

МАШИНЫ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

УДК 621.879.328

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПУШУВАЧІВ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА ЗУБЦЯМИ,
РОЗТАШОВАНИМИ НА РІЗНИХ РІВНЯХ**

**Л.А. Хмара, проф., д.т.н., С.В. Шатов, проф., д.т.н.,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
м. Дніпропетровськ**

Анотація. Розглядається взаємодія з мерзлими та міцними ґрунтами робочого органу розпушувача, зубці якого розташовані на різних рівнях. Теоретично та експериментально доведено доцільність використання на розпушувачах розробленої конструкції обладнання.

Ключові слова: мерзлі та міцні ґрунти, розпушувачі, зубці на різних рівнях.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЫХЛИТЕЛЕЙ С НЕСКОЛЬКИМИ ЗУБЬЯМИ,
РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ**

**Л.А. Хмара, проф., д.т.н., С.В. Шатов, проф., д.т.н.,
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Днепропетровск**

Аннотация. Рассматривается взаимодействие с мерзлыми и прочными ґрунтами рабочего органа рыхлителя, зубья которого расположены на разных уровнях. Теоретически и экспериментально доказана целесообразность использования на рыхлителях разработанной конструкции оборудования.

Ключевые слова: мерзлые и прочные ґрунты, рыхлители, зубья на разных уровнях.

**RESEARCH OF SCARIFIERS WITH SEVERAL TEETH
LOCATED AT DIFFERENT LEVELS**

**L. Khmara, Prof., D. Sc. (Eng.), S. Shatov, Prof., D. Sc. (Eng.),
Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovsk**

Abstract. This article deals with the interaction of scarifier actuator with teeth located at different levels with frozen and firm soils. The feasibility of using the designed equipment on scarifiers has been proved theoretically and experimentally.

Key words: frozen and firm soils, scarifiers, teeth at different levels.

Вступ

Будівництво нових та реконструкція старих об'єктів пов'язані з необхідністю виконання земляних робіт. Ці роботи можуть виконуватися у різні пори року. У разі проведення робіт взимку ґрунти мають значно вищі показники механічних властивостей, у першу

чергу з міцності, порівняно з іншими періодами року. У зимовий період міцність ґрунтів збільшується у 30–40 разів. Це призводить до підвищення енергоємності та вартості виконання земляних робіт традиційною технікою: одноківшовими екскаваторами, скреперами, бульдозерами. Існує значна кількість способів та відповідних засобів ме-

ханізації з розробки мерзлих та міцних ґрунтів [1–3]. Однак вони мають окремі технологічні та конструкторські недоліки. Тому створення машин і обладнання для ефективної розробки мерзлих та міцних ґрунтів є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз публікацій

Найбільш перспективним для розробки ґрунтів є використання розпушувачів статичної дії, які встановлюються на гусеничних тракторах, – це навісне обладнання до бульдозерів або навантажувачів [4–7]. Вони виконують підготовчі роботи з пошарового розпушення мерзлих та міцних ґрунтів перед роботою основних землерийних машин (екскаваторів). Найчастіше розпушувачі встановлюють у задній частині тракторів, оснащених бульдозерним обладнанням (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1. Типи розпушувачів: а, б – з одним зубом; в – з декількома паралельними зубцями

Таке компонування вирівнює тиск гусениць бульдозерно-розпушувального агрегата на опорну поверхню, що покращує його тягові характеристики та дозволяє обійтися однією машиною при поєднанні бульдозерних і розпушувальних робіт на одному об'єкті. Розпушувачі мають нескладне та надійне обладнання, достатню продуктивність (70–200 м³/годину), якість роботи та невисоку вартість.

Для розробки мерзлих та міцних ґрунтів залежно від їх стану (міцність, тип ґрунтів тощо) використовують бульдозери-розпушувачі певного тягового класу в межах 100–1000 кН. Залежно від технологічних вимог розпушення ґрунтів виконують: на максимальну глибину за один прохід розпушувача з одним зубом (рис. 1, а, б); на найбільшу ширину розпушення розпушувачами з декількома паралельними зубцями (рис. 1, в). Зубців може бути два, три, п'ять. За необхідності відстань між зубцями може змінюватися. Для підвищення ефективності використання розпушувачі виконують із повздовжнім нахилом зубців (рис. 1, б) та зміною їх вильоту відносно робочої балки шляхом вертикальної перестановки зубців на відповідний монтажний отвір (рис. 1, а, в).

