

УДК 624.139

АНАЛІЗ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИКОНАННЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ НА МЕРЗЛИХ ҐРУНТАХ

М.М. Балака, асистент кафедри будівельних машин

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: balaka_maxim@ukr.net

М.О. Антонков, студент факультету автоматизації і інформаційних технологій, група БМО-53
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

Анотація. В роботі проаналізовано існуючі методи, технології та засоби механізації виконання земляних робіт на мерзлих ґрунтах. Розглянуто основні напрями інтенсифікації цих робочих процесів в обмежених умовах будівництва. Наведено конструктивні рішення робочих органів машин, ресурсо- і енергозберігаючі технології та засоби механізації розробки мерзлих ґрунтів.

Ключові слова: мерзлий ґрунт, метод, засіб механізації, технологія, інтенсифікація, земляні роботи, енергоємність, трудомісткість, обмежені умови будівництва.

ANALYSIS OF THE METHODS, MEANS AND TECHNOLOGIES INTENSIFICATION OF EARTHWORKS ON THE FROZEN SOILS

M. Balaka, Assistant of Building Machinery Department

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: [bala-
ka_maxim@ukr.net](mailto:balaka_maxim@ukr.net)

M. Antonkov, Student of Automation and Information Technology Department, group BMO-53
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper analyzes the existing methods, technologies and means of mechanization of earthworks on the frozen soils. The main directions intensification of these workflows in limited conditions of construction. Presented constructive solutions working bodies of machines, resource- and energy-conserving technologies and mechanization of frozen soils development.

Keywords: frozen soil, method, means of mechanization, technology, intensification, earthworks, power-intensity, laboriousness, limited conditions of construction.

Вступ. Значна частина земляних робіт виконується поблизу існуючих будівель, діючих підприємств, ліній електропередач та інших неподалік розташованих об'єктів. Близькість до місця виконання робіт об'єктів і споруд, а

також обмеження, що пов'язані з малими розмірами будівельного майданчика, стримують застосування цілого ряду способів розробки ґрунтів.

Крім того, в процесі виконання будівельних робіт навколишнє природне середовище зазнає вплив нестаціонарної складової будівництва, а саме екологічно небезпечного впливу будівельної техніки та матеріалів, що застосовуються в будівництві. Даний негативний фактор, що визначається у викидах забруднень в атмосферу, гідросферу та літосферу, завдає докільку значної шкоди. Наприклад, середній вміст суспензії в поверхневих шарах житлових районів складає 1,4...1,5 г/л, а за наявності будівництва збільшується в 6 разів. Тільки при спорудженні пальових фундаментів відбувається викид рідких та газоподібних відходів в обсязі до 25% від загальної маси використаних паливно-мастильних матеріалів [1]. Таким чином, раціональне оснащення будівельного виробництва ефективними засобами механізації відіграє важливу роль не тільки з позиції економії матеріальних ресурсів, але й з позиції охорони довкілля та екологічної безпеки.

До цього часу не створені або не отримали практичного застосування засоби механізації для розробки мерзлих ґрунтів, які засновано на застосуванні нових методів інтенсифікованого впливу на розроблювану ґрунтову поверхню з використанням фізичних ефектів. Тому пошук нових конструктивних рішень, методів інтенсифікації розробки мерзлих ґрунтів, створення ресурсозберігаючих та економічно вигідних технологій і засобів механізації є одним з важливих напрямів по вдосконаленню будівельного виробництва.

Мета роботи. Проаналізувати існуючі методи, технології та засоби механізації виконання земляних робіт на мерзлих ґрунтах і розглянути напрями інтенсифікації цих робочих процесів в обмежених умовах будівництва.

