

УДК 621.87

Експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника при різних швидкостях переміщення базової машини

Леонід Пелевін¹, Євгеній Горбатюк²,
Микола Пристайло³, Богдан Мельниченко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна,

¹pelevin_leonid@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4010-8556>

²gek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

³pristaylo_na@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3151-4680>

⁴0969005258@ukr.net, <https://orcid.org/0000-000-0000-0010>

Received: 01.03.2020; Accepted: 25.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0401>

Анотація. В статті дано опис експериментальної установки для дослідження опорів ґрунту заглибленню зуба розпушника, завдяки якій визначені дотичні та нормальні сили опорів ґрунту. Розглянуто взаємодію міцного ґрунту з робочим органом розпушника, зуб якого за допомогою гідроциліндра примусово заглиблюється в масив, таким чином збільшуючи швидкість самого заглиблення. Проведені експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника в ґрунт з різними швидкостями заглиблення, шляхом виконання серії різів на парафіні при заглибленні робочого органа. За результатами досліджень побудовані порівняльні графіки дотичних та нормальних сил опорів ґрунту наконечнику із різними швидкостями базової машини.

Теоретично та експериментально доведено раціональність використання на розпушнику розробленої конструкції обладнання, що дозволяє збільшувати швидкість заглиблення зуба розпушника.

Для забезпечення більшої величини заглиблення робочого органа запропоновано технічне рішення забезпечення збільшення швидкості пересування тільки робочого органа, незалежно від землерийної машини.

Ключові слова: землерийна машина, розпушувальне обладнання, навіска робочого органа, режим заглиблення, зуб розпушника

ВСТУП

Практика земляних робіт показує, що одним із найбільш ефективних способів розробки міцних (скельних і мерзлих) ґрунтів є пошарове розпушення навісними розпушниками на базі потужних гусеничних ISSN(print)2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 95, 2020, 47-53

тракторів. Цей спосіб вигідно відрізняється від інших високою продуктивністю, низькими енергоємністю і собівартістю розробки ґрунту. Застосування розпушників як машин для підготовчих робіт забезпечує практично цілорічне використання землерийних і землерийно-транспортних машин в будь-яких кліматичних зонах і сприяє збільшенню ефективності будівельних і інших робіт.

МЕТА РОБОТА

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень роботи розпушників в режимі заглиблення робочого органа з різними швидкостями переміщення базової машини для розробки заходів із оптимізації режиму заглиблення.

Порівняння отриманих на стенді сил опорів ґрунту заглибленню зуба розпушника з визначеними (розрахованими) раніше значеннями зазначених опорів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Особливістю роботи розпушників є постійна зміна глибини різання ґрунту. Це обумовлене кількома факторами. По-перше, при гострому стані наконечників зуб розпушника затягується в ґрунтовий масив, при наявності на наконечнику площадки зносу – виштовхується із масиву. Для встановлення необхідної глибини різання необхідно виглиблювати чи заглиб-

лювати зуб. По-друге, при розробці неоднорідного за міцністю ґрунтового масиву чи наявності у ньому твердих включень великих розмірів розпушник може буксувати чи навіть зупинятись. Це призводить до необхідності зменшення глибини різання чи повного виглиблення зуба з наступним його заглибленням. Враховуючи вищевказане доцільним є проведення аналізу даного процесу та розроблення рекомендацій для зменшення зусиль при заглибленні зуба розпушника.

Так, на кафедрі Будівельних машин ім. Ю. О. Ветрова Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) ведуться дослідження процесу заглиблення зуба розпушника в ґрунт [1 – 4]. При зазначених дослідженнях визначені зміни опорів ґрунту в режимі заглиблення зуба розпушника з паралелограмною навіскою [1].

Розрахунки показали, що сили опорів ґрунту при заглибленні зуба підпорядковуються тим же закономірностям як і при сталому різанні ґрунту. Дотичні сили опорів ґрунту із заглибленням зуба збільшуються: передній грані наконечника прискорено, площадці зносу - уповільнено.

