

МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 631.311;631.432;631.434 <https://doi.org/10.31713/vt1202112>

Лук'янчук О. П., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.p.lukyanchuk@nuwm.edu.ua)

АНАЛІЗ ТЯГОВОГО ОПОРУ БАГАТОЯРУСНОГО ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ПРИ РІЗНІЙ КОМПОНОВЦІ

При виконанні глибокого розпушення важливим є питання щодо вибору типу розпушувача і тягача до нього. За рахунок того, що конструкція багатоярусного обладнання є модульною, визначивши тяговий опір одного такого модуля, можна оцінити опір робочого обладнання в цілому. Одними з основних параметрів, від яких залежать тяговий опір та показники розпушення ґрунту, є глибина обробки та кінцевий радіус кривизни поверхні робочих органів. У результаті досліджень встановлено, що тягове зусилля залежить у більшій мірі від глибини розробки ґрунту ніж від кінцевого поперечного радіусу поверхні. Згідно приведених даних найкращим, з точки зору питомих витрат на структурне вологоакумулююче розпушення ґрунту, буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в ярусі незалежно від форми утворених профілів розпушеного ґрунту. Тяговий опір лежить в досить широких межах 11...50 кН. Для агрегування підходять тракторні тягачі з тяговою потужністю від 70 до 300 кВт. В усіх випадках найбільш вигідним за питомими показниками буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в плані кожного ярусу. Його ефективність відносно інших варіантів за тягою складе 12...17% вирашу.

Ключові слова: ґрунт; розпушення; сила опору; тягова потужність.

Постановка проблеми. У змінних кліматичних умовах глибоке розпушення може бути найбільш ефективним альтернативним заходом дорогій реконструкції існуючих меліоративних систем і одночасно ефективним адаптивним засобом для акумуляції вільної ґрунтової вологи [1].

З метою усунення недоліків традиційних засобів глибокого розпушення та врахування необхідних технологічних змін було розроблено та запропоновано, нові за принципом дії, багаторярусні робочі органи (рис. 1) [2; 3].

Робоче обладнання таких глибокорозпушувачів складається з рами з похилими несучими стояками, на яких з випередженням верхніх перед нижніми поярусно закріплені ґрунторозробні робочі органи у вигляді увігнутих симетричних стріловидних радіальних півповерхонь рівнозмінної кривизни з найменшим радіусом кривизни на виході з них, величина якого пропорційна розміру поперечника планового структурного елемента розпушеного ґрунту окремого ярусу.

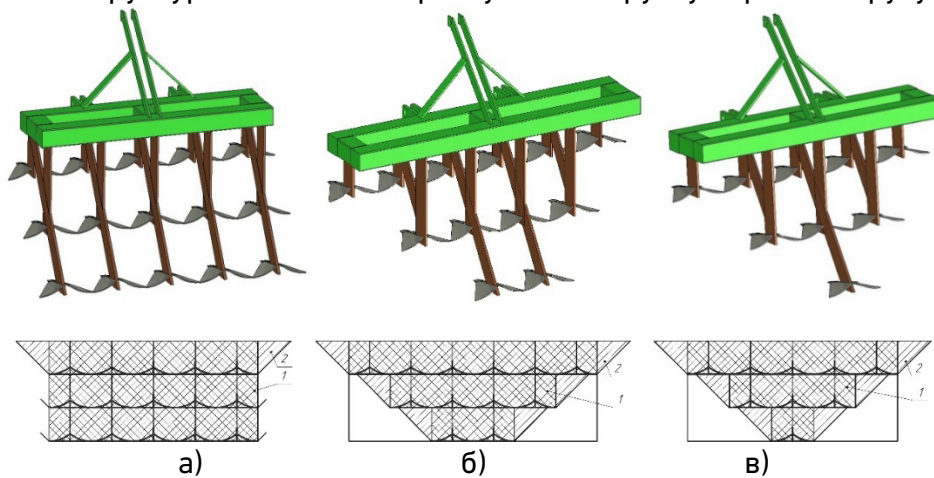


Рис. 1. Глибокорозпушувачі для ґрунтів різного типу (варіант конструкції і повнота розпушення поперечного профілю): а) – для легких ґрунтів (супіски і легкі суглинки); б) – для середніх ґрунтів (середні суглинки); в) – для важких ґрунтів (важкі суглинки, глини): 1 – повне структурне розпушення; 2 – часткове розпушення сколом

Процес розпушення ґрунту супроводжується формуванням елементної скиби, яка рухаючись вздовж поверхонь робочих органів розкришується на ґрунтові агрегати. Останні, після сходження з поверхонь робочих органів, обвалюються у звільнений ними простір. При цьому спостерігається додаткове руйнування утворених ґрунтових агрегатів без перемішування верхніх ярусів з нижніми.