Проте навісні розпушувачі мають ряд недоліків: істотні динамічні навантаження на елементи розпушувачів і базових тракторів через характер коливального процесу розпушення міцних і мерзлих ґрунтів; значні за розмірами елементи розпушеного ґрунту, що ускладнює застосування іншої землерийної техніки, зокрема ківшового типу, що працюють у комплексі з розпушувачами; відносна невелика глибина розпушення за один прохід, особливо для розпушувачів тягового класу 100–150 кН.

У зв'язку з вищевикладеним вдосконалення навісних розпушувачів спрямоване на усунення цих недоліків шляхом створення нових типів робочих органів, зокрема з декількома зубцями, встановленими на різних рівнях.

Мета і постановка завдання

Метою досліджень є розробка пропозицій з удосконалення розпушувачів для підвищення ефективності підготовчих робіт за рахунок зменшення розмірів елементів розпушеного ґрунту, зниження динамічних навантажень та збільшення технологічних показників роботи розпушувачів.

Дослідження розпушувачів із декількома зубцями, розташованими на різних рівнях

На кафедрі «Будівельні та дорожні машини» Придніпровської державної академії будівництва та архітектури ведуться дослідження процесу розробки міцних і мерзлих ґрунтів розпушувачами [8, 9]. За результатами досліджень розроблено розрахункову схему (рис. 2) процесу взаємодії з ґрунтом робочого органа розпушувача, особливістю якого є наявність на стійках 1 двох зубців – переднього 2 та заднього 3, оснащених змінними наконечниками 4 і 5. Передній зуб 2 і наконечник 4 розташовані вище заднього зуба 3 і наконечника 5.

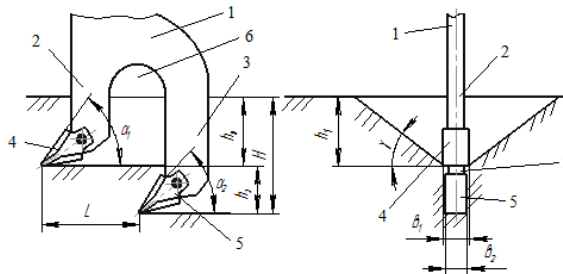


Рис. 2. Розрахункова схема процесу взаємодії з ґрунтом робочого органа розпушувача із двома зубцями: 1 – стійка; 2 – передній зуб; 3 – задній зуб; 4 – передній наконечник; 5 – задній наконечник; 6 – криволінійна поверхня

Між переднім 2 і заднім 3 зубцями виконано розвантажувальне вікно, утворене криволінійною поверхнею 6 для виходу ґрунту, зруйнованого заднім зубом 3. У процесі розробки ґрунтів кожним з наконечників розробляється половина загальної глибини розпушення, що дозволяє знизити динаміку коливань робочого органа і зменшити розміри елементів розпушеного ґрунту.

Теоретичними дослідженнями визначено, що для розпушувача з двома зубцями опір розпушенню мерзлого ґрунту визначається

$$P_{\text{дв}} = P' + P'' = P'_1 + 2P'_2 + P'_3 + P'_4 + P'_5 + P''_1 + P''_3 + P''_5, \quad (1)$$

де P', P'' – опір розпушенню переднім і заднім зубцями; $P'_1, P'_2, P'_3, P'_4, P'_5, P''_1, P''_3, P''_5$ – складові опору розпушенню ґрунту, відпові-

дно: перед лобовою поверхнею зубців (P_1); у бічних прорізах ґрунту (P_2); від ваги елементів розпушеного ґрунту (P_3); від ущільнення ґрунту в бічні стінки прорізу у нижній частині (P_4); від наявності поверхонь зносу на наконечниках (P_5).