Величини дотичної сили опору наконечника перевищують значення максимальної сили тяги розпушника ($T = 257$ кН) після заглиблення зуба на 0,45 м [3]. Таким чином, максимальна глибина різання ґрунту складає 0,45 м, в зв'язку з нехваткою сили тяги для заглиблення зуба розпушника на більшу глибину. При цьому слід зазначити, що сила тяги дозволяє розроблювати ґрунт на більшій глибині. В зв'язку з чим, зменшується максимально можлива продуктивність розпушника, оскільки не використовується повна сила тяги базової машини під час розробки ґрунтів.

Крім того, для визначення впливу швидкості руху розпушника на силові показники процесу заглиблення робочого органу виконано відповідні розрахунки [3, 5], для швидкості переміщення базової машини $V_p = 0,472$ м/с (I передача) і при двічі збільшеній швидкості $V_p = 0,944$ м/с.

Аналіз залежностей дотичних сил опорів ґрунту від швидкості переміщення ба-

зової машини показує, що із збільшенням швидкості переміщення робочого органу в ґрунті забезпечується збільшення величини максимального можливого заглиблення робочого органу. При швидкості заглиблення зуба розпушника в ґрунт $V_p = 0,472$ м/с цей показник приблизно дорівнює 0,45 м, для $V_p = 0,472$ м/с – 0,54 м, що забезпечує більшу продуктивність розпушника.

Враховуючи зазначене, з метою перевірки вищенаведених розрахунків групою авторів на кафедрі будівельних машин проведено експериментальні дослідження для визначення закономірностей зміни опорів в ґрунті при різних швидкостях переміщення робочого органу розпушника на стенді, показаного на Рис. 1.



Рис. 1. Стенд визначення зусиль КНУБА

Fig. 1. KNUBA effort determination stand

Стенд має наступну будову: станина 1, на якій на роликах 2 встановлено рухому раму 3. До неї через тензометричні балочки 4 і 5 закріплено утримувач 6, в якому закріплено різець для дослідження розподілення навантаження на його елементи 7. Рама 3 має механізм підйому - опускання 8 з рукояткою 9 і механізм горизонтального переміщення 10, що складається з передачі гвинт-гайка 11, клинопасової передачі 12 та електродвигуна 13 з пультом керування 14 і кінцевими вимикачами 15, механізм тарування 16 для горизонтальної балочки 5 та механізм тарування 17 для вертикальної балочки 4, контейнер 18 для дослідного матеріалу.

Робочий орган для дослідження розподілення навантаження на його елементи 7 (Рис. 2) складається з рами 19, до якої прикріплено циліндр 1. До штоку циліндра 1 прикріплено зуб 21.

Заглиблення та виглиблення зуба розпушника в ґрунт відбувається за рахунок приводу для лабораторних досліджень (Рис. 3). Зазначений привод складається з циліндра 1, до штоку якого жорстко закріплено ніж 2. Циліндр 1 під'єднано до компресору 3, після якого послідовно з'єднані фільтр 4 з манометром 5, блок підготовки повітря 6, однопозиційний розподільник 7 та трипозиційний розподільник з ручним керуванням 8. Після трипозиційного розподільника з ручним керуванням 8 напірна магістраль розгалужується на два потоки: один потік під'єднано до поршневої порожнини, а інший до штокової порожнини гідроциліндра 1. Переміщення робочого органа 2 під час заглиблення відбувалось в ручному режимі за допомогою рукояті 6 (Рис. 3) або за допомогою електродвигуна (на Рис. 3 не показано).

