

**Кірієнко О. А.**

к. т. н., доцент

*Національний технічний
університет України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря
Сікорського»*

Kiriencko E.

*The National Technical
University of Ukraine «Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute»*

УДК 624.132.334**DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-9**

АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ І ВИМОГИ ДО НОВИХ ЗВУКОРЕЗОНАНСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЇ ПРОКЛАДКИ ТРУБ ВІБРАЦІЙНИМИ СПОСОБАМИ

Дана стаття продовжує цикл статей, присвячених дослідженню звукорезонансних режимів роботи установок для безтраншейної прокладки труб вібраційними способами з метою підвищення їх продуктивності за рахунок збільшення швидкості проходки, проникаючої здатності, можливості долати великі лобові опори ґрунту при прийнятній енергоємності процесу. Дослідження виконані на основі хвильової теорії розповсюдження напружень у трубі, що заглиблюється, та ґрунті.

У даній статті проаналізовані основні проблеми, з якими стикаються проектувальники звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання, що мають працювати в широкому діапазоні параметрів труб, що прокладаються, та в різних ґрунтових умовах, при спорудженні переходів не тільки під автомобільними, шосейними дорогами, залізничними насипами, але і під дном водоймищ різних типів, що можуть проводитися безтраншейними способами.

Проведено аналіз існуючих за кордоном високочастотних вібраторів, що придатні для роботи в звукорезонансних режимах, зокрема, чвертьхвильовому та непарно кратних йому «три-чвертьхвильовому» та «п'ять-чвертьхвильовому». Проаналізовані існуючі приводи, що здатні забезпечити можливість реалізації високої споживаної потужності, яка може бути необхідною при спорудженні підводних переходів великої протяжності (до 300 м) за допомогою звукорезонансних установок.

Наведені приклади необхідних технічних характеристик для нових звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання, та сформульовані загальні вимоги до цих установок.

Ключові слова: *безтраншейна прокладка трубопроводів, прокладання труб вібраційними способами, вібропрокол, вібропродавлювання, чвертьхвильовий, «три-чвертьхвильовий», «п'ять-чвертьхвильовий» звукорезонансні режими, області раціонального застосування, вимоги до нових звукорезонансних установок.*

Вступ. При будівництві магістральних трубопроводів доводиться перетинати природні

та штучні перешкоди, такі як автомобільні та шосейні дороги, залізничні насипи, раніше прокладені комунікації, а також річки, озера,



водоймища, що найчастіше здійснюється безтраншейним способом.

Довжина переходів, що споруджуються через автомобільні та залізничні дороги, зазвичай, складає 20...50 м. При будівництві переходів через водні перешкоди, що в деяких випадках проводиться під дном водоймища, довжина переходу може складати 100...200 м та більше. Діаметр труб, що прокладаються, також може бути різним. Найбільш розповсюджені вібраційні способи безтраншейної прокладки труб – вібропрокол (для труб діаметром до 529 мм) та вібропродавлювання (для труб діаметром до 1400 мм) [1].

У роботах [2...5] були розглянуті переваги та області раціонального застосування звукорезонансних режимів при вібраційних способах безтраншейної прокладки труб. Теоретичною основою цих режимів є використання поздовжнього пружного резонансу ствола елемента, що занурюється, при цьому хвиля напружень в елементі порівнянна з його довжиною [6]. Схема установки для вібропроколу, математична модель та система рівнянь, що описують процеси вібропроколу та вібропродавлювання в звукорезонансних режимах, наведені в роботі [2]. Параметри ґрунту приймалися усередненими за [7].

Практично діапазон параметрів труб, що прокладаються, охоплює всі випадки спорудження переходів не тільки під автомобільними, шосейними дорогами, залізничними насипами, але і під дном водоймищ різних типів, що можуть проводитися безтраншейними способами.

Мета даної роботи. Мета даної статті – аналіз деяких задач, що стоять перед конструкторами звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання, та формулювання основних вимог до звукорезонансних установок, що проектуються.

Головною задачею, що стоїть перед конструкторами - проектувальниками звукорезонансних установок є створення установок універсального типу з параметрами, що регулюються; для способів вібропроколу і вібропродавлювання вони можуть бути різними.