З метою визначення раціональних параметрів робочого органа з декількома зубцями були проведені експериментальні дослідження з використанням фізичного моделювання. Дослідження проводилися на стенді (рис. 3), який складався з контейнера із середовищем, що моделювалися (парафін), універсальну модель робочого органа розпушувача із змінними параметрами, металоконструкції для кріплення контейнера та моделі робочого органа, а також тензометричну систему для фіксації силових параметрів процесу.

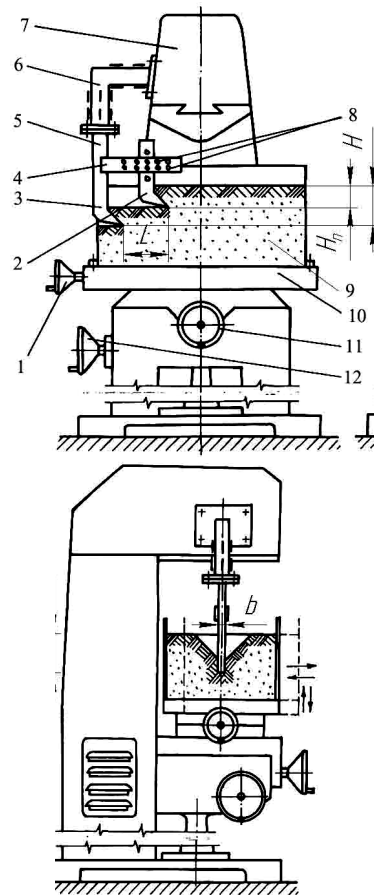


Рис. 3. Стенд для дослідження процесу розпушення міцних ґрунтів: 1 – рукоятка горизонтальної подачі; 2 – передній зуб; 3 – задній зуб; 4 – рама; 5 – робочий орган; 6 – тензометрична система; 7 – корпус; 8 – монтажні отвори; 9 – контейнер; 10 – рухомий стіл; 11 – рукоятка бічної подачі; 12 – рукоятка вертикальної подачі

На підставі експериментів було отримано такі рівняння регресії:

– для дотичної складової опору розпушенню P_d

$$P_d = 2679,1 - 468,5 \cdot h_n - 790,6 \cdot b_1 - 200,7 \cdot L + 201,6 \cdot h_n \cdot b_1 - 15,7 \cdot h_n \cdot L - 16,2 b_1 \cdot L + 56,8 \cdot h_n^2 + 242,8 \cdot b_1^2 + 24,5 \cdot L^2 \quad (2)$$

де h_n – глибина розпушення переднім наконечником, м; b_1 – ширина переднього наконечника, мм; L – відстань між наконечниками по горизонталі, м.

– для питомого показника P_d/F (F – площа розпушеного ґрунту у перерізі)

$$P_d / F = 383,64 - 33,29 \cdot h_n - 58,11 \cdot b_1 - 50,84 \cdot L + 5,36 \cdot h_n \cdot b_1 + 1,95 h_n \cdot L + 4,69 \cdot b_1 \cdot L + 2,25 \cdot h_n^2 + 4,8 \cdot b_1^2 + 3,54 \cdot L^2 \quad (3)$$

Зміни параметрів h_n , b , L дозволили варіювати відповідно до відношення h_n/H за постійної загальної глибини розпушення H ; співвідношення b_1/b_2 – за постійної ширини b_2 заднього наконечника; відношення L/h_3 , де h_3 – глибина розпушення заднього зуба, яка дорівнює $H - h_n$. Отримано залежності (рис. 4) шляхом обчислення виразів (2) і (3) із кроком параметрів

$$h_i = h_n + 1; \quad b_i = b_1 + 0,5; \quad L_i = L_1 + 2. \quad (4)$$

Аналіз отриманих залежностей $P_d = f(h_n, b_1)$ показав, що на зміну дотичної складової опору розпушенню P_d (рис. 4, а) найбільший вплив справляло варіювання ширини b_1 переднього наконечника. Зміна P_d за збільшення b_1 від мінімального до максимального значення складала 1,5–3,6 рази, а за збільшення h_n – в 1,4–2,3 рази.

