



Кірієнко О. А.

Національний технічний
університет України
"Київський політехнічний
інститут"

Kiriensko E.

The National Technical
University of Ukraine "Kyiv
Polytechnic Institute"

УДК 624.132.334

DOI:10.37128/2306-8744-2019-1-1

ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗВУКОРЕЗОНАНСНИХ РЕЖИМІВ ПРИ ВІБРАЦІЙНИХ СПОСОБАХ ПРОКЛАДКИ ТРУБ

Дана стаття продовжує цикл статей, присвячених дослідженню звукорезонансних режимів роботи установок для безтраншейної прокладки труб вібраційними методами 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. Визначені області найбільш раціонального застосування звукорезонансних режимів – чвертьхвильового та непарно кратних йому «тричвертьхвильового» і «п'ять-чвертьхвильового» - для труб широкого діапазону діаметрів і довжин, а також у різних ґрунтах, що дасть можливість в подальшому сформулювати технічні вимоги до принципово нових установок для вібраційної прокладки труб.

Ключові слова: безтраншейна прокладка трубопроводів, прокладання труб вібраційними методами, вібропрокол, вібропродавлювання, чвертьхвильовий, «тричвертьхвильовий», «п'ять-чвертьхвильовий» звукорезонансні режими, області раціонального застосування..

Постановка проблеми. 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...6] розглядалися питання прокладання труб діаметром 325-529 мм

довжиною 40-50 м способами вібропроколу та віброударного проколу, довжиною 100-200 м способом вібропроколу, а також діаметром 1400 мм довжиною 100-200 м способом вібропродавлювання в звукорезонансних режимах. Теоретичною основою цих режимів є використання поздовжнього пружного резонансу ствола елемента, що занурюється, при цьому хвиля напружень в елементі порівнянна з його довжиною [7]. Такі режими вібрації успішно застосовуються в закордонній будівельній практиці, зокрема, в США, Великій Британії, Франції.

Формулювання мети досліджень. Метою даної статті є виділення найбільш ефективних звукорезонансних режимів для кожного способу безтраншейної прокладки труб вібраційними методами, що забезпечують високу і стабільну швидкість проходки в ґрунтах різної щільності при прийнятних для практики витратах енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Схема установки для



вібропроколу, математична модель та система рівнянь, що описують процеси вібропроколу, віброударного проколу та вібропродавлювання в звукорезонансних режимах, наведені в роботах [2,3,5]. Теоретичним підґрунтям цих режимів є використання поздовжнього пружного резонансу стовбура елемента, що заглиблюється [7]. Параметри ґрунту приймалися усередненими за [8].

Як було показано в роботах [2,3], найкращим за швидкістю проходки та прийнятним за енергоємністю для всіх вібраційних способів прокладки труб довжиною до 50 м є чвертьхвильовий резонансний режим. Він дозволяє в декілька разів збільшити швидкість проходки в ґрунтах малої та середньої щільності, а також успішно долати великі лобові опори ґрунту, зокрема тверді ґрунтові включення (каміння, шматки шпал тощо).

Однак із збільшенням довжини труби, що прокладається, понад 50 м, що є максимальною довжиною переходу під дорогами, застосування чвертьхвильового режиму починає обмежуватися складністю реалізації низької резонансної частоти при великій збудовальній силі вібратора, а, головне, суттєвим зростанням внутрішніх втрат в трубі, що різко погіршує проникаючу здатність установок для проколу.

Внаслідок цього, були докладно досліджені непарно кратні чвертьхвильовому резонансні режими – «три-чвертьхвильовий» і «п'ять-чвертьхвильовий», які, як з'ясувалося [4], зберігають у деякій мірі позитивні властивості «основного» - чвертьхвильового режиму.