Матеріал та результати досліджень. Тенденція розвитку методів, засобів механізації та технологій розробки мерзлих ґрунтів характеризується кількома основними напрямками інтенсифікації виконання земляних робіт. Наявність різних шляхів пов'язано з пошуком нових ефективних методів впливу на ґрунт, враховуючи його специфічні властивості. У будівельній практиці широко застосовуються різні методи і засоби розробки мерзлих ґрунтів. Це пов'язано з різноманітністю технологічних умов робіт, відмінністю видів та об'єктів виробництва, наявністю енергетичних носіїв, фізико-механічними властивостями ґрунтів та низкою інших причин.

Різнманітність методів (способів) можна розділити на основні групи:

- розробка мерзлих ґрунтів з попередньою підготовкою з метою збереження або перетворення їх в талий (немерзлий) стан;
- розробка ґрунтів у високоміцному мерзлому стані.

До першого методу відносяться способи запобігання ґрунтів від промерзання і способи запобігання відтавання мерзлих ґрунтів за рахунок теплового або хімічного впливу на них.

Для запобігання ґрунту від промерзання використовують наступні технології: снігозатримання, оранка та боронування, глибоке передзимове розпушування, утеплення теплоізоляційними матеріалами [2, 3].

Загальним недоліком способів запобігання ґрунтів від промерзання є те, що їх можна застосувати тільки на раніше запланованих об'єктах, роботи на яких належить проводити в зимовий час. За цієї причини способи запобігання ґрунтів від промерзання не знаходять широкого застосування в будівництві та не можуть бути застосовані для виконання робіт в умовах обмеженого простору, оскільки задіяна техніка за своїми габаритами і маневреністю не відповідає тим вимогам, які до неї пред'являються.

Для обмежених умов будівництва застосовують методи відтавання мерзлих ґрунтів за допомогою парових, водяних, електричних голок, а також спеціальних форсунок, але, незважаючи на різноманітність різних конструкцій і способів, використовують цей метод у виняткових випадках, коли неможливе застосування механічного розпушування ґрунту. Цей метод не знаходить широкого застосування через необхідність використання дорогих енергоносіїв, дефіцитних горючих матеріалів [3]. Через малу теплопровідність ґрунту глибина відтавання за один цикл виявляється незначною, і як наслідок цього, спосіб відтавання ґрунту є одним з найбільш енергоємних і дорогих. Енергоємність цього способу в десятки разів перевищує енергоємність механічних методів розробки мерзлих ґрунтів (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники різних способів розробки мерзлих ґрунтів

Спосіб розробки ґрунту	Енергоємність, кВт·год/м ³	Трудомісткість, чол·дн/м ³
Запобігання промерзання	1,36	0,02...0,002
Відтавання:		
парове	190	0,16
вогневе	136	0,11...0,14
електричне	81	0,7...0,28
інше	–	0,05...0,06
Ручна розробка	–	1,9
Механізований ручний інструмент	17,7	0,57...0,85
Буропідривний	1,4	0,048
Механічні способи:		
різання	5,45	0,003...0,09
вібрація	1,64	0,044...0,08
удар	0,55	0,005...0,05
відрив від масиву	0,28	0,005

Суттєвим недоліком способів відтавання ґрунту за допомогою його нагрівання є також те, що розроблений в талому стані ґрунт швидко змерзається на відкритому повітрі та його використання для зворотних засипок або іншого технологічного застосування сильно ускладнюється, а часом і виключається. Всі вищевказані фактори обмежують застосування теплових способів відтавання ґрунту в будівництві.

Більш поширеними методами підготовки мерзлого ґрунту до розробки є методи хімічного відтавання мерзлого ґрунту з використанням хімічних реагентів або попереднього засолення ґрунту.

Ефективність відтавання залежить від глибини проникнення в ґрунт хімічних реагентів, для чого виконують буріння шпурів або пошарове боронування талого ґрунту. Необхідність використання великої кількості техніки для проведення робіт, пов'язаних з виконанням операцій по підготовці майданчика, буріння шпурів або боронування ґрунту та розливу хімічного реагенту визначають високу вартість і трудомісткість робіт. Слід зазначити також, що застосування цього методу пов'язане з несприятливим впливом хімічних речовин на навколишнє природне середовище.