На зміну енергоємності процесу розпушення (рис. 4, б) варіювання ширини b_1 і глибини розпушення h_n справляло рівний вплив. При цьому зміна показника P_d/F за збільшення b_1 і h_n від \min до \max складала 1,1...1,4 рази. Мінімальною енергоємністю руйнування матеріалу володіє робочий орган з послідовно розташованими зубцями при $h_n = 2,0 - 3,0$ см і відношенні $h_n/H = 0,4 - 0,6$ при $b_1/b_2 = 1,8 - 2,7$.

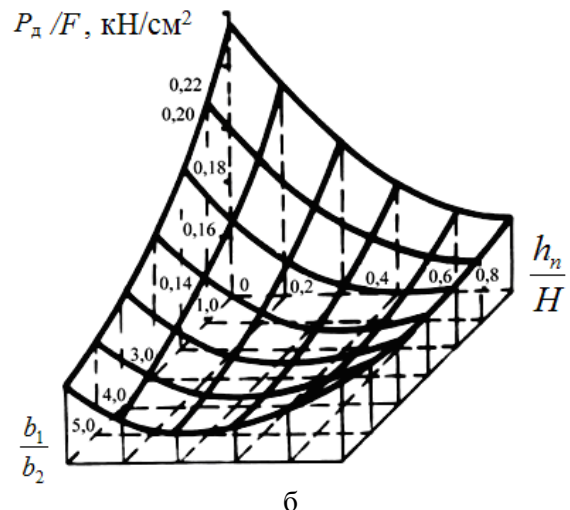
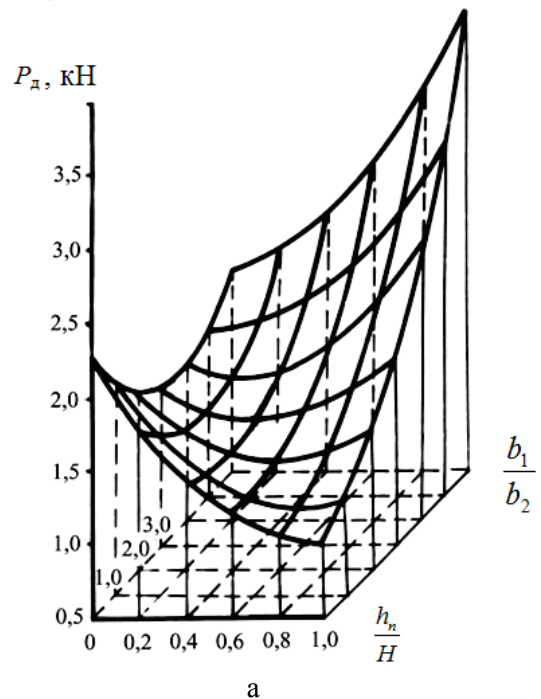


Рис. 4. Залежності від співвідношень h_n/H та b_1/b_2 : а – дотичної складової опору розпушенню P_d ; б – питомого показника P_d/F

З аналізу залежностей P_d , $P_d/F = f(h_n, L)$ випливає, що на зміну дотичної складової опору розпушенню P_d варіювання глибини h_n розпушення і відстані між стійками L мало рівний вплив з незначним переважанням впливу варіювання глибини h_n (рис. 5). Найменше значення P_d/F спостерігалось при $h_n/H = 0,4 - 0,6$ та $L/h_3 = 2,0 - 3,0$.

При визначенні ступеня впливу L та b_1 для залежностей P_d , $P_d/F = f(L, b_1)$ встановлено, що на зміну P_d значний вплив справляло варіювання ширини b_1 , а на зміну P_d/F – варіювання відстані L (рис. 6). Мінімальне значен-

ня показника P_d/F відповідає відношенням $b_1/b_2 = 1,8 - 2,7$ і $L/h_3 = 2$.