При вібропроколі трубами діаметром до 529 мм довжиною 100-200 м (такі труби застосовуються при будівництві підводних переходів) «три-чвертьхвильовий» режим забезпечує достатню високу і стабільну швидкість проходки по всій довжині свердловини в ґрунтах малої та середньої щільності, а «п'ять-чвертьхвильовий» режим – успішне долання лобового опору ґрунту в широкому діапазоні його значень (в наших дослідженнях до 400 кН та більше), тобто є найбільш раціональним при прокладанні труб в ґрунтах середньої та високої щільності [4].

Таким чином, при вібропроколі кожен резонансний режим може бути застосований з найбільшою ефективністю в певних ґрунтових умовах. Доцільно застосовувати комплексне поєднання непарно кратних резонансних режимів [4], тобто перехід в процесі проколу з одного режиму на інший відповідно до змінювання ґрунтових умов.

Результати досліджень процесу вібропродавлювання трубами до 1400 мм [5] показали, що звукорезонансні режими в цьому

випадку також мають область свого найбільш раціонального застосування.

При прокладанні труб довжиною 100 м способом вібропродавлювання «три-чвертьхвильовий» і «п'ять-чвертьхвильовий» режими виявляються однаково ефективними з точки зору швидкості проходки та проникаючої здатності установки, однак в останньому випадку витрати енергії значно нижче, відповідно, енергоємність процесу менша.

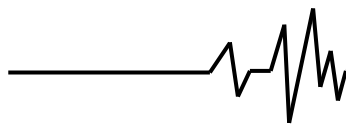
При прокладанні труб довжиною більш ніж 100 м (до 300 м), можна рекомендувати лише «п'ять-чвертьхвильовий» режим, який забезпечує достатню високу та стабільну швидкість проходки по всій довжині свердловини. Великі витрати енергії при прокладанні труб довжиною 250-300 м виправдовуються складністю задачі та відсутністю інших методів безтраншейної прокладки труб таких параметрів.

У таблиці 1 наведені найбільш раціональні області використання звукорезонансних режимів при вібраційних способах прокладання труб різних параметрів.

Слід відмітити, що в даний час для процесу вібропроколу трубами діаметром до 529 мм мінімальна їх довжина в чвертьхвильовому режимі обмежена 40 м. Із зменшенням довжини труби, що прокладається, резонансна частота зростає, тому прокладка труб невеликої довжини в цьому режимі можлива лише за допомогою принципіально нових звукорезонансних установок, в яких частота вібрації буде регулюватися в максимально широких межах при забезпеченні потрібної амплітуди збудовальної сили вібратора. У роботі [9] розглянуто прокладання труб невеликої довжини в звукорезонансних режимах за допомогою спеціального хвилеводу.

Застосування чвертьхвильового резонансного режиму рекомендується при вібропроколі трубами довжиною 40-50 м у будь-яких ґрунтових умовах, зокрема, в щільних ґрунтах або тих, що мають тверді ґрунтові включення. Діапазон частот, в яких знаходиться чвертьхвильова частота складає 20-25 Гц, тому труби таких параметрів можна прокладати на існуючих установках для вібропроколу. Амплітуда збудовальної сили вібратора може бути в межах 600-700 кН, орієнтовна потужність наприкінці проходки складає 150-180 кВт. Середня швидкість проходки свердловини складає 90-100 м/год., а енергоємність процесу – 1,7-1,8 кВт·год./м, що практично цілком прийнятно.

Витрати енергії можуть бути значно зменшені за рахунок використання наконечника діаметром, більшим за діаметр труби, тому що



боковий опір при цьому залишається на певному сталому рівні.

