданчика, ділянок робіт, робочих місць, проїздів та проходів до них у темний час доби має відповідати вимогам ДСТУ Б А.3.2-15:2011 Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків. Освітленість має бути рівномірною, без сліпучої дії освітлювальних приладів на працюючих. Будівельне виробництво у неосвітлених місцях не допускається.

4.17. У разі виявлення при виконанні земляних робіт археологічних та палеонтологічних об'єктів слід призупинити роботи на даній ділянці та повідомити про це місцеві адміністративні органи.

5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГБН В.2.5-00013741-72:2013. Зовнішні мережі та споруди. Кабельні лінії напругою до 10000 В з використанням гнучких гофрованих двошарових труб із поліетилену. Проектування.
2. ДСТУ Б 8.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації будинків і споруд та кабельної каналізації. Технічні умови.
3. ДБН В.2.5-20:2018 «Газопостачання».
4. ГБН В.2.2-34620942-002:2015 «Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування».
5. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги». Частина І. «Проектування». Частина ІІ. Будівництво».
6. ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій».
7. ДБН А.3.1-5-2016 «Організація будівельного виробництва».
8. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів».
9. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації».

10. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення».
11. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».
12. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
13. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення».
14. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 «Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків».
15. Закон України «Про охорону праці» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668): затв. та введ в дію постановою ВР № 2695-ХІІ від 14.10.92, чинний, поточна редакція від 14.08.2021, підстава - 1667-ІХ. – Київ: ВВР, 16 с.
16. ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».
17. ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва
18. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 «Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів»
19. ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації».
20. НАПБ А.01.001-2015 «Правила пожежної безпеки в Україні».
21. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
22. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 «Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків».
23. ДСТУ Б В.2.1-2-96 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація».
24. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 «Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови».
25. ДСТУ 8938:2019 «Труби сталеві безшовні. Сортамент».

ДОДАТОК Д
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

ДОДАТОК Д-1

Патенти, отримані в процесі виконання дисертаційної роботи



(11) 144598

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України.

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 2432081020 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документу та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту

13.10.2020



I.Є. Матусевич

Додаток Д-2

АКТИ ТА ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ДОВІДКА

м. Дніпро

20 травня 2021

Дана про те, що будівельною компанією ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ» було прийнято для практичного використання результатів дисертаційної роботи Посмітюхи Олександра Петровича на тему «Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів».

На основі дисертаційної роботи було розроблено програмне забезпечення визначення зусилля проколювання та комплект обладнання для керованого статичного проколювання технологічних порожнин у ґрунті (далі ТПП) при безтраншейному спорудженні лінійно протяжних об'єктів (далі ЛПО) підземних комунікацій МПК-30-100 та робочі органи (далі РО) клиново-призматичної та конічної форми.

Установки ефективно використовуються при прокладанні ЛПО електричних розподільних мереж протягом 2 років.

Характеристики установок МПК-30-100 відповідають своїм паспортним даним.

Отримана від дисертанта програма теоретичного визначення сили проколювання ТПП, в залежності від типу ґрунту та його вологості є адекватною та підтверджена на практиці.

Зниження сили проколювання ТПП робочими органами клиново-призматичної форми з виступами та впливу на сусідні комунікації до 25%, - підтверджується

Директор

ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ»



Батир АЗІМОВ

Додаток Д-3

АКТ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ»
Батир АЗІМОВ

АКТ

польових випробувань малогабаритної робочих
характеристик
установки керованого проколювання ґрунту МПК-30-100
та робочих органів клиново-призматичної форми

Відповідно до «Програми розвитку фірми ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ» від 15.03.2019 в період з 10.05.2019 та 27.05.2019 на об'єктах будівництва м. Нікополі, були проведені польові випробування установки МПК-30-100 статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті ТПГ для прокладання лінійно-протяжних об'єктів ЛПО з використанням клиново-призматичних робочих органів РО та поступового розширення ТПГ й комплекту самих робочих органів. Методика відповідала програмі заводських випробувань зразка установки, розробленої інженером Олександром Посмітюхою на базі кафедри «Прикладна механіка та матеріалознавство» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, прийнятою підприємством-виробником ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ».

Умови проведення випробувань. Максимальне напірне зусилля установки при входному тиску гідравлічної рідини в системі гідроприводу, що дорівнює 20 МПа від гідроциліндрах з діаметром поршня 80 мм склало 20 т, сила втягування близько 7,5 т, на циліндрах з поршнем 110 мм відповідно 38 т та 25 т, максимальний крутний момент приводу обертання бурових штанг склав близько 1000 Нм. Роботи проводилися на натурних об'єктах, виділених для прокладання 2 та трьох футлярів одночасно в одному ТПГ (всього 5 об'єктів) по два проколи довжиною від 15 до 25 м, у суглинистих ґрунтах II категорії міцності (7-8 ударів ударника ДорНДІ), зниженої вологості 12-14% та пористістю 0,795. Було поставлено завдання провести керовані проколи ТПГ та розширення їх відповідно для 2 та 3 пластикових футлярів діаметром 110 мм методом статичного проколу на глибині 2,5 м до її верхньої твірної. Положення проколюючої головки в ґрунті, при керованому проколі, визначалося локаційною системою DigiTrak Mark III зонд поміщено в бурову головку, а локаційна система та повторювач сигналу відповідно по траєкторії прокладання та у оператора установки. Погрішність вимірювання на глибині до 12,5 м не

перевищує 5 см. На всіх етапах технологічного процесу проводилася запис сил опору проколювання ґрунту шляхом вимірювання тиску в гідроциліндрах установки за допомогою вбудованих в систему датчиків тиску і реєстрації даних цифровим перетворювачем та записом на носій.