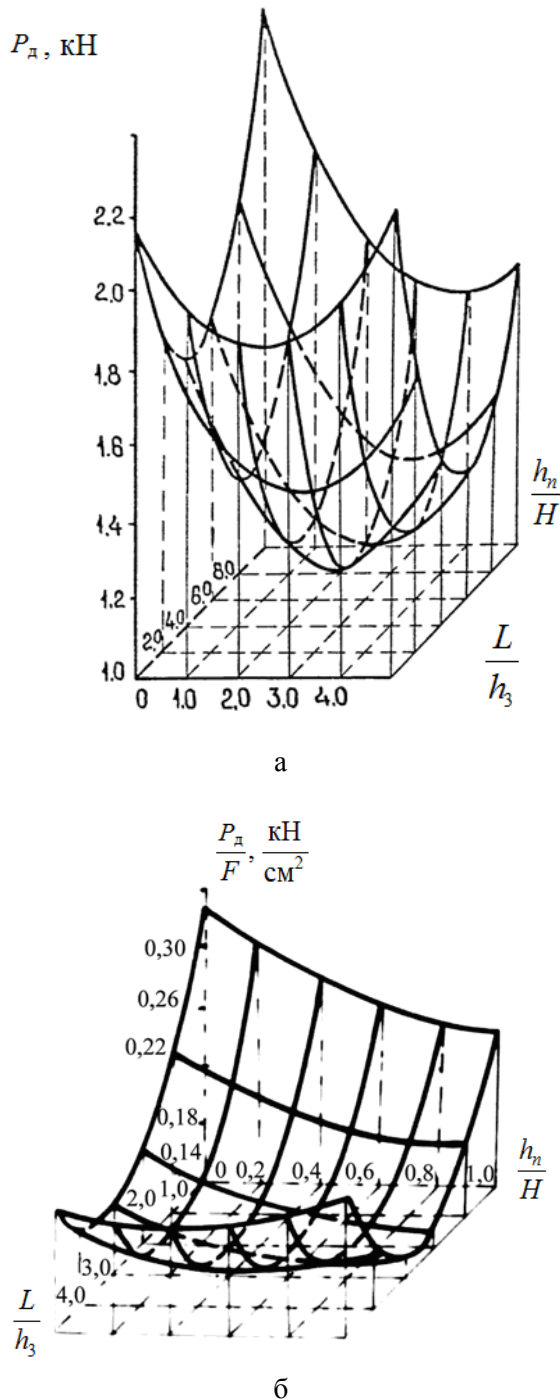


Рис. 5. Залежності від співвідношень L/h_3 та h_n/H : а – дотичної складової опору розпушенню P_d ; б – питомого показника P_d/F

Отримані результати експериментів показують, що при розпушенні матеріалів на незначних глибинах відділення їх елементів здійснюється за рахунок деформацій відриву, а зона ущільнення має мінімальну величину. При роботі розпушувачів на великих глибинах на загальний опір розпушенню найбіль-

ший вплив справляє його складова, що характеризує опір ущільненню ґрунту в нижній частині прорізу, який може перевищувати суму решти складових опору розпушенню. Використання на розпушувачі робочого органа з двома зубцями забезпечує зниження опору розпушенню у середньому на 19–21 %.