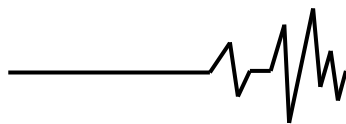
При прокладанні труб довжиною від 50 до 100 м, хоча переходи такої довжини зустрічаються рідко, в залежності від ґрунтових умов можна рекомендувати в щільних ґрунтах, де потрібно долати великі лобові опори,

чвертьхвильовий режим, у м'яких та середніх ґрунтах – «три-чвертьхвильовий» режим. Однак в останньому випадку резонансна частота знаходиться в діапазоні 32-60 Гц, тобто може бути реалізованою вже на установках принципово нових конструкцій з частотою вібрації, що регулюється

Таблиця 1

Області раціонального застосування звукорезонансних режимів при вібраційних способах безтраншейної прокладки труб

Спосіб прокладки труб	Вібро-прокол	Вібро-прокол	Вібро-прокол	Вібро-прокол	Вібро-прокол
Діаметр труби, мм	до 529	до 529	до 529	до 529	до 529
Довжина труби, м	40-50	до 100	до 100	100-200	100-200
Ґрунтові умови	Будь-які	Щільні ґрунти	М'які ґрунти та ґрунти середньої щільності	Щільні ґрунти	М'які ґрунти та ґрунти середньої щільності
Резонансний режим	Чверть-хвильовий	Чверть-хвильовий	«Три-чверть-хвильовий»	«П'ять-чверть-хвильовий»	«Три-чверть-хвильовий»
Резонансна частота, Гц	20-25	15-20	32-60	30-55	17-32
Амплітуда збурювальної сили вібратора, кН	600-700	700	600	600-1000	600-1000
Орієнтовна потужність, кВт	150-180	150-200	150-200	250-600	200-700
Середня швидкість проходки м/год.	90-100	80-90	84-91	55-63	65-95



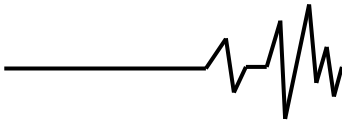
продовження табл.1

Спосіб прокладки труб	Вібро-ударний прокол	Вібро-ударно-вдавлювальний прокол	Вібро-продавлювання	Вібро-продавлювання	Вібро-продавлювання
Діаметр труби, мм	до 529	до 529	до 1400	до 1400	до 1400
Довжина труби, м	40-50	40-50	40-50	100	100-300
Ґрунтові умови	Будь-які	М'які ґрунти та ґрунти середньої щільності	Будь-які	Будь-які	Будь-які
Резонансний режим	Не рекомендується	Чверть-хвильовий	Чверть-хвильовий	«Три-чверть-хвильовий» «П'ять-чверть-хвильовий»	«П'ять-чверть-хвильовий»
Резонансна частота, Гц		20-25	20-25	35 [*] 58	30-60
Амплітуда збудовальної сили вібратора, кН		400 плюс 50 статичне зусилля	600	500-600 [*] 800-1000	800-1200
Орієнтовна потужність, кВт		150-180	100-150	250-350 [*] 150-250	150-650
Середня швидкість проходки м/год.		90-100	92-95	84-103 [*] 93-100	84-104

в широких межах. Амплітуда збудовальної сили вібратора приблизно така ж, як і при прокладанні труб довжиною 40-50 м, такого ж порядку є і споживана вібратором потужність.

При прокладанні способом вібропроколу труб довжиною 100-200 м рекомендуються непарно кратні чвертьхвильовому режиму, причому для щільних ґрунтів – «п'ять-чвертьхвильовий», що зберігає основну перевагу чвертьхвильового режиму [4], в м'яких та середніх ґрунтах - «три-

чвертьхвильовий», що забезпечує високу та стабільну швидкість проходки по всій довжині проходки. «Три-чвертьхвильовий» режим має резонансну частоту в межах 17-32 Гц, тобто може бути реалізованим за допомогою існуючих вібраторів, а «п'ять-чвертьхвильовий» режим – в межах 30-55 Гц, внаслідок чого його реалізація можлива лише на принципово нових установках з частотою вібрації, що регулюється.



Середня швидкість проходки в щільних ґрунтах при застосуванні «п'ять-чвертьхвильового» режиму складає близько 55-63 м/год., енергоємність процесу – 4,5-9,5 кВт-год./м. При прокладанні в м'яких та середніх ґрунтах у «три-чвертьхвильовому» режимі середня швидкість значно зростає (до 65-95 м/год.), а енергоємність зменшується – до 3,1-7,4 кВт-год./м. Більші значення потужності відносяться до випадків прокладання труб довжиною 150-200 м та виправдовуються складністю та важливістю задачі.