Фактично структура робочого обладнання є модульною і залежно від ґрунтових і технологічних умов, змінюючи просторове розміщення робочих органів, можна формувати різний профіль розпу-

шеної смуги ґрунту. Від прямокутного до трапецієвидного і навіть трикутного.

Просторове розташування робочих органів та форму поперечного профілю розпушеного ґрунту слід враховувати при вирішенні задачі вологоакумулюючого розпушення з концентрацією надлишкової вологи в підорному масиві ґрунту під час великих посушливих періодів внаслідок змін клімату та зміни режиму опадів.

Аналіз попередніх досліджень

При виконанні глибокого розпушення важливим є питання щодо вибору типу розпушувача і тягача до нього. Вибір типу розпушувача залежить головним чином від особливостей об'єкта: типу ґрунту, типу та інтенсивності водного живлення, рельєфу, ступеня кислотності ґрунтів та кількості кам'яних включень [4; 5].

Тяговий опір робочого обладнання багатоярусного глибокорозпушувача складається з опорів переміщення робочих органів, розробки та транспортування ґрунту вздовж поверхонь робочих органів та стояків. За рахунок того, що конструкція багатоярусного обладнання є модульною, визначивши тяговий опір одного такого модуля, можна оцінити опір робочого обладнання в цілому. При цьому необхідно врахувати умови роботи робочих органів. Залежно від їх розміщення в плані кожного ярусу вони можуть виконувати блоковану, напівблоковану або вільну розробку ґрунту. Співвідношення по силовим затратам між ними приймаються як $1 \times 0,75 \times 0,5$ [6].

Одними з основних параметрів, від яких залежать тяговий опір та показники розпушення ґрунту, є глибина обробки та кінцевий радіус кривизни поверхні робочих органів. Для вивчення їх дії було проведено двофакторний експеримент для окремого розпушувального робочого органа.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження планувалися і проводилися на основі методів повного факторного експерименту, теорії ймовірності та математичної статистики. Дослідження проводилися на ґрунтовому каналі. Ґрунтовий канал представляє собою бетоновану місткість прямокутного перерізу з розмірами $9,2 \times 1,8 \times 1,5$ м, заповнену попередньо розпушеним і ущільненим суглинним ґрунтом. Верхньою площиною вертикальних бетонних стінок каналу прокладені рейки, якими рухається динамометричний візок з дослідним робочим обладнанням. На рамі візка встановлено стояки з ґрунторозпушувальними робочими органами (рис. 2).

Для дослідження впливу було виготовлено декілька дослідних зразків ґрунторозпушувальних робочих органів. Конструкція дослідного обладнання дозволяла змінювати глибину розпушення h та кінцевий радіус поперечного перерізу поверхні ґрунторозпушувальних робочих органів R . Висота ярусу змінювалась за рахунок довжини стояка робочого органа, а радіус – встановленням змінних ґрунторозпушувальних робочих органів (рис. 3). Зміна глибини розробки здійснювалась шляхом утворення ступінчатого рельєфу ґрунтового каналу. Довжина однієї сходини становила не менше 2 м.

Тягове зусилля вимірювалось електронним динамометром, який знаходився в системі поліспасти візка. Після проходження візка, на кожній ділянці бралися проби ґрунту для визначення його вологості, оцінювалась структура розпушеного ґрунту. Після отримання експериментальних даних було здійснено перевірку відтворюваності результатів за критерієм Кохрена та адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера.