Зважаючи на перераховані недоліки, методи попередньої підготовки мерзлого ґрунту відтаванням є економічно не вигідними. Свідченням цього є те, що їх частка в загальному виконанні робіт становить 0,1% (табл. 2).

Як показує аналіз, на даний час найбільш ефективними і широко розповсюдженими на будівництві є механічні способи розробки ґрунтів в мерзлому стані. За різними даними цими способами виконується від 85% до 95% всього обсягу зимових земляних робіт [2–7].

Таблиця 2 – Розподіл способів розробки мерзлих ґрунтів у загальному обсязі робіт

Способи підготовки та розробки мерзлих ґрунтів	Питома вага, % (в середньому)
Клин-молотом на одноківшевих екскаваторах	42,8
Розпушувачами на тракторах	31,9
Баровими машинами	14,7
Вибухові способи	4,2
Багатоківшеві екскаваторами і траншеєкопачами	3,3
Запобігання від промерзання	1,1
Розпушувачами на одноківшевих екскаваторах	1,1
Ручними машинами	0,3
Відтавання ґрунту	0,1
Фрезерними машинами	0,1
Іншими способами	0,4

Широке використання цих способів пов'язано з високою продуктивністю виконання робіт і можливістю застосування в різних технологічних умовах.

Найбільшого поширення набули три механічних способи розробки мерзлого ґрунту (табл. 2): руйнування ґрунту клин-молотом (42,8%), розробка розпушувачами на тракторах (31,9%) та блоковий метод із застосуванням барових машин для нарізки щілин (14,7%). Цими методами виконується близько 90% всього обсягу робіт з розпушування мерзлих ґрунтів. Широке розповсюдження цих методів пов'язано з тим, що в процесі роботи машин реалізується найбільш ефективна і менш енергоємна схема руйнування мерзлого ґрунту – відрив і значне відколювання [4].

Для розробки мерзлих ґрунтів широкого застосовування набули навісні розпушувачі статичної дії (рис. 1, а–в), що встановлюються на гідравлічні трактори тягового класу 10, 15, 25 кН. Ефективне використання розпушувачів під час розробки мерзлих ґрунтів і скельних порід обумовлено значним зростанням потужності базових тракторів та постійним вдосконаленням навісних пристроїв і конструкцій робочих органів. Розробка мерзлих ґрунтів бульдозерно-розпушувальними агрегатами є ефективним способом підготовки мерзлих ґрунтів. Область його застосування – великі та середні виїмки в будь-яких ґрунтових умовах. Використання даного способу можливо тільки за достатнього розміру підготовлюваного об'єкта для забезпечення умов маневрування та роботи тракторного агрегату [5]. Крім того, як показує досвід експлуатації розпушувачів статичної дії, всі вони мають суттєві недоліки: по-перше, за низької температури ґрунту до -10°C та зі збільшенням глибини промерзання до 1 м, використання розпушувачів стає неефективним через підвищений опір ґрунту руйнуванню та необхідності його пошарового розпушування, а по-друге, значний знос ріжучих елементів робочих органів, при якому середня тривалість безперервної роботи наконечника розпушувача до повного зносу складає 4...8 год [6].