Основна частина. Аналіз звукорезонансних режимів, проведених в роботах [2...5] показав, що при прокладанні труб довжиною від 40 до 300 м (труби меншої довжини, як було показано в роботі [8], прокладаються за допомогою спеціального хвилеводу) в чвертьхвильовому та непарно кратних йому звукорезонансних режимах резонансна частота знаходиться в діапазоні 15...60 Гц, тобто доволі чітко обмежена.

Амплітуда збурювальної сили вібратора також у всіх розглянутих випадках знаходилась в межах 500...1200 кН, що підтверджує ймовірність того, що звукорезонансні установки для вібропроколу і вібропродавлювання можуть бути універсальними, тобто на них можна буде здійснювати в одному зі звукорезонансних режимів прокладання труб різної довжини.

Основною проблемою при проектуванні звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання є забезпечення необхідної для процесу потужності, що споживається вібратором, у резонансному режимі, яка складається з кількох складових:

- потужності, що потрібна для підтримки власних пружних коливань труби в резонансному режимі (практично ця складова змінюється несуттєво, тому що амплітуда коливань труби в процесі проходки майже не змінюється);

- потужності, що витрачається власно на саму проходку свердловини (залежить від швидкості заглиблення труби);

- потужності, що витрачається на подолання сил опору ґрунту (лобового і бокового).

При прокладанні довгомірних труб способами вібропроколу і вібропродавлювання особливо суттєвими є витрати потужності на подолання дуже великого бокового опору ґрунту, який є пропорційним величині заглиблення труби. Відомі методи зниження потужності за рахунок використання наконечників діаметром, дещо більшим за діаметр труби, що як би «оптимізують» бокове тертя в певних межах [1], можуть застосовуватися виключно в зв'язних ґрунтах, тому орієнтуватися тільки на такий метод при проектуванні нових установок недоцільно.

У роботах [3,4] розглядалися випадки зниження потужності за рахунок правильного вибору амплітуди збурювальної сили вібратора. Ця амплітуда, з одного боку, має бути достатньою для створення коливань в трубі великої маси (наприклад, маса труби довжиною 150 м – 15300...27000 кг), але, з іншого боку, завищення її величини призводить як до нераціонального підвищення споживаної потужності, так і до виникнення занадто великих амплітуд коливань самої труби, що, в свою чергу, створює небезпечні внутрішні напруження в трубі.

Тому найбільш доцільним є комбіноване (або ступінчасте) завдання амплітуди збурювальної сили при проходженні довгих свердловин, а саме, завдання менших значень амплітуд збурювальної сили на першій половині шляху заглиблення труби і поступове збільшення (в певних межах) до кінця проходки. Це дозволить проходити завдану довжину



свердловини при придатній швидкості та деяких оптимальних витратах потужності.

Зазначимо також, що в деяких випадках, наприклад, при прокладанні труб діаметром 1400 мм довжиною 250...300 м великі затрати потужності (до 650 кВт) виправдовуються виключно складністю спорудження підводного переходу такої довжини.

Таким чином, можна виділити три основні задачі, що стоять перед проектувальниками звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання:

1. Регулювання частоти вібрації в межах 15...60 Гц.

2. Регулювання амплітуди збурювальної сили вібратора в межах 500...1200 кН.

3. Забезпечення потужності, необхідної для виконання процесу прокладки, в межах 100...700 кВт.

До теперішнього часу в Україні та країнах СНГ використовуються переважно низькочастотні вібратори (частота до 25 Гц) в установках для проколу та продавлювання, тому в даній статті проаналізуємо закордонний досвід застосування високочастотних (звукорезонансних) вібраторів.

Ідея застосування звукових коливань та більш ніж 300 патентів на пристрої, що передають енергію звукових коливань резонансної частоти від віброзбудника до робочого органу, належить відомому американському вченому та винахіднику Альберту Дж. Бодайну (Albert G. Bodine, Jr.), а з 1990 р. (після його смерті) всі права на активні патенти, прототипи обладнання, звіти про розробки та результати досліджень були придбані корпорацією Resodyn Corporation (США) [9].

Створені за кордоном високочастотні вібратори можна умовно розділити на 2 групи, одну з яких складають високочастотні резонансні вібратори з частотою вібрації 60...120 Гц, іншу – вібратори з частотою, що регулюється в широких межах (10...120 Гц) [10]. Обидва типи вібраторів придатні для збудження в елементі, що заглиблюється, звукових коливань з резонансною частотою, наприклад, «чвертьхвильовою», «тричвертьхвильовою» або «п'ятьчвертьхвильовою».