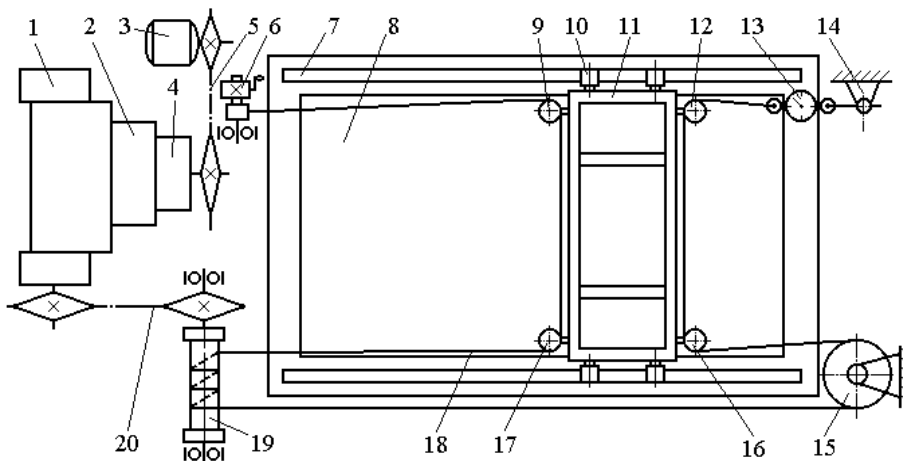


Рис. 2. Схема ґрунтового каналу з динамометричним візком:

- 1 – редуктор; 2 – коробка зміни передач; 3 – електродвигун;
- 4 – ходозменшувач; 5, 20 – ланцюгові передачі; 6 – лебідка попереднього натягування троса; 7 – рейкова колія; 8 – ґрунтовий канал; 9, 12, 15, 16, 17 – направляючі блоки; 10 – ходові котки; 11 – візок; 13 – електронний динамометр; 14 – опора; 18 – тяговий трос; 19 – барабан

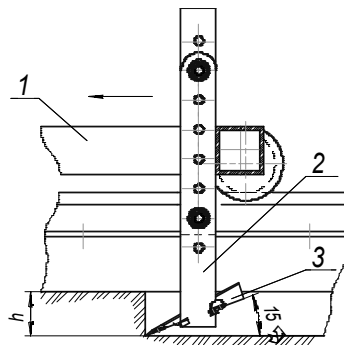
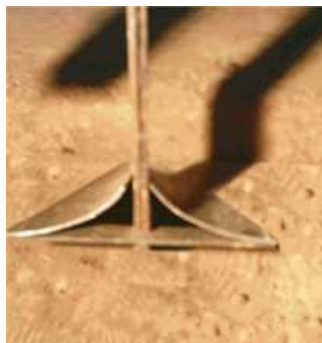


Рис. 3. Навіска дослідного обладнання:

1 – динамометричний візок; 2 – стояк; 3 – ґрунторозпушувальна поверхня

Результати досліджень. З метою встановлення значимості впливу глибини розпушення та кінцевого радіуса поперечного перерізу, проведено регресійний аналіз даних експериментальних досліджень за тяговим зусиллям. Рівняння регресії представлені у вигляді двофакторної моделі. Реалізація програми і результати експериментів, згідно матриці планування ПФЕ типу 2^2 наведено в табл. 1.

Здійснивши перехід від кодових величин до натуральних, отримали наступну регресійну модель:

$$P_T \text{ (кН)} = 0,218 + 12,167 \cdot h \text{ (м)} - 2,433 \cdot R_k \text{ (м)}.$$

Таблиця 1

Результати дослідів за тяговим зусиллям

№	Фактори		Тягове зусилля, кН				Відносна похибка, ε, %
	h, м	R _k , м	Повторюваність			Середнє	
			1-а	2-а	3-я		
1	0,05	0,15	0,35	0,40	0,43	0,39	7,34
2	0,05	0,25	0,25	0,31	0,30	0,29	8,53
3	0,15	0,15	1,65	1,73	1,86	1,75	4,33
4	0,15	0,25	1,30	1,35	1,45	1,37	4,07
Середнє значення:							6,07

Провівши перевірку значущості коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Ст'юдента, встановили, що всі коефіцієнти є значущими.

У результаті досліджень встановлено, що тягове зусилля залежить у більшій мірі від глибини розробки ґрунту ніж від кінцевого

поперечного радіусу поверхні робочого органа. Наведені дані експериментальних досліджень підтверджують теоретичні дослідження.

Використаємо отриману регресійну залежність для вибору тягача. Порівняльна характеристика триярусних робочих органів глибокорозпушувачів з умовною шириною захвату на 6 ґрунторозпушувальних елементів однакового розміру представлена в табл. 2.