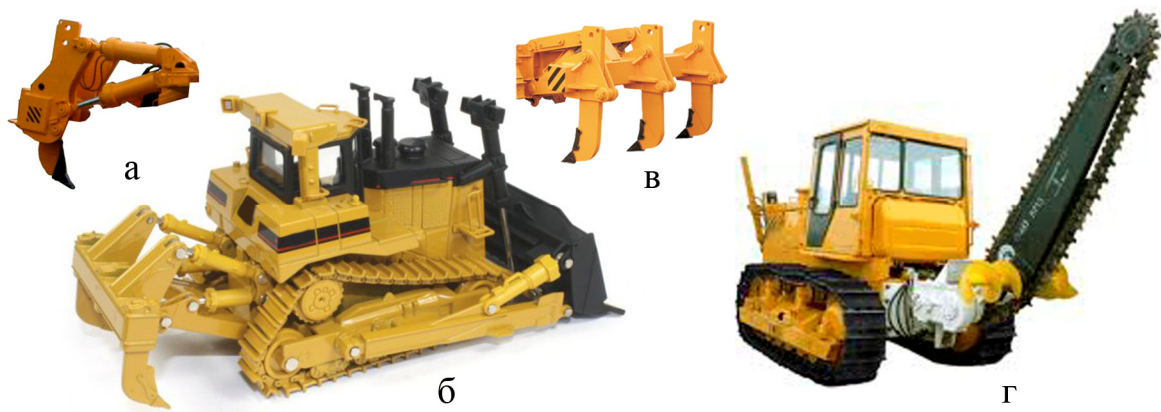


Рисунок 1 – Бульдозерно-розпушувальний агрегат з одно- (а), дво- (б) та багатозубим (в) розпушником; барова щілинонарізна машина (г)

Безударний спосіб руйнування мерзлих ґрунтів реалізується при блоковому методі (рис. 1, г). Технологією, що заснована на цьому методі, передбачається попередня нарізка щілин в ґрунті з метою підготовки його до екскавації звичайними землерийними машинами. Застосовуються щілинонарізні машини (барові або дискофрезерні), в основному, при невеликих глибинах промерзання ґрунту та за відсутності кам'янистих включень. Застосування цього методу для об'єктів в обмежених умовах будівництва, характерні особливості яких були розглянуті раніше, неможливо, внаслідок обмеженості фронту робіт, відсутності площ для маневрування та небезпеки пошкодження прилеглих комунікацій і споруд.

З позиції реалізації найбільш ефективного способу руйнування мерзлих ґрунтів переважними є машини ударної дії, робочі органи яких здатні забезпечувати високі питомі навантаження, що призводять до утворення тріщин, відділенню мерзлих брил від масиву та їх руйнування (рис. 2).



Рисунок 2 – Машина ударної дії: а – гідромолот; б – пневмомолот

Використання гідравлічних молотів на однокішшевих екскаваторах III-IV розмірних груп дозволяє успішно реалізовувати переваги ударного способу руйнування мерзлих ґрунтів на глибину до 0,7 м за один прохід.

Машини динамічної дії для руйнування мерзлих ґрунтів, завдяки короткочасності програми руйнівного навантаження, дають можливість реалізувати на робочому органі значні зусилля при відносно малих витратах потужності, що забезпечує високу ефективність розпушування. Метод ударного руйнування є досить ефективним і має низьку енергоємність роботи.

Останнім часом спостерігається тенденція до розширення ряду типорозмірів молотів як в бік зростання потужності енергії удару, так і в бік зменшення енергії удару. Зокрема, фірми Krupp і Kone випускають гідромолоти масою 20...25 кг з енергією удару 100...140 Дж, які можуть підключатися до гідросистеми екскаватора [7]. Ефективність застосування гідромолотів характеризує той факт, що вони широко випускаються багатьма закордонними фірмами, в тому числі фірмами Krupp, Gunter, Klemm (Німеччина), Raхon, Rammer (Фінляндія), Furukawa, NPK (Японія) тощо.

Поряд з гідромолотами широкого застосування для руйнування мерзлих ґрунтів, твердих порід та будівельних конструкцій знаходять пневматичні молоти. Пневмомолоти з'явилися набагато раніше гідравлічних і до сьогодні випускаються за кордоном великими серіями фірмами Demag (ФРН), Jngerall-Rand, Kent (США), Mendon (Франція), NKR, Furukawa (Японія) тощо. Вони більш надійні та ремонтпридатні порівняно з гідромолотами.