Застосування звукорезонансних режимів для віброударного проколу, як зазначалось в [3], не рекомендується в зв'язку зі значними, порівняно із вібропроколом, витратами потужності, а для віброударно-вдавлювального проколу, в якому використовується ще додаткове статичне напірне зусилля 50-100 кН, чвертьхвильовий режим може бути реалізованим на існуючих установках, наприклад, на установці УВГ-51 з частотою вібрації 20-25 Гц.

При прокладанні труб діаметром до 1400 мм довжиною 40-50 м способом вібропродавлювання рекомендується чвертьхвильовий резонансний режим із частотою вібрації 20-25 Гц. Ґрунтові умови можуть бути різними, тому що внаслідок постійного усунення ґрунтового ядра лобовий опір ґрунту залишається сталим і на мінімальному рівні [5].

Амплітуда збурювальної сили вібратора при вібропродавлюванні трубами довжиною 40-50 м може бути прийнята приблизно 600 кН. Середня швидкість проходки у випадку вібропродавлювання майже така ж, як і при вібропроколі – близько 95 м/год., енергоємність процесу дещо нижче - 1,1-1,6 кВт-год./м, що пов'язано з малим лобовим опором ґрунту. При прокладанні труб такого діаметра головним фактором є боковий опір ґрунту, тому слід мати на увазі, що великі витрати енергії пояснюються саме цим фактором.

При прокладанні труб довжиною 100 м в ґрунтах різної щільності може бути рекомендований як «три-чвертьхвильовий» режим роботи, так і «п'ять-чвертьхвильовий» режим, тому що ефективність їх за швидкістю проходки для таких труб приблизно однакова. З точки зору енергоємності процесу переваги має «п'ять-чвертьхвильовий» режим, тому що споживана потужність в цьому режимі нижче приблизно на 30-40%.

Частота «п'ять-чвертьхвильового» режиму при прокладанні труби довжиною 100 м складає 58 Гц, тому здійснити цей режим можливо лише на принципово нових звукорезонансних установках. Максимальна довжина переходу, яка може бути реалізована

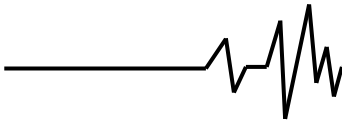
в «п'ять-чвертьхвильовому» режимі, не перевищує 300 м. При прокладанні труб довжиною 250-300 м виникає необхідність ступінчастого підвищення амплітуди збурювальної сили вібратора. Збільшення її на другому етапі проходки пов'язано, в першу чергу, із дуже великим боковим опором ґрунту при прокладанні труби без розширеної коронки [5]. При цьому споживана потужність суттєво зростає і сягає наприкінці проходки свердловини довжиною 300 м – 632 кВт, що пояснюється не стільки збільшенням амплітуди збурювальної сили вібратора, скільки дуже великим боковим опором ґрунту. Однак унаслідок того, що прокладка труб таких параметрів способом вібропродавлювання в інших режимах взагалі неможлива, великі витрати енергії виправдовуються складністю задачі.

Для практичного використання при прокладанні труб довжиною 100-300 м, що є найбільш реальною задачею при спорудженні підводних переходів, оптимальним є «п'ять-чвертьхвильовий» режим, який за умови забезпечення необхідної потужності (до 600 кВт) може бути реалізованим за допомогою існуючих вібраторів із частотою 30-50 Гц. Середня швидкість проходки складає 86-104 м/год., енергоємність процесу 1,75-6,25 кВт-год./м, причому великі значення енергоємності відповідають прокладанню труб довжиною 300 м.