Коефіцієнт повноти розпушення (загального та структурного) – відношенням площі розпушеного ґрунту у фронтальній площині до площі умовного прямокутника розпушення у фронтальній площині (визначається загальною шириною та глибиною розпушення робочого органа). Коефіцієнт загального розпушення характеризує збільшення об'єму розпушеного ґрунту відносно початкового об'єму, а структурного – об'єм утворення необхідних структурних агрегатів в розпушеному об'ємі ґрунту відносно початкового об'єму.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика глибокорозпушувачів з різними профілями розпушення

№ з/п	Тип та схема профілю	Розміщення робочих елементів в ярусі	Відносне зусилля розробки ґрунту, у.о.*	Повнота розпушення повного профілю		Питоме відносне зусилля повноти розпушення, у.о.*	
				загальна	структурна	Загальне	структурне
1	прямокутний, рис. 1, а	рядне	18	1,04	1,00	17,3	18,0
2		шахове	15			14,4	15,0
3		клинове	15			14,4	15,0
4	трапецієвидний, рис. 1, б	рядне	12	0,8	0,67	15,0	17,9
5		клинове	10,5			13,1	15,7
6	трикутний, рис. 1, в	рядне	9	0,63	0,50	14,3	18,0
7		клинове	7,5			11,9	15,0

Примітка: *у.о. – зусилля розробки ґрунту одним ґрунторозпушувальним елементом, 1 – структурне розпушення, 2 – часткове розпушення сколом.

Згідно приведених даних найкращим з точки зору питомих витрат на структурне вологоакумулююче розпушення ґрунту буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в ярусі незалежно від форми утворених профілів розпушеного ґрунту. Якщо брати загальне розпушення ґрунту, то найкращим варіантом буде утворення трикутного профілю. Це можна використати при розпушенні важких суглинистих ґрунтів.

Залежно від форм профілю розпушення графічні залежності тягового опору від глибини розпушення для триярусного варіанту матимуть наступний вигляд (рис. 4).

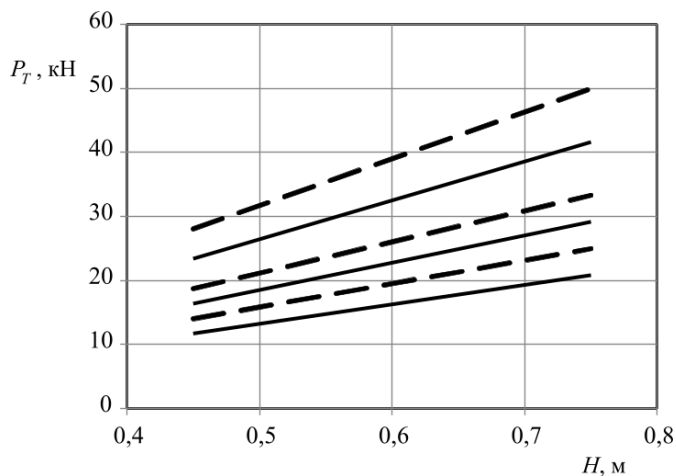


Рис. 4. Тяговий опір розробки ґрунту триярусним глибокорозпушувачем з шириною захвату 2 м: 1 – прямокутний профіль; 2 – трапецієвидний профіль; 3 – трикутний профіль; штрихова лінія – рядне розміщення робочих елементів в ярусі; суцільна лінія – клинове розміщення робочих елементів в ярусі

Загалом для робочого обладнання багоярусного глибокорозпушувача коефіцієнт загальної повноти розпушення поперечного профілю лежить в межах 0,63...1,04, а коефіцієнт повноти структурного вологоакумулюючого розпушення лежить в межах 0,5...1,0. Значення коефіцієнтів зменшуються при зміні прямокутного профілю розпушення і наближенні його до трикутного.

Висновки. Дослідженнями визначено, що тяговий опір лежить в досить широких межах 11...50 кН. Для агрегування підходять тракторні тягачі з тяговою потужністю від 70 до 300 кВт. В усіх випадках найбільш вигідним за питомими показниками буде варіант з

клиновим розміщенням робочих елементів в плані кожного ярусу. Його ефективність відносно інших варіантів за тягою складе 12...17% виграшу.