Аналогічний принцип руйнування мерзлих ґрунтів реалізується при роботі вібротолотом, але слід зауважити, що, незважаючи на значну кількість досліджень та випробувань експериментальних зразків, до теперішнього часу робота по створенню вібротолотів не вийшла з дослідної стадії. Відомі конструкції машин з вібротолотами недовговічні, термін їх експлуатації часом обмежується десятками годин [7].

Водночас, недоліком значної частини існуючих машин ударної дії є шкідлива дія ударних навантажень як на металоконструкцію самої машини, так і на прилеглі інженерні комунікації та споруди. Тому застосування таких машин неможливо при виконанні робіт в безпосередній близькості до інженерних об'єктів, які можуть зруйнувати ударні навантаження.

Останнім часом закордонні фірми для розпушування мерзлого ґрунту в умовах обмеженого простору почали випускати робочі органи шарошечного (фрезерного) типу, що закріплені на робочому обладнанні гідравлічних екскаваторів [2, 8]. Перевагою даного обладнання є безперервний процес розробки ґрунту, а також відносно невеликі навантаження, що діють на базову машину в період експлуатації.

Для розробки міцних та мерзлих ґрунтів, в тому числі при виконанні робіт в обмежених умовах будівництва, фірма Venati (Італія) виробляє шарошечні робочі органи, які закріплюються на кінці спеціальної рукояті та мають ротор з розташованими на ньому змінними зубами. Консольно встановлені на одному валу дві фрези розташовуються по обидва боки рукояті. Розробка мерзлого і скельного ґрунтів здійснюється обертовим ротором. Для забезпечення роботи ротора одночасно відбувається примусове підтискання робочого органу двома гідроциліндрами рукояті екскаватора.

Для пошарової розробки методом дрібного відколу мерзлих і скельних порід фірма Mitsui Miike (Японія) розробила робочий орган, що встановлюється на рукояті обладнання зворотної лопати замість ковша [8]. Він містить дві шарошечні головки, встановлені консольно на одному валу по обидві сторони корпусу редуктора. Привід шарошечних головок здійснюється від гідромотора, який підключений до загальної гідравлічної системи екскаватора через конічно-циліндричний редуктор. Недоліком такого типу обладнання є те, що воно здатне здійснювати тільки пошарове розпушу-

вання мерзлого ґрунту і його застосування ефективно при виконанні тільки невеликих обсягів робіт. Крім того, недоліком є складність конструктивного виконання обладнання та його висока вартість.

Одним з шляхів зниження опору впровадженню робочих органів є розміцнення мерзлого ґрунту під час взаємодії з робочим органом. Це досягається або за допомогою нагріву зубів ковша, що полегшує їх впровадження, або за рахунок впливу на ґрунт СВЧ полем від випромінювачів, що розташовані на робочому обладнанні [5]. Однак, ці методи до сьогодні не вийшли зі стадії досліджень і не знайшли практичного застосування.

Прогресивним напрямом є створення обладнання та методів розробки ґрунту на основі використання нових фізичних ефектів та їх комбінування з механічними засобами. Для активації механічного руйнування міцних та мерзлих ґрунтів отримала широке розповсюдження інтенсифікація процесів розробки ґрунтів з накладанням на робочий орган коливань з частотою звукового і ультразвукового діапазонів [2, 5]. При накладанні коливань вказаних діапазонів на робочі органи землерийних машин відбувається зниження сил тертя і зчеплення ґрунту з поверхнею інструмента, а також його розміцнення під дією знакозмінних навантажень, що створені розповсюдженням хвиль високої інтенсивності.