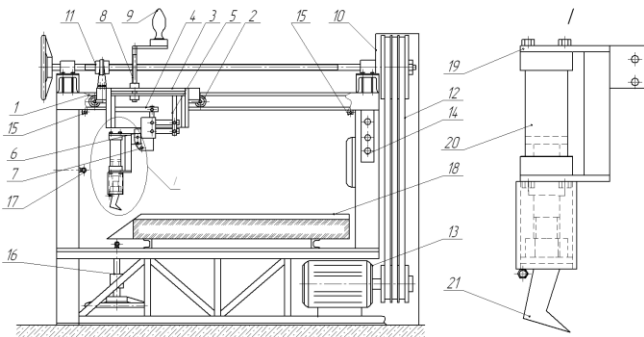


Рис. 2. Схема станда: 1 – станина; 2 – ролики; 3, 19 – рама; 4, 5 – тензOMETричні балочки; 6 – утримувач; 7 – різець; 8 – механізм підйому-опускання; 9 – рукоятка; 10 – механізм горизонтального переміщення; 11, 12 – передачі; 13 – електродвигун; 14 – пульт керування; 15 – вимикач; 16, 17 – механізм тарування; 18 – контейнер; 20 – циліндр; 21 – зуб.

Fig. 2. Scheme of the stand: 1 – bed; 2 – rollers; 3, 19 – frame; 4, 5 – strain gauges; 6 – holder; 7 – cutter; 8 – lifting-lowering mechanism; 9 – handle; 10 – mechanism of horizontal displacement; 11, 12 – transfers; 13 – electric motor; 14 – control panel; 15 – switch; 16, 17 – tare mechanism; 18 – container; 20 – cylinder; 21 – tooth

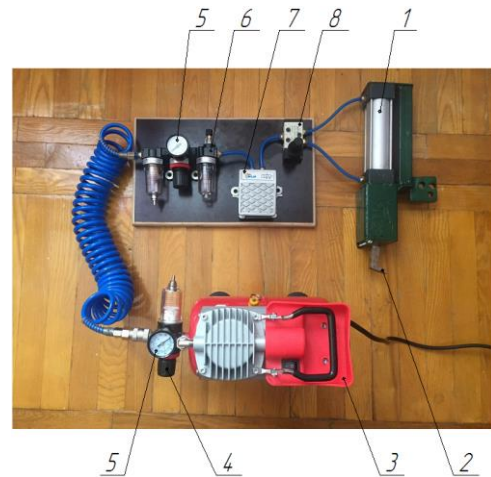


Рис. 3. Привод для лабораторних досліджень: 1 – циліндр; 2 – ніж розпушника; 3 – компресор; 4 – фільтр; 5 – манометр; 6 – блок підготовки повітря; 7 – однопозиційний розподільник; 8 – розподільник з ручним керуванням

Fig. 3. Drive for laboratory research: 1 – the cylinder; 2 – ripper knife; 3 – the compressor; 4 – the filter; 5 – manometer; 6 – air preparation unit; 7 – single-position distributor; 8 – manual distributor

При заглибленні зуба тензобалочки сенда реєструють загальну нормальну та дотичну складові сили різання, що дозволяє отримати розширений спектр навантажень при моделюванні взаємодії ріжучого органа з ґрунтом. Конструктивні параметри сенда дозволяють різати ґрунт на глибину до 0,15 м при довжині різання 0,7 м, кутом різання від 20° до 90° із швидкістю 0,5 м/с, що забезпечується двигуном сенда та зі збільшеною швидкістю, що утворюється ручною подачею робочого органа, завдяки рукояті 6.

В комплект вимірювальної апаратури (рис. 3) входить: блок живлення 1, кабель живлення 2 модуль АЦП (аналогоцифровий перетворювач), штистиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування 3, кабель передачі сигналу (інтерфейс SCI – SerialCommunicationInterface) 4 та персональний комп'ютер 5.

Проводилися серії різів на парафіні при заглибленні робочого органа, при ширині наконечника 0,015 м. Реєструвалися: дотична сила опору ґрунту наконечнику заглибленню та нормальна сила опору ґрунту наконечнику (Рис. 5).