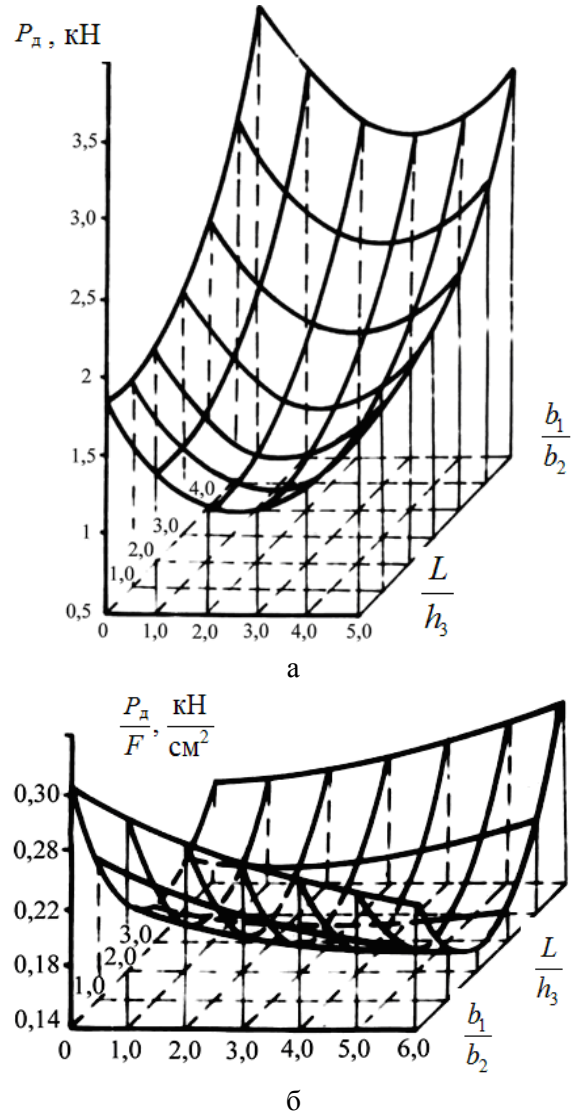


Рис. 6. Залежності від співвідношень L/h_3 та b_1/b_2 : а – дотичної складової опору розпушенню P_d ; б – питомого показника P_d/F

Найбільший вплив на процес розпушення матеріалу робочим органом з послідовним розташуванням зубців справляли ширина переднього наконечника, глибина його розпушення та відстань між зубцями. Рациональні значення перерахованих параметрів характеризуються відношеннями $b_1/b_2 = 1,8 - 2,7$; $h_n/H = 0,4 - 0,6$ та $L/h_3 = 2,0 - 3,0$.

На підставі отриманих результатів теоретичного аналізу створені натурні машини – розпушувачі на базі тракторів Т-170, Т-330, ДЕТ-250 (рис. 7). Експлуатація робочого органа нового типу показала, що наявність двох послідовно розташованих зубців забезпечує глибину розпушення за один прохід до 0,48–0,55 м, тоді як глибина розпушення розпушувача традиційної конструкції (з одним зубом) складала 0,32–0,35 м.



а



б



в

Рис. 7. Розпушувачі із зубцями, встановленими на різних рівнях, на базі тракторів: а, б – Т-170; в – ДЕТ-250

При сталому процесі розпушення робочий орган із двома зубцями руйнував мерзлий суглинок, відокремлюючи від масиву елементи ґрунту. Елементи ґрунту, відокремлювані передньою стійкою, мали в поперечному перерізі трапецієподібну форму, а відокремлювані задньою стійкою – прямокутну форму. При вимірюванні елементів ґрунту встановлено, що робочий орган із двома зубцями зменшує розмір розпушеного ґрунту в 1,6 – 1,8 рази. При цьому середній розмір еле-

ментів ґрунту, розпушеного робочим органом із двома зубцями, склав 0,33 м, а робочим органом з одним зубом – 0,62 м. Це сприяло підвищенню продуктивності однокішшового екскаватора ЕО-4111Б, який працював у комплексі з розпушувачем, в середньому до 20–22 % в результаті поліпшення наповнення ковша.

Процес розпушення характеризувався стійким рухом базового трактора, що істотно знижувало динамічні навантаження на елементи підвіски і базову машину, сприяло збільшенню їх термінів експлуатації. При випробуванні отримано такі результати (у чисельнику приведені результати для розпушувача з двома зубцями, у знаменнику – з одним):

– продуктивність, м ³ /годину:	94/72
– глибина розпушення, м	0,55/0,4
– швидкість розпушення, км/год.	3,2/2,6

Конструкція підвіски робочого органа з розташуванням зубців на різних рівнях забезпечує інтенсивне заглиблення його в масив, що розробляється, з поверхні ґрунту. Довжина шляху заглиблення становила 5–6 м, після чого розпушувач виходив на сталий режим роботи.

За результатами досліджень запропоновано варіанти (рис. 8) виготовлення робочого органа з двома зубцями, розташованими на різних рівнях, залежно від типу базового трактора, конструкції підвіски (місця кріплення зубців), механічних властивостей середовища, що розробляється.