Мабуть, принципово можливо застосування й інших непарно кратних звукорезонансних режимів, наприклад, «сім-чвертьхвильового», при прокладанні труб великої довжини, однак тут вже виникають труднощі в створенні установок, які б могли «проштовхувати» суцільну колону труб дуже великої довжини і маси, а також забезпечення таких установок енергією (витрати потужності можуть перевищувати 1000 кВт).

Висновок. 1. При прокладанні труб довжиною 40-50 м усіма вібраційними способами (за винятком віброударного проколу) оптимальним є чвертьхвильовий режим, що забезпечує високу швидкість проходки при прийнятній енергоємності процесу в будь-яких ґрунтах, зокрема, з твердими включеннями. Резонансна частота складає 20-25 Гц і може бути реалізована на вібраторах існуючих установок для проколу.

2. При прокладанні труб довжиною 100-200 м способом вібропроколу «три-чвертьхвильовий» режим забезпечує високу та стабільну швидкість проходки в ґрунтах малої та середньої щільності, а «п'ять-чвертьхвильовий» режим – успішне подолання лобового опору в щільних ґрунтах, зокрема, з твердими включеннями. Резонансна частота



«три-чвертьхвильового» режиму може бути реалізована за допомогою існуючих вібраторів, а резонансна частота «п'ять-чвертьхвильового» режиму знаходиться в діапазоні 32-60 Гц, тобто може бути реалізованою вже на установках принципово нових конструкцій з частотою вібрації, що регулюється в широких межах.

3. Доцільним є комплексне використання непарно кратних чвертьхвильовому резонансних режимів, тобто перехід у процесі проколу з одного режиму на інший згідно зі зміненням ґрунтових умов. Тому наступною задачею є проектування нових звукорезонансних установок із частотою вібрації, що регулюється в широких межах.

4. При прокладанні труб довжиною 100-200 м методом вібропродавлювання більш енергетично вигідним є «п'ять-чвертьхвильовий» режим, однак максимальна довжина труби не може перевищувати 300 м внаслідок дуже великого бокового опору ґрунту.

5. Усі звукорезонансні режими (чвертьхвильовий, «три-чвертьхвильовий» та «п'ять-чвертьхвильовий») мають області свого найбільш раціонального застосування при всіх вібраційних способах безтраншейної прокладки труб діаметром 325...1400 мм довжиною 40...300 м в різних ґрунтових умовах.

Список використаних джерел

1. Кершенбаум Н.Я., Минаев В.И. Виброметод в проходке горизонтальных скважин. М., «Недра». 1968. – 152 с.

2. Кірієнко О.А. Застосування звукорезонансних режимів роботи при безтраншейному прокладанні труб методом вібропроколу. – ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». 2011, №2(62). с. 72-77.

3. Кірієнко О.А. Дослідження процесу віброударного проколу при безтраншейному прокладанні трубопроводів на основі хвильового уявлення. – ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». 2013, №4(72). с. 61-68.

4. Кірієнко О.А. Застосування непарно кратних чвертьхвильовому звукорезонансних режимів при безтраншейному прокладанні довгомірних труб способом вібропроколу. – ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». 2016, №1(81). с. 30-35.

5. Кірієнко О. А. Дослідження процесу вібропродавлювання довгомірних труб у звукорезонансних режимах. - ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». 2017, №1(84). с. 23-28.

6. Кірієнко О.А. Порівняльний аналіз способів вібропроколу та вібропродавлювання довгомірних труб у звукорезонансних режимах. - ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». 2018, №1(88). с. 25-31.

7. Дейвис Р.М. Волны напряжений в твердых телах. М., ИЛ, 1961. – 103 с.

8. Исследования вибрационного и виброударного погружения свай. Тр. ВНИИТС, вып. 71. М., «Транспорт». 1968.

9. Кірієнко О.А. Застосування хвилеводу для прокладання труб невеликої довжини методом вібропроколу в звукорезонансних режимах. ВНТЖ "Вібрації в техніці та технологіях". 2017, № 2(85). с. 5-8.