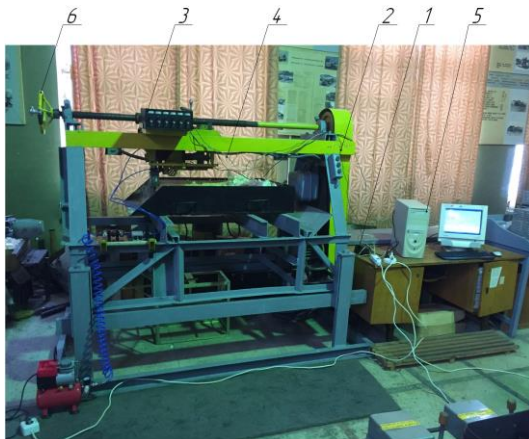


Рис. 4. Фото станда для дослідження процесу заглиблення виглиблення зуба розпушника: 1 – блок живлення; 2 – кабель живлення; 3 – шестиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування; 4 – кабель передачі сигналу; 5 – персональний комп'ютер; 6 – рукоятка

Fig. 3. Photo of the stand for the study of the process of deepening you digging out the ripper's tooth: 1 – power supply unit; 2 – power cable; 3 – shestichannel amplifier and microcontroller control unit, 4 – signal transfer cable, 5 – personal computer; 6 – handle

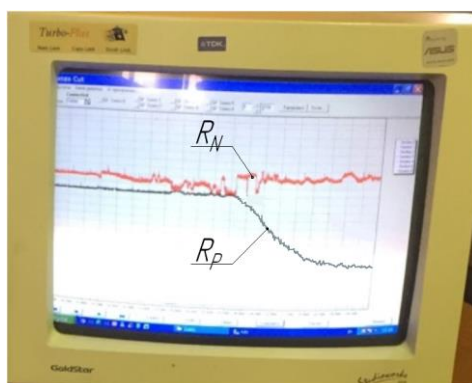


Рис. 5. Осцилограми дослідів

Fig. 5. Oscillograms of experiments

Після отримання осцилограм, останні приведені в координати сили (проведене тарування) та отримані середні значення. Результати дослідів зведені в таблицях 1, 2.

Табл. 1. Значення сил опорів ґрунту при заглибленні зі швидкістю 0,5 м/с

Table. 1. The value of soil resistance forces when deepening at a speed of 0,5 m/s

Глибина різання, мм	R_N , Н	R_P , Н
10	5,5	17,8
20	3,58	22,3
30	-8,21	28,2
35	-13,8	31,9

Табл. 2. Значення сил опорів ґрунту при заглибленні зі швидкістю 0,72 м/с

Table. 2. The value of soil resistance forces when deepening at a speed of 0,72 m/s

Глибина різання, мм	R_N^* , Н	R_P^* , Н
10	5,71	15,99
20	5,2	20,23
30	2,7	25,37
35	-4,07	28,71

Також, за результатами досліджень побудовані порівняльні графіки (Рис. 6) дотичних та нормальних сил опорів ґрунту наконечнику зі швидкістю базової машини 0,5 м/с та 0,72 м/с (на графіку із *).

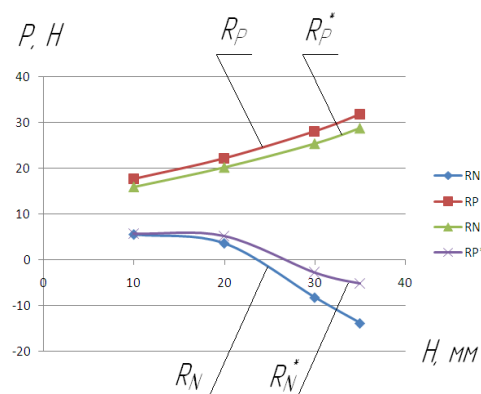


Рис. 6. Залежності нормальних і дотичних сил опорів ґрунту від заглиблення стійки.