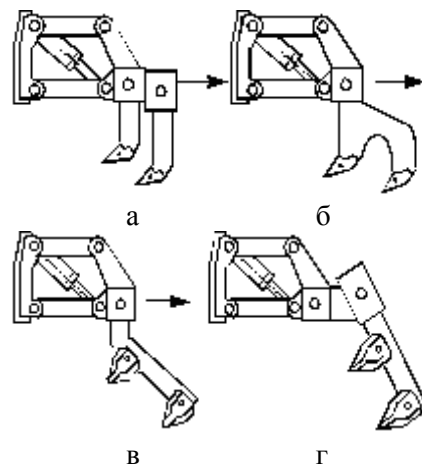


Рис. 8. Виконання робочих органів розпушувачів з розташуванням зубців на різних рівнях : а – у вигляді окремих стійок; б – на загальній стійці; в, г – у вигляді стійки з нахилом робочої частини

З точки зору раціонального технологічного виготовлення обладнання, стійка робочого органа виконується з двох прямих частин – верхньої й нижньої (рис. 8, в), або з однією стійкою, встановленою з нахилом відносно підвіски (рис. 8, г). Це дозволяє раціонально розмістити листовий прокат і розрізати його при виготовленні робочого органу з двома зубцями.

При використанні обладнання з нахилом стійки (рис. 8, г) проводиться заміна робочої балки (місце установки стійки) на подібну з її нахилом, кут якого визначається кутом нахилу стійки робочого органа.

Висновки

Виконання робіт у мерзлих та міцних ґрунтах пов'язане з необхідністю удосконалення розпушувачів, зокрема оснащення їх обладнанням з розташуванням зубців на різних рівнях.

Експериментально визначено раціональні параметри робочих органів розпушувачів із двома зубцями, розташованими на різних рівнях. Зниження опору розпушенню для цього обладнання становить 19–21 %.

Експлуатаційні випробування розпушувачів із двома зубцями у ВАТ «Укрспецекскавція» і «Дніпростроймеханізація» показали переваги обладнання порівняно з розпушувачами традиційного типу: збільшилася на 22–24 % глибина розпушення, на 12–14 % знизилася металоємність і енергоємність процесу розпушення ґрунтів, на 14–16 % збільшилася продуктивність розпушувачів.

Випробування розпушувачів із двома зубцями показали зменшення розмірів елементів розпушеного ґрунту на 60–80 %, що зумовило збільшення продуктивності землерийних машин (екскаваторів, скреперів) на 20–22 %, які працюють у комплексі з розпушувачами.

Література

1. Технологія будівельного виробництва. Книга 1. Загальні відомості про будівництво, роботи підготовчого періоду,

- земляні роботи та ін.: навчальний посібник / О. М. Лівінський, В. С. Дорофєєв, С. А. Ушацький та ін. – К.: УАН, «МП Леся», 2012. – 416 с.
2. Машини для земляних робіт: підручник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
 3. Строительная, дорожная и специальная техника отечественного производства. Краткий справочник / А. А. Глазков, Н. А. Манаков, А. В. Панкратов. – М.: ЗАО «Бизнес-Арсенал», 2000. – 816 с.
 4. Техничко-експлуатаційна характеристика машин фірми «Caterpillar». Справочник. – Іллінойс, США: Caterpillar Inc. – 1999. – 724 с.
 5. Бульдозеры и рыхлители / Б. З. Захарчук, В. Д. Телушкин, Г. А. Шлойдо, А. А. Яркін. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
 6. Растегаев И. К. Машини для вечномерзлых ґрунтов / И. К. Растегаев. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
 7. Кузнецова В. Н. Экспериментальные исследования нагружения зуба рыхлителя при разработке мерзлых ґрунтов / В. Н. Кузнецова, Р. А. Мартюков // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 4. – С. 35–37.
 8. Хмара Л. А. Рыхлитель с последовательным расположением зубьев / Л. А. Хмара, С. В. Шатов // Строительные и дорожные машины. – 1989. – № 2. – С. 11–13.
 9. Хмара Л. А. Эксплуатаційні випробування рыхлителя с рабочим органом ступенчатого типа / Л. А. Хмара, С. В. Шатов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 6. – С. 104–107.

Рецензент: І.Г. Кириченко, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 12 квітня 2016 р.