Результати випробовувань. Перед проведенням випробувань було підтверджено відповідність теоретичних розрахунків результатам виміру допустимого розміру ТПГ методом керованого статичного проколу та розширення його клиново-призматичними РО до необхідних параметрів (виконали в 3 етапи: пілотне проколювання, перше розширення, друге розширення з затяжкою футлярів. Після формування ТПГ на поверхні ґрунту тріщин та випуклостей не виявлено. Встановлено, що в результаті розширення ТПГ отримані стійкі та гладкі стінки.

Процеси проколювання ґрунту на всіх етапах проходили зі стабільною швидкістю подачі, що свідчить про достатність тягових характеристик установки та стабільної роботи двонасосної гідростанції. Опір ґрунту не перевищував 60 - 90% від напірних можливостей установки на тонких циліндрах, тому на третьому етапі розширення ТПГ циліндри були замінені на більші, що дало змогу знизити навантаження до 40-60% від номінального. При 100% навантаженнях установки всі елементи металоконструкції рами, робочі органи, штанги та сполучні елементи не пошкодились при випробуваннях. Не виявлено також будь-яких видимих деформацій конструктивних елементів установки. Насосна станція працювала з зазначеними характеристиками.

Швидкість переміщення РО ґрунті дорівнює: прямого ходу при мінімальному опорі і поршні 80 мм до 8 м/хв, максимальному навантаженні 2 м/хв, відповідно на поршні 110 мм до 4,5 м/хв, при максимальному навантаженні 1.5 м/хв.

Продуктивність установки на ділянці 12 м під час розробки свердловини пілотної свердловини – 40 хв, перше розширення до отвору 125*150 мм – 50 хв, третього етапу 125*250 мм – 2,6 год.

Граничне відхилення від запланованої точки виходу обладнання в приймальному напрямку склало 50 мм. Що відповідає високій точності проколу, яка була досягнута завдяки корекції руху проколюючої головки в ґрунті та постійного обертання ставу штанг.

Загальний результат польових випробувань. Підтверджено загальну працездатність спроектованої та виготовленої установками статичного керованого проколювання ТПГ з обертанням бурового ставу, підтверджено реалізацію технології

виконання робіт з можливістю корекції траєкторії проколу.

За підсумками польових випробувань установки вирішили:

1). Вважати етап дослідно-конструкторської розробки установки МПК-30-100 завершеним, а метод статичного керованого проколу, з корекцією траєкторії та РО клиново-призматичної форми для одночасного прокладання декількох футлярів, вважати відпрацьованим і рекомендувати для прокладання групових ЛПО розподільних електромереж комунікацій діаметром до 180 мм кількістю до 4 шт, або діаметром до 400 мм РО традиційної конічно-циліндричної форми.

2). Для практичного застосування комбінованого методу розробки розробити технологічну карту порядку виконання робіт.

3). Створити типоряд розширюючих РО, щоб забезпечити найбільш характерні випадки, що зустрічаються в практиці групового прокладання ЛПО.

4). Рекомендувати укомплектувати бригаду автотранспортом з вантажопідйомними пристроями для підвищення мобільності бригади, та збільшення коефіцієнта використання робочого часу.

Члени комісії:

Від ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ»:

Комерційний директор

Тарковський

Від ТОВ «МБК»СІНЕРГІЯ»:

Головний інженер

Самохвалов

Гол. конструктор

Посмітюха

Від ДНУЗТ:

Зав. Кафедри «Прикладна механіка та

матеріалознавство»,

професор д.т.н.

Відповідальний за

Олександр Посмітюха

 Сергій

 Олександр

 Олександр

 Сергій Ракша

за проект

ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро, (акт впровадження від 25.05.2021 р.)

Додаток Д-4

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ДОВІДКА

м. Дніпро

20 травня 2021

Дана про те, що компанією ПФ «АЛРУС» було прийнято для практичного використання результатів дисертаційної роботи Посмітюхи Олександра Петровича на тему «Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів» у вигляді програмного забезпечення для визначення сили проколювання технологічних порожнин у ґрунті та робочих органів для цього.

- Проєктування переходів під дорогами, трамвайними та залізничними коліями проводиться на базі розробленої при участі О. П. Посмітюхи програми визначення сили проколювання з використанням характеристик та вологості ґрунту, а також форми та габаритів робочих органів.
- Використання наконечників клиново-призматичної форми забезпечує зменшення глибини прокладання комунікацій, та зони деформування ґрунту навколо порожнини.

Використання результатів дисертаційної роботи дозволяють знизити вартість проєктування та виконання робіт по проколюванні порожнини для комунікацій, а відповідно підвищити конкурентність на ринку послуг.

Директор

ПФ «АЛРУС»



Юрій ДИХНО