Іншим напрямом інтенсифікації робочих процесів є удосконалення робочих органів, що реалізують ефективну та найменш енергоємну схему механічного руйнування ґрунту відривом або відколюванням. Розпушення мерзлого ґрунту значним відколюванням виконується в тому випадку, коли сила впливу робочого органа на ґрунт спрямована у бік відкритої поверхні ґрунту. При цьому процес руйнування ґрунту реалізується, в основному, за рахунок відриву деякого об'єму ґрунту від масиву, що виключає зайве подрібнення ґрунту [2, 5, 8]. Такий процес руйнування веде до підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат.

Наприклад, в конструкціях робочих органів статичної дії, представлених японською фірмою Kamatsu, поєднуються одночасно розпушувач статичної дії та ківш (рис. 3, а). При цьому створюється висока концентрація зусиль на одному потужному зубі ковша, який розташований в середній частині ріжучої кромки, і це дозволяє здійснювати попереднє розпушування розроблюваного ґрунту і одночасне копання. Передня частина цього зуба виступає вперед відносно двох інших. Задня частина зуба проходить усередині ковша вздовж всього днища і стикується з задньою стінкою. Застосовуються такі ковші для розробки ґрунтів III категорії міцності.

Аналогічний принцип активації зубів закладено до конструкції ковша фірми Liebherr (Німеччина) для одноківшевих екскаваторів масою 25 т.

Ківш (рис. 3, б) оснащений двома висуненими вперед потужними крайніми зубами, які є продовженням бічних стінок ковша.

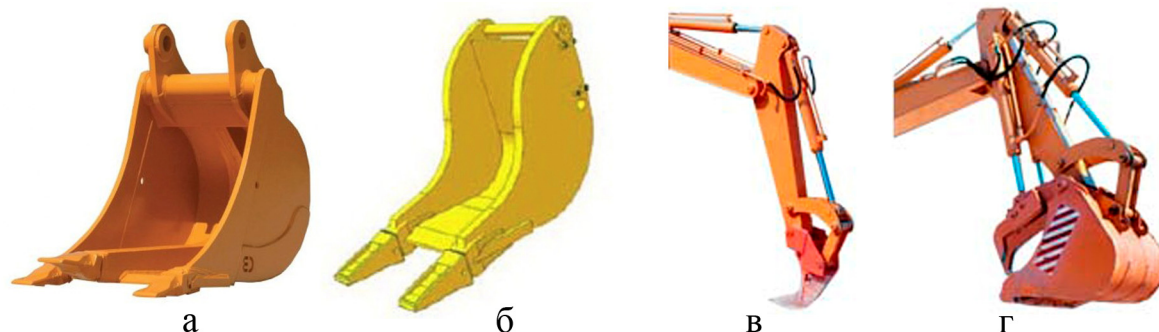


Рисунок 3 – Навісне обладнання одноківшевих екскаваторів:
а – ківш фірми Kamatsu; б – ківш фірми Liebherr; в – зуб-розпушник;
г – обладнання захватно-кліщового типу з тризубим розпушником

Для високоміцних ґрунтів застосування ковшів із зубами-розпушувачами і окремих потужних зубів-розпушувачів (рис. 3, в), що навішуються на одноківшеві екскаватори, обмежено недостатністю розвивання зусиль і нестійкістю екскаватора, що є суттєвим недоліком конструкцій, які реалізують такий спосіб створення високих питомих тисків на робочому органі.

Перспективним напрямом підвищення ефективності розробки мерзлих і міцних ґрунтів є створення машин та обладнання, що реалізують силовий вплив на ґрунт в замкнутому силовому потоці [6]. Використання таких машин дає можливість збільшити зусилля на ріжучій кромці робочого органа в більшій степені, ніж розвиває машина за рахунок своїх тягових характеристик. Крім того, це дозволяє виключити дію активних і реактивних сил, що виникають на робочому органі, на базову машину, тим самим забезпечити надійність та довговічність її роботи.