Fig. 6. Dependences of the normal and tangential forces of soil resistances from the depression stand

Враховуючи вищевказане, для забезпечення більшої величини заглиблення робочого органу пропонується наступне технічне рішення забезпечення збільшення швидкості пересування тільки робочого органу [4]. Конструктивно це досягається наступним чином (Рис. 7).

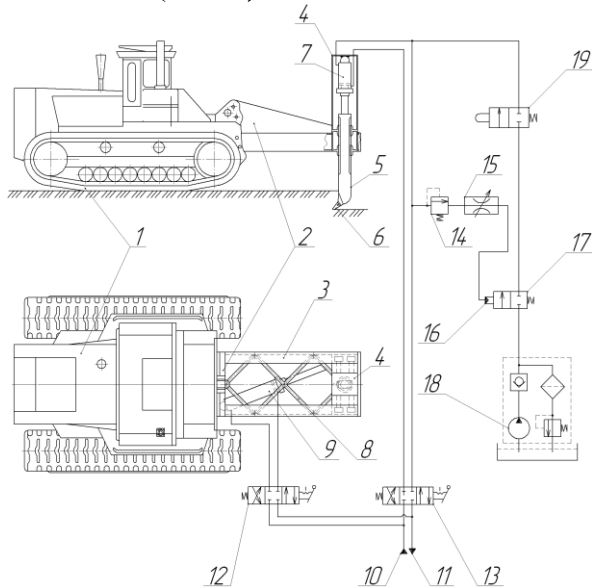


Рис. 7. Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органу: 1 – базова машина; 2 – навіска; 3 – напрямні; 4 – рама; 5 – стійка; 6 – ніж; 7 – гідроциліндр; 8 – шарнірні напрямні; 9 – силовий гідроциліндр; 10 – напірна магістраль; 11 – зливна магістраль; 12, 13 – трипозиційний дволінійний розподільник з ручним керуванням; 14 – перепускний клапан; 15 – регульований дросель; 16 – гідралічна камера керування; 17, 19 – двопозиційний однопровідний розподільник; 18 – допоміжний гідронасос

Fig. 7. Bulkhead with increased speed of movement of the working body: 1 – base machine; 2 – Pencil; 3 – guides; 4 – frame; 5 – stand; 6 – knife; 7 – hydraulic cylinder; 8 – hinged guides; 9 – power hydraulic cylinder; 10 – pressure line; 11 – drainage line; 12, 13 – three-position two-line distributor with manual control; 14 – bypass valve; 15 – adjustable throttle; 16 – hydraulic control camera; 17, 19 – two-position single-conductor distributor; 18 – auxiliary hydraulic pump

Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органу при заглибленні є базовою машиною 1 з розпушувальним обладнанням, що складається з навіски 2, до напрямних 3 якої з можливістю горизонтального переміщення, приєднано раму 4 робочого органу розпушника у вигляді перевернутого стакана. В середині

рами 4 робочого органу з можливістю вертикального переміщення розміщено стійку 5 розпушника. На нижній частині стійки 5 встановлено наконечник 6, а до верхньої її частини жорстко прикріплено шток гідроциліндра 7, корпус якого своїм днищем жорстко приєднано до внутрішньої частини дна стакана рами 3 робочого органу.

Рама 4 робочого органу приєднується до базової машини 1 за допомогою шарнірних напрямних 8, з можливістю пересування вздовж напрямних 3. Між напрямними 3, паралельно шарнірним напрямним 8 встановлено силовий гідроциліндр 9, корпус якого шарнірно кріпиться до базової машини 1, а його шток жорстко приєднується до крайньої шарнірної напрямної 8.