References

1. Kershenbaum N.YA., Minayev V.I. Vibrometod v prokhodke gorizontalnykh skvazhin. M., «Nedra». 1968. – 152 s.

2. Kiriienko O.A. Zastosuvannia zvukorezonansnykh rezhymiv roboty pry beztransheynomu prokladanni trub metodom vibroprokolu. – VNTZh «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh». 2011, №2(62). s. 72-77.

3. Kirienko O.A. Doslidzhennya protsessu vibroudarnogho prokolu pry beztransheynomu prokladanni truboprovodiv na osnovi hviliaovogho uiavlenniya. - VNTZH «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh». 2013, №4(72). s. 61-68.

4. Kiriienko O.A. Zastosuvannia neparno kratnykh chvertkhvylovomu zvukorezonansnykh rezhymiv pry beztransheynomu prokladanni dovhomirnykh trub sposobom vibroprokolu. – VNTZh «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh». 2016, №1(81). s. 30-35.

5. Kiriienko O.A. Doslidzhennya protsesu vibroprodavlyuvannya dovgomirnih trub u zvukorezonansnih rezhimah. VNTZh «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh». 2017, №1(84). s. 23-28.

6. Kiriienko O.A. Porivnyalnyi analiz sposobiv vibroprokolu ta vibroprodavlyuvannya dovgomirnih trub u zvukorezonansnih rezhimah. - VNTZh «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tehnologiyah». 2018, №1(88). s. 25-31.

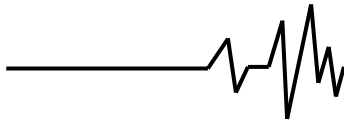
7. Deivys R.M. Volnyi napriazheni v tverdikh telakh. M., YL, 1961. – 103 s.

8. Issledovaniya vibratsionnogo i vibroudarnogo pogruzeniya svay. Tr. VNIITS, vyp.71. M., «Transport». 1968.

9. Kiriienko O.A. Zastosuvannya hvilevodu dlya prokladannya trub nevelikoyi dozhini metodom vibroprokolu v zvukorezonansnih rezhimah. VNTZh «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tehnologiyah». 2017, №2(85). s. 5-8.

ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗВУКОРЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ СПОСОБАХ ПРОКЛАДКИ ТРУБ

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. Исследование выполнены на основе волновой теории распространения напряжений в погружаемой трубе и грунте. Определены области наиболее рационального применения звукорезонансных режимов – четвертьволнового и нечетно кратных ему «три-четвертьволнового» и «пять-четвертьволнового» - для труб широкого диапазона диаметров и длин, а также в разных грунтах, что даст возможность в дальнейшем сформулировать технические требования к принципиально новым установкам для вибрационной прокладки труб.

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

AREAS OF RATIONAL APPLICATION OF WAVE RESONANCE MODES IN VIBRATION METHODS OF PIPE LAYING

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. Has been determined areas of rational application of wave resonance modes – quarter wave and oddly multiple to him “three-quarter” and “five-quarter” – for the pipes of wide range of diameters and lengths and in different soils, which allows to develop technical requirements for fundamentally new units by vibration methods of pipe laying.

Keywords: trenchless laying of pipelines, vibration methods of pipe laying, vibration piercing, “three-quarter” and “five-quarter” wave resonance modes, area of rational application

Відомості про авторів

Кірієнко Олена Анатоліївна, доцент, к.т.н, кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37 e-mail: l.kiriencko@gmail.com).

Кириенко Елена Анатольевна, доцент, к.т.н, кафедры прикладной гидроаэромеханики и механотроники НТУУ «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского» (03056, г. Киев, пр. Победы, 37 e-mail: l.kiriencko@gmail.com).

Kiriencko Elena Anatolyevna, Associate Professor, Ph.D. tech. sciences, Associate Professor of the Department of Applied Hydromechanics and mechatronics NTUU "Kiev Polytechnic Institute. Igor Sikorsky "(03056, Kiev, Victory Avenue, 37 e-mail: l.kiriencko@gmail.com).