Прикладами конструкцій, що реалізують схему замкнутого силового потоку, є екскаватори з обладнанням захватно-кліщового типу з тризубим розпушником (рис. 3, г). Таким обладнанням комплектуються, зокрема, екскаватори ЭО-4122. В цій схемі співвісно з ковшем на підсиленій рукояті шарнірно закріплюється зуб-розпушник, зусилля на який передається від додаткового гідроциліндра, що встановлено на рукояті. Силовий потік в такому робочому обладнанні замкнутий в системі «ґрунт – ківш – рукоять – розпушуючий зуб», дозволяє реалізовувати зусилля до 360 кН.

Метод відриву ґрунту значним відколюванням реалізується і під час роботи клиновидного робочого органа під дією ударного навантаження гідравлічними або пневматичними молотами. Позитивними якостями машин з таким обладнанням є також те, що при впровадженні клина після кожного удару ґрунт залишається в напруженому стані і на подолання повторних деформацій ґрунту витрачається менше енергії. Це надає значних

переваг при розпушенні ґрунту, що промерз на велику глибину, і особливо при розпушенні мерзлих високоміцних ґрунтів.

Найбільш ефективні машини з ударним обладнанням безперервної дії, що руйнують мерзлий ґрунт з одночасним прикладанням статичного (тягового) зусилля виконавчого органа землерийних машин, що переміщується, та динамічних навантажень ударного механізму, наприклад, вібраційний розпушник, встановлений на рукояті одноківшевого екскаватора.

Недоліком такого виду обладнання є те, що передача енергії від інтенсифікатора до робочого органа ударом призводить до значних динамічних перевантажень, як в самому ударному механізмі, так і в навісному обладнанні розпушника, в базовій машині, причому енергоємність при динамічному руйнуванні ґрунту в 2...4 рази вище, ніж при статичному впливі [2].

Висновки. Проведений аналіз показав, що при досить великій різноманітності методів, технологій і машин для попередньої підготовки та розробки мерзлих ґрунтів, засоби механізації для виконання робіт в обмежених умовах будівництва практично відсутні. Деякі з існуючих методів і машин можуть частково використовуватися в розглянутих умовах, але вони не мають універсальності, що обмежує область їх застосування. Створення засобів механізації, що реалізують вплив на ґрунт у замкнутому силовому потоці, дозволить збільшити зусилля робочого органу на ґрунт без збільшення потужності базової машини та розширити діапазон застосування існуючого парку машин для розробки ґрунтів з високою механічною міцністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прикладная экология в дорожном строительстве / [С. А. Евтюков, Е. П. Медрес, Г. А. Рябинин и др.]. – Санкт-Петербург : Изд-во ДНК, 2009. – 896 с.
2. Машини для земляних робіт / [Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В. та ін.] ; під заг. ред. Л. А. Хмари і С. В. Кравця. – Рівне-Дніпропетровськ-Харків, 2010. – 557 с.
3. Казаринов В. М. Анализ трудоемкости и эффективности различных способов разработки мерзлого грунта в строительстве / В. М. Казаринов, Ю. Ю. Каммерер // Снижение трудоемкости разработки мерзлых грунтов : Тезисы докл. – 1982. – С. 3 – 5.
4. Машини для земляных работ / [Гаркави Н. Г., Аринченков В. И., Карпов В. В. и др.] ; под ред. Н. Г. Гаркави. – М. : Высш. шк., 1982. – 335 с.
5. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М. : Транспорт, 1993. – 383 с.
6. Вялов С. С. Реология мерзлых грунтов / С. С. Вялов. – М. : Стройиздат, 2000. – 464 с.
7. Ударно-вибрационные системы, машины и технологии : материалы 3-го междунар. науч. симпозиума; под ред. Л. С. Ушакова. – Орел : ОрелГТУ, 2006. – 543 с.
8. Кузнецова В. П. Создание эффективных рабочих органов землеройных машин для разработки мерзлых и прочных грунтов / В. П. Кузнецова, Р. А. Мартюков // Строительные и дорожные машины. – 2005. – № 4. – С. 34 – 38.