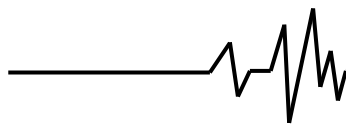
Резонансні вібратори з регульованою частотою в межах 10...120 Гц найкращим чином відповідають нашим цілям (прокладанню труб в звукорезонансних режимах), однак в закордонній літературі майже не наводиться відомостей про такі параметри звукорезонансного вібратора, як статичний

момент дебалансів, амплітуда збурювальної сили, потужність приводу та його тип (можливість регулювання), вага, габарити тощо. Повідомляється лише, що, зазвичай, звукорезонансні вібратори, які успішно застосовуються у США та Великій Британії, дебалансні (ексцентрикові), привід – найчастіше дизельний або гідравлічний [9,11], іноді електропривід. Є деякі дані про порядок значень потужності вібраційних звукорезонансних установок, які застосовуються в США та Великій Британії, зокрема, для занурювання паль і буріння. Значення споживаної потужності в різних установках коливаються в межах від 300 до 750 кВт, причому, як показано в [11], більші значення потужності забезпечуються використанням в установках двигунів внутрішнього згоряння, менші – гідравлічних двигунів або електроприводу (тип не вказується). Досить часто забезпечення необхідної потужності досягається використанням кількох синхронно працюючих двигунів (двох, чотирьох тощо).

Аналіз звукорезонансних високочастотних вібраторів, що застосовуються на практиці при зануренні паль, та їхніх приводів [11] дозволяє орієнтуватися на дебалансні (ексцентрикові) вібратори, які, незважаючи на деякі властиві їм недоліки, більш надійні в експлуатації, нескладні у виготовленні, дешевше, ніж гідравлічні (застосовувати останні доцільно лише в комплексі з гідравлічними трубоукладачами, екскаваторами). Окрім того, дебалансні вібратори можуть працювати в будь-яких кліматичних умовах (наприклад, в умовах Півночі), дозволяють реалізовувати велику амплітуду збурювальної сили, а за наявності відповідного приводу – широкий діапазон частоти та необхідну потужність.

Таким чином, орієнтуючись при проектуванні звукорезонансних установок на використання дебалансних вібраторів, слід прагнути до усунення властивих їм недоліків, підвищення довговічності, питомої потужності, ККД тощо.

Особливої уваги потребує вибір приводу звукорезонансних вібраторів. У закордонній практиці занурення паль та інших вібраційних процесах у поєднанні з дебалансними вібраторами застосовується гідропривід з регульованими параметрами (Франція), регульований електропривід (Німеччина, Японія), регульований дизельний привід (США, Велика Британія) [11]. Однак всі установки з гідроприводом, що описуються в закордонних джерелах, мають, зазвичай, невелику споживану потужність (близько 75 кВт). Найбільшу потужність мають



установки з двигунами внутрішнього згоряння, наприклад, виготовлений у Великій Британії фірмою «GKN Foundation Limited» віброзанурювач Альберта Дж. Бодайна [12]. Повідомляється, що ці двигуни мають певну характеристику, що забезпечує автоматичне змінювання частоти вібрації.

Основною перевагою дизельного приводу є, на наш погляд, можливість реалізації високої споживаної потужності, яка може бути необхідною при спорудженні підводних переходів великої протяжності (до 300 м) за допомогою звукорезонансної установки, що працює, наприклад, в «п'ять-чвертьхвильовому» режимі [5].

Теоретично найкращим приводом для звукорезонансних установок є електропривід у вібростійкому виконанні, в якому змінювання частоти вібрації буде здійснюватися плавно та в широких межах.

При прокладанні труб різної довжини в звукорезонансних режимах резонансна частота, що розраховується за методикою [2,3], зсувається в реальній установці не більш ніж на 1...2 Гц (за рахунок наявності пружностей в системі), а потім практично лишається сталою по всій довжині свердловини, не залежачи від

ґрунтових умов (це фактор є одним з головних позитивних якостей звукорезонансних режимів).

Налаштування установки на роботу в звукорезонансному режимі здійснюється деякою варіацією частоти навколо розрахункової точки (частоти) за максимальною швидкістю заглиблювання труби в ґрунт (без різких поштовхів, биття труби, несталості амплітуди коливань, що вказує на наближення до резонансу).