Гідроциліндр 7 та силовий гідроциліндр 9 підключені до гідравлічної системи базової машини 1, від якої підведена напірна магістраль 10 та зливна магістраль 11. Напірна магістраль 10 розгалужується на два напірні потоки: лівий напірний потік під'єднано до трипозиційний двопровідний розподільник 12 з ручним керуванням силового гідроциліндра 9, а правий потік під'єднаний до трипозиційний двопровідний розподільник 13 з ручним керуванням гідроциліндра 7. Лівий вихідний патрубок розподільника 12 під'єднано до поршневої порожнини силового гідроциліндра 9, а правий вихідний патрубок розподільника під'єднано до штокової порожнини силового гідроциліндра 9. А лівий вихідний патрубок розподільника 13 під'єднано до штокової порожнини гідроциліндра 7, а правий вихідний патрубок розподільника під'єднано до штокової порожнини силового гідроциліндра 9, причому поршнева порожнина гідроциліндра 7 паралельно під'єднана до перепускного клапана 14, вихідний патрубок якого через регульований дросель 15 під'єднано до гідравлічної камери 16 керування двопозиційним однопровідним розподільником 17, до якого на вхід під'єднано напірний трубопровід від допоміжного гідронасоса 18, а вихід з двопозиційного однопровідного розподільника 17 з'єднано з двопозиційним однолінійним розподільником 19 з механічним керуван-

ням, що також з'єднаний з поршневою порожниною гідроциліндра 7.

Таким чином, дана конструкція дає можливість додатково збільшити швидкість переміщення робочого органа розпушника під час заглиблення, завдяки чому зменшуються опори ґрунту руйнування, що в свою чергу призводить до підвищення продуктивності роботи розпушника.

ВИСНОВКИ

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів дослідження доводить адекватність отриманих залежностей змін опорів ґрунту в режимі заглиблення отриманих при розрахунку.

Також, експериментальні дослідження показали, що в режимі заглиблення при збільшеній швидкості переміщення базової машини опори руйнування ґрунту зменшуються і, як наслідок, підвищується максимально можлива глибина заглиблення зуба розпушника.

Таким чином, для зменшення опорів заглибленню та збільшення продуктивності роботи розпушників запропоновано наступне:

- використання конструкції навіски розпушника яка забезпечує додаткове збільшення швидкості пересування робочого органа незалежно від швидкості пересування машини і вертикальне заглиблення робочого органа, що забезпечує величину максимально можливого заглиблення зуба;

- заглиблення робочого органа починати на найбільшій передачі, де швидкість найбільша, та поступово переходити до першої передачі.

Запропонована конструкція розпушника дає можливість збільшити швидкість переміщення робочого органа розпушника незалежно від швидкості руху базової машини, що дає можливість максимально заглибити зуб розпушника, завдяки чому збільшується продуктивність роботи розпушника.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко**

Б. М. Стабілізація режиму заглиблення робочого органа розпушника. Вестник харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2012 р. - № 57. – С. 174-179.

2. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Зменшення опорів ґрунту зубу розпушника в режимі заглиблення робочого органа. Вестник харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2014 р. - № 65-66. – С. 256-263.
3. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Анализ процесса заглупления зуба рыхлителя в грунт. Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. - Тюмень – 2014 р. - № 65-66. – С. 247-253.
4. **Пелевін Л.** Методика вибору основних параметрів системи керування розпушувального агрегату / Л. Пелевін, Є. Горбатюк, О. Терентьев, В. Волянчук, Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.91. Київ: КНУБА, липень-грудень 2018. С. 66–72. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0402>
5. **Pelevin L.** Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines / L. Pelevin, A. Fomin, Ie. Gorbatyuk, G. Machishin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – vol. 3, no. 7 (93): Applied mechanics. – pp. 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
6. **Фомін А. В., Пелевін Л. Є., Мельниченко Б. М.** Патент на корисну модель «Розпушник із збільшеною швидкістю переміщення робочого органа при заглибленні», 2018.
7. **Захарчук Б. З., Телушкин В. А., Шлойдо Г. А., Яркін А. А.** Бульдозеры и рыхлители. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
8. **Пристаїло Ю. П., Фомин А. В., Пелевин Л. Е.** Устройство для снижения усилия заглупления зуба рыхлителя – Горн., строит., дор. и меліорат. машины: Респ. межвед. научн. - техн. Сб., 1987. – 40 – с. 3-6
9. **Ветров Ю. О., Власов В. В.** Машини для земляних робіт. Приклади розрахунку: Навч. посібник – К: ІСДО, 1995. – 304с.
10. **Фомин А. В.** Повышение эффективности гусеничных рыхлителей путём ограничения износа наконечников: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1986. – 22с.
11. **Баладинский В. Л., Смирнов В. Н., Фомин А. В.** Теория разрушения рабочих

сред: Учебное пособие для специалистов и студентов.– Киев: КГТУСиА 1999. – 230с.