1. Iglesias A., Garrote L., Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 155. Pp. 113–124. **2.** Mikchail Laziuta, Bajan Kabulova, Chalit Gasanov. Research of soil tillage by advanced design slit ripper. *Agricultural Engineering : research papers. Policy*. 2016. Vol. 59. Pp. 152–164. **3.** Mazhayskiy Y., Rokochynskiy A., Lukianchuk O., Volk P., Chernikova O. Deep loosening as effective adaptive agromeliorative practice on drained mineral soil of european polesie in variable climatic conditions. *Engineering for Rural Development*. 2020. 19, Pp. 28–35. **4.** Odey S. O. and S. I. Manuwa. Design steps of narrow tillage tools for draught reduction and increased soil disruption – a review. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2016. 18(1). 91–102. **5.** Ogbeche O. S., Idowu M. S., and Theophilus E. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal*. 2018. 20(3). 85–96. **6.** Гаффаров Х. Р. От чего зависят качественные и энергетические показатели работы машин и орудий для глубокой обработки почвы? *Молодой ученый. Технические науки*. Март 2016. № 5 (109). С. 31–32. ISSN 2072-0297.

REFERENCES:

1. Iglesias A., Garrote L., Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 155. Pp. 113–124. **2.** Mikchail Laziuta, Bajan Kabulova, Chalit Gasanov. Research of soil tillage by advanced design slit ripper. *Agricultural Engineering : research papers. Policy*. 2016. Vol. 59. Pp. 152–164. **3.** Mazhayskiy Y., Rokochynskiy A., Lukianchuk O., Volk P., Chernikova O. Deep loosening as effective adaptive agromeliorative practice on drained mineral soil of european polesie in variable climatic conditions. *Engineering for Rural Development*. 2020. 19, Pp. 28–35. **4.** Odey S. O. and S. I. Manuwa. Design steps of narrow tillage tools for draught reduction and increased soil disruption – a review. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2016. 18(1). 91–102. **5.** Ogbeche O. S., Idowu M. S., and Theophilus E. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal*. 2018. 20(3). 85–96. **6.** Gaffarov H. R. От чего зависят качественные и энергетические показатели работы машин и орудий для глубокой обработки почвы? *Молодой ученый. Технические науки*. Март 2016. № 5 (109). С. 31–32. ISSN 2072-0297.

Lukianchuk O. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ANALYSIS OF THE TRACTION RESISTANCE OF A MULTI-TIER RIPPER WITH VARIOUS CONFIGURATIONS

Climate changes that exist today require urgent actions to adapt to them, including industrial agricultural production. When performing deep loosening, it is important to choose the type of ripper and a tractor for it according to the required tractive effort. Due to the fact that the design of the multi-tiered equipment is modular, having determined the traction resistance of one such module, it is possible to estimate the resistance of the working equipment as a whole and, accordingly, the required effort of the tractor. One of the main parameters on which the traction resistance and soil loosening parameters depend are the processing depth and the final radius of curvature of the surface of the working bodies. As a result of the research, it was found that the tractive effort depends to a greater extent on the depth of excavation than on the final transverse radius of the surface. According to the data obtained, the best result, from the point of view of unit costs for the structural moisture-accumulating loosening of the soil, is provided by the option with the wedge-shaped arrangement of the working elements in the tier. Moreover, this result does not depend on the shape of the formed profiles of the loosened soil. In the general case, the most advantageous in terms of specific indicators will be the option with wedge placement of working elements in the plan of each tier. For aggregation, traditional tractor tractors with a traction power of 70 to 300 kW, which are available in most agricultural enterprises and are widely used in agricultural production, are suitable. The established traction resistance varies within a fairly wide range – 11–50 kN. Its efficiency in relation to other possible options for traction will be 12–17% gain in the required tractive effort.

Keywords: soil; loosening; cutting resistance; traction power.

Лукьянчук А. П., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

АНАЛИЗ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОЯРУСНОГО ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОМПОНОВКЕ

В результате исследований установлено, что наилучший результат, с точки зрения удельных затрат на структурное влагоаккумулирующее разрыхление почвогрунта, обеспечивает вариант с клиновым размещением рабочих элементов в ярусе. Его эффективность в отношении других возможных вариантов по тяге составит 12...17% выигрыша в необходимом тяговом усилии. Установленное тяговое сопротивление изменяется в достаточно широких пределах – 11...50 кн. Для агрегатирования подходят традиционные тракторные тягачи с тяговой мощностью от 70 до 300 кВт, которые имеются в наличии в большинстве агропредприятий и имеют широкое применение.

Ключевые слова: почва; разрыхление; сила сопротивления; тяговая мощность.