У резонансному режимі має спостерігатися стійка робота установки зі сталою амплітудою коливань труби в межах заданих параметрів. «Входження» в резонанс, таким чином, можна визначити за допомогою звичайних приладів екстремального регулювання. Ніяких спеціальних автоматичних систем стабілізації резонансного режиму в звукорезонансних установках не потрібно, тому що резонансне налаштування установки в процесі проходження свердловини не порушується.

У якості прикладу наведемо по одному варіанту необхідних технічних характеристик звукорезонансних установок для вібропроколу і вібропродавлювання (табл. 1 і 2).

Таблиця 1.

**Технічна характеристика
звукорезонансної установки для вібропроколу**

1.	Діаметр труб, що прокладаються, мм	325...529
2.	Довжина труб, що прокладаються, м	40...200
3.	Частота коливань, хв ⁻¹	600...3600
4.	Амплітуда збурювальної сили вібратора, кН	500...1200
5.	Статичний момент дебалансів вібратора, кгм	5...85
6.	Маса неідресореної частини вібратора (умовно), кг	2000
7.	Жорсткість пружин напірного механізму, Н/мм	10 · 10 ⁶
8.	Максимальне напірне зусилля лебідки, кН	300...400
9.	Максимальна швидкість подачі, м/с	0,03...0,04
10.	Потужність двигунів, кВт	150...700
11.	Кількість двигунів, шт.	1...4



Таблиця 2.

**Технічна характеристика
звукорезонансної установки для вібропродавлювання**

1.	Діаметр труб, що прокладаються, мм	1000...1400
2.	Довжина труб, що прокладаються, м	40...300
3.	Частота коливань, хв ⁻¹	900...3600
4.	Амплітуда збурювальної сили вібратора, кН	500...1200
5.	Статичний момент дебалансів вібратора, кгм	5...85
6.	Маса негідресореної частини вібратора (умовно), кг	2000
7.	Жорсткість пружин напірного механізму, Н/мм	10 · 10 ⁶
8.	Максимальне напірне зусилля лебідки, кН	300...400
9.	Максимальна швидкість подачі, м/с	0,03...0,04
10.	Потужність двигунів, кВт	100...650
11.	Кількість двигунів, шт.	1...4

Висновки:

Загальними вимогами до нових звукорезонансних установок для вібропроколу та вібропродавлювання є:

1. Універсальність установки в межах вибраного способу прокладки (можливість прокладання труб довжиною 40...300 м).

2. Можливість плавного регулювання частоти вібрації в діапазоні 10...60 Гц.

3. Можливість плавного регулювання амплітуди збурювальної сили вібратора в межах 500...1200 кН.

4. Реалізація споживаної потужності в межах 100...700 кВт.

5. Можливість контролю початкового резонансного налаштування вібратора.

6. Довговічність при роботі в різноманітних кліматичних умовах.

Простота, компактність конструкції, нескладність у виготовленні та економічність

Список використаних джерел

1. Кершенбаум Н.Я., Минаев В.И. Виброметод в проходке горизонтальных

скважин: монографія. Москва: Недра, 1968. 152 с.

2. Кірієнко О.А. Застосування звукорезонансних режимів роботи при безтраншейному прокладанні труб методом вібропроколу. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2011, №2(62). С. 72-77.

3. Кірієнко О.А. Застосування непарно кратних чвертьхвильовому звукорезонансних режимів при безтраншейному прокладанні довгомірних труб способом вібропроколу. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2016, №1(81). С. 30-35.

4. Кірієнко О. А. Дослідження процесу вібропродавлювання довгомірних труб у звукорезонансних режимах. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2017, №1(84). С. 23-28.

5. Кірієнко О.А. Области раціонального застосування звукорезонансних режимів при вібраційних способах прокладки труб. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2019, №1(92).С.5-11.



6. Дейвис Р.М. Волны напряжений в твердых телах: монография. Москва: Иностранная литература, 1961. 103 с.

7. Исследования вибрационного и виброударного погружения свай. Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та трансп. стр-ства, вып. 71 / Под ред. А.С. Головачева. Москва: Транспорт. 1968. 186 с.

8. Кірієнко О.А. Застосування хвилеводу для прокладання труб невеликої довжини методом вібропроколу в звукорезонансних режимах. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2017, № 2(85). С. 5-8.