12. Пелевін Л. С., Рашківський В. П., Мельниченко Б. М. Аналіз сил, що діють на навіску розпушника. ГБДММ № 78 – Київ, 2011 – 75-79 с

REFERENCES

1. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2012) Stabilization mode recess the ripper working body. Journal of Kharkiv National Automobile-road university, Nr. 57, 174-179.
2. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2014). Reducing soil resistance the ripper tooth mode recess working body. Journal of Kharkiv National Automobile-road university, Nr. 65-66, 256-263.
3. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2014). Analysis of the process of deepening the ripper tooth into the ground. Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen. Nr. 65-66, 247-253.
4. Pelevin L., Gorbatyuk Ie., Terentyev O., Voliyanuk V., Mischuk D. (2018). Methodology of choice of basic parameters of control system of soil-ripping aggregate. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashyny, Nr. 91, 66–72. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0402>
5. Pelevin L., Fomin A., Gorbatyuk Ie., Machishin G. (2018). Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, Nr. 7 (93), 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
6. Fomin A. V., Pelevin L. E., Melnichenko B. M. (2018). Patent for a utility model "Pulled with an increased speed of movement of a working body at deepening".
7. Zakharchuk B. Z., Telushkin V. A., Shloydo G. A., Yarkin A. A. (1987). Bulldozers and rippers. Mechanical Engineering, 240.
8. Pristailo Yu. P., Fomin A. V., Pelevin L. E. (1987). Device for reducing the effort of burrowing the ripper tooth. Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 40. 3-6.
9. Vetrov Yu. O., Vlasov V. V. (1995). Machines for earthworks. Examples for calculation, manual ISDO, 304.
10. Fomin A. V. (1986). Improving the efficiency of tracked rippers by limiting tip wear: Author. dis. cand. tech. sciences, Kyiv, 22.
11. Baladinsky V. L., Smirnov V. N., Fomin A. V. (1999). The theory of destruction of working environments. A textbook for specialists and students. – Kiev: KGTUSiA – 230 P.
12. Pelevin L. Y., Rashkivskij V. P., Melnichenko B. M. (2011). Analysis of forces acting on the attachment of the loosener. Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 78, 75-79.

Experimental dosage of the loosening of the tooth of the rocket when changing the base of machine

Leonid Pelevin¹, Ievgenii Gorbatyuk²,
Mykola Prystajlo³, Bogdan Melnichenko⁴

Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. The aim is to carry out experimental studies of deepening the ripper's tooth in an array with different rates of deepening. Improving the process of the ripper by increasing the efficiency of deepening and deepening of the tooth from the array, which in turn will have a positive effect on the effectiveness of preparatory work. **Methodology/approach.** Experimental studies carried out the deepening of the ripper's tooth into the ground with different rates of deepening. **Findings.** Theoretically and experimentally proved rationality of using on the ripper of the developed design equipment, allowing to increase the speed of deepening of the ripper tooth. **Research limitations/implication.** An experimental bench was developed to determine the regularities of soil resistance in the deepening mode. The dependences of the resistance of the deepening of the ripper tooth depending on the depth of penetration are established. **Originality/value.** Analysis of the obtained dependences allows us to conclude that as the rate of deepening of the ripper tooth deepens into the ground, the resistance of the mail decreases, which in turn allows to achieve the greatest possible deepening.

Keywords: digging machine, ripping equipment, the hinge of the working body, the mode of penetration, the ripper tooth.