9. Lucon P.A. Resonance: The Science Behind the Art of Sonic Drilling. A dissertation of Doctor of Philosophy in Engineering. Montana State University. USA. 2013. URL: <https://scholarworks.montana.edu/xmlui/bitstream/handle/1/3483/LuconP0513.pdf?sequence=1> (дата звернення: 10.11.2019).

10. Особенности погружения в грунт свай и шпунта при различных частотах колебаний. Экспресс-информ. Всесоюз. ин-та научн. и техн. инф-ции. Сер. Путь и строительство железных дорог. 1969, № 1. С.9-12.

11. Современное состояние и перспективы развития свайной вибротехники. Экспресс-информ. Всесоюз. ин-та научн. и техн. инф-ции. Сер. Путь и строительство железных дорог. 1976, № 19. С.7-16.

12. Greenland K.M., Dr. Faster piling by resonant vibration. *Engineering*. 1967, 203, № 5275.

Список джерел у транслітерації

1. Kershenbaum N.YA., Minayev V.I. Vibrometod v prokhodke gorizontalnykh skvazhin. [Vibration method in horizontal boreholes penetration.]. Moscow. Nedra, 1968. 152 [in Russian].

2. Kiriienko O.A. Zastosuvannya zvukorezonansnykh rezhymiv roboty pry beztransheinomu prokladanni trub metodom vibroprokolu [The use of sound-resonant operating modes for trenchless pipe laying by vibro-puncture method]. *Vinnytsia*. 2011, №2(62). 72-77 [in Ukrainian].

3. Kiriienko O.A. Zastosuvannya neparno kratnykh chvertkhylovomu zvukorezonansnykh rezhymiv pry beztransheinomu prokladanni dovhomirnykh trub sposobom vibroprokolu [Application of odd multiple of quarter wave resonance modes for trenchless laying long pipes by the method of vibration puncture]. *Vinnytsia*. 2016, №1(81). 30-35 [in Ukrainian].

4. Kiriienko O.A. Doslidzhennya protsesu vibroprodavlyuvannya dovgomirnih trub u zvukorezonansnih rezhimah [Investigation of the process of vibro-compression of long pipes in sound resonance modes]. *Vinnytsia*. 2017, №1(84). 23-28 [in Ukrainian].

5. Kiriienko O.A. Oblasti ratsionalnogo zastosuvannya zvukorezonansnih rezhymiv pri vibratsiynih sposobah prokladki trub [Areas of rational application of wave resonance modes in vibration methods of pipe laying]. *Vinnytsia*. 2019, №1(92). 5-11 [in Ukrainian].

6. Deivys R.M. Volnyi napriazhenyi v tverdykh telakh [Stress waves in solid bodies]. Moscow: In. lit-ra. 1961. 103 s. [in Russian].

7. Issledovaniya vibratsionnogo i vibroudarnogo pogruzheniya svay [Study of vibratory and vibroimpact immersion of piles]. *Vsesoyuzn. nauchno-issled.in-t transp. str-va / Pod red. A.S. Golovacheva. Vyip. 71. Moscow: Transport. 1968. 186 s.* [in Russian].

8. Kiriienko O.A. Zastosuvannya xvy`levodu dlya prokladannya trub nevely`koyi dovzhyn`y` metodom vibroprokolu v zvukorezonansny`x rezhym`max [Application of waveguide for short pipes by the method of vibration puncture in sound resonance modes]. *Vinnytsia*. 2017, №2(85). 5-8 [in Ukrainian].

9. Lucon P.A. Resonance: The Science Behind the Art of Sonic Drilling. A dissertation of Doctor of Philosophy in Engineering. Montana State University. USA. 2013. - URL: <https://scholarworks.montana.edu/xmlui/bitstream/handle/1/3483/LuconP0513.pdf?sequence=1> (data zvernennia 10.11.2019).

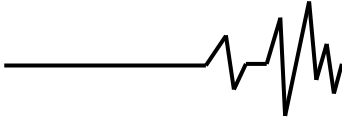
10. Osobennosti pogruzheniya v grunt svay i shpunta pri razlichnyih chastotah kolebaniy [Features of immersion of piles and sheet piling at different vibration frequencies]. *Ekspress-informatsiya VINITI. Ser. Put i stroitelstvo zheleznyih dorog*. 1969, №1. 9-12 [in Russian].

11. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya svaynoy vibrotehniki [Current state and development prospects of pile vibrotechnics]. *Ekspress-informatsiya VINITI. Ser. Put i stroitelstvo zheleznyih dorog*. 1976, № 19. 7-16 [in Russian].

12. Greenland K.M., Dr. Faster piling by resonant vibration. *Engineering*. 1967, 203, № 5275.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ И ТРЕБОВАНИЯ К НОВЫМ ЗВУКОРЕЗОНАНСНЫМ УСТАНОВКАМ ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБ ВИБРАЦИОННЫМИ СПОСОБАМИ

Данная статья продолжает цикл статей, посвященных исследованию звукорезонансных режимов работы установок для бестраншейной



прокладки труб вибрационными методами с целью повышения их производительности за счет увеличения скорости проходки, проникающей способности, возможности преодолевать большие лобовые сопротивления грунта при приемлемой энергоемкости процесса. Исследования выполнены на основе волновой теории распространения напряжений в погружаемой трубе и грунте.

В данной статье проанализированы основные проблемы, с которыми сталкиваются проектировщики звукорезонансных установок для вибропрокола и вибропродавливания, что должны работать в широком диапазоне параметров прокладываемых труб, в разных грунтовых условиях, при сооружении переходов не только под автомобильными, шоссевыми дорогами, железнодорожными насыпями, но и под дном водоемов разных типов, проводимых бестраншейными способами.

Проведен анализ существующих за рубежом высокочастотных вибраторов, пригодных для работы в звукорезонансных режимах, в частности, четвертьволновом и нечетно кратных ему «три-четвертьволновом» и «пять-четвертьволновом». Проанализированы существующие приводы, способные обеспечить возможность реализации высокой потребляемой мощности, что может быть необходимой при сооружении подводных переходов большой протяженности (до 300 м) с помощью звукорезонансных установок.

Приведены примеры необходимых технических характеристик для новых звукорезонансных установок для вибропрокола и вибропродавливания, сформулированы общие требования к этим установкам.

Ключевые слова: бестраншейная прокладка трубопроводов, прокладка труб вибрационными методами, вибропрокол, вибропродавливание, четвертьволновой, «три-четвертьволновой», «пять-четвертьволновой» звукорезонансные режимы, области рационального применения, требования к новым звукорезонансным установкам.

ANALYSIS OF SOME PROBLEMS AND REQUIREMENTS FOR NEW SOUND RESONANT UNITS FOR TRENCHLESS LAYING OF PIPELINES BY VIBRATION METHODS

This article continues the series of works, which are devoted to studies of vibration methods of pipe laying, with purpose of increasing the productivity through higher speed of driving, penetration capacity, possibility to overcome the great frontal resistance of soil at acceptable energy consumption. The studies have been fulfilled on the base of wave theory of stress propagation in going downward pipe and in soil.

This article analyzes some of the challenges facing designers of sound-resonance units for vibro-puncture and vibro-compression, operating in a wide range of laid pipes and in different soil conditions while constructing underground passages not only under motor roads, highways and railway embankments but also under bottom of various water basins which can be carried out by trenchless methods.

There has been conducted the analysis of the high frequency vibrators existing abroad, which are suitable for work in sound resonance modes, in particular, quarter wave and unpaired multiple to it “three-quarter wave” and “five-quarter wave” modes. Existing drives, able to provide the possibility for high consumed power achievement, have been analyzed, which may be necessary while constructing long lengths under water pathways (up to 300 m) with the use of sound-resonance units.

Some examples of necessary technical characteristics for new sound-resonant installations for vibro-puncture and vibro-compression are given; basic requirements for these installations are formulated.

Keywords: trenchless laying of pipelines, vibration methods of pipe laying, vibro-puncture, vibro-compression, quarter wave, “three-quarter” and “five-quarter” wave resonance modes, area of rational application, requirements for new sound resonance units.

Відомості про автора

Кірієнко Олена Анатоліївна – канд. техн. наук, доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37).

Кириенко Елена Анатольевна – канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной гидроаеромеханики и механотроники НТУУ «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского» (03056, г. Киев, пр. Победы, 37).

Kiriencko Elena Anatolyevna, – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Applied Fluid Mechanics and Mechatronics Department of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (03056, Kyiv, Prospect Peremohy, 37).