



УДК [631.312.021:634]

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-22

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПУШУВАЧА ПЛУГА ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

Матковський О. І., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4188-6277

Саньков С. М., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4404-2213

Кольцов М. П., к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0002-4177-6134

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного**e-mail: oleksandr.matkovskiy@tsatu.edu.ua*

Постановка проблеми. Викопування і вибирання саджанців плодкових культур належить до енергоємних і трудомістких процесів. Викопувальні плуги дозволяють механізувати операцію викопування, розпушення ґрунтової скиби з саджанцями, а подальше вибирання саджанців виконується вручну, при цьому не забезпечуються умови праці робітників за показниками важкості трудового процесу. Це потребує визначення параметрів робочих органів викопувального плуга, які впливають на розпушення скиби ґрунту з садженцем і величину зусилля на витягування їх робітниками після підкопування, що забезпечують якість отриманої продукції і зменшують затрати енергії на процес викопування посадкового матеріалу [1-6].

Аналіз остаточних досліджень. Удосконалення засобів механізації для викопування саджанців плодкових культур [7] потребує адаптованих технічних засобів до інноваційних ресурсощадних технологій вирощування саджанців плодкових культур [8-11].

Для застосування способу відновлення насаджень великомірними саджанцями пропонується машина для викопування таких саджанців з комом ґрунту [12-14]. Робочим органом машини є гідрофікована викопувальна скоба. Плануванням багатофакторного експерименту встановлено збільшення тиску робочої рідини при підвищенні твердості і вологості ґрунту. В роботі [15] наведено результати визначення виду і параметрів напрямної поверхні розпушувача викопувального плуга саджанців плодкових культур за якими встановлено, що найменше значення роботи рухомої сили на переміщення ґрунтової скиби по розпушувачу досягається на лінійчатій поверхні, яка має напрямну у вигляді плоскої опуклої кривої.

В розглянутих дослідженнях залишається не вирішеним забезпечення нормативних умов праці робітників за показниками важкості трудового процесу на вибірки підкопаних саджанців та якості посадкового матеріалу.



Формулювання цілей статті. Забезпечення умов праці робітників за показниками важкості трудового процесу на вибірки саджанців та показників якості саджанців завдяки визначення оптимальних параметрів розпушувача робочого органу викопувального плуга для достатнього руйнування зв'язків ґрунту з кореннями саджанців.

Основна частина. Для вибору факторів оптимізації розглянемо склад керованих факторів, серед яких: технологічні, конструктивні і кінематичні. Вони впливають на умови праці робітників при вибиранні саджанців та забезпечують їх якість. До технологічних факторів відносимо: глибину викопування саджанців, ширину захвату робочого органу, технологічну швидкість агрегату. Конструктивні фактори такі: довжина розпушувача, довжина важеля, відстань між розпушниками, величина ексцентриситету, кут нахилу розпушників до горизонту. Не керовані фактори такі як тип ґрунту, його фізичні (об'ємна маса ґрунту, вологість) та технологічні властивості (твердість, кут зовнішнього тертя), враховано при визначенні умов проведення експерименту. В якості критерію оптимізації параметрів розпушувача прийнято зусилля на витягування саджанців робітниками з розпушеного ґрунту під час вибірки з одночасним забезпеченням якості саджанців за показниками технічних вимог.

Для проведення досліджень з визначення конструктивних параметрів розпушувача виготовлено робочий орган, який був встановлений на раму плуга ВПН - 2 (рис. 1).

На раму 12 викопувального плуга ВПН - 2 встановлена стійка 2 з башмаком 4, на якій закріплена викопувальна скоба 3. З башмаком шарнірно зв'язана траверса 5, на якій встановлені розпушники 6 з можливістю переміщуватися в горизонтальній площині. До траверси нерухомо приєднано важіль 7, який шарнірно з'єднано з регулювальною тягою 8.

Регулювальна тяга приєднана до ексцентрикового механізму 10, який встановлено на приводний вал 11. Приводний вал за допомогою ланцюгової муфти приєднано до редуктора, який передає крутний момент від ВВП трактора. Викопувальний плуг працює у такий спосіб. Під час руху викопувального агрегату скоба відділяє ґрунтову скибу з саджанцями від ґрунтового масиву поля та подає її на розпушувач. При переміщенні ґрунтової скиби до денної поверхні поля відбувається відділення ґрунту, який проходить в щілини між прутковими розпушниками. Далі розпушений ґрунт з саджанцями сходять з розпушувача і потрапляють на поверхню борозни утвореної після викопування.

3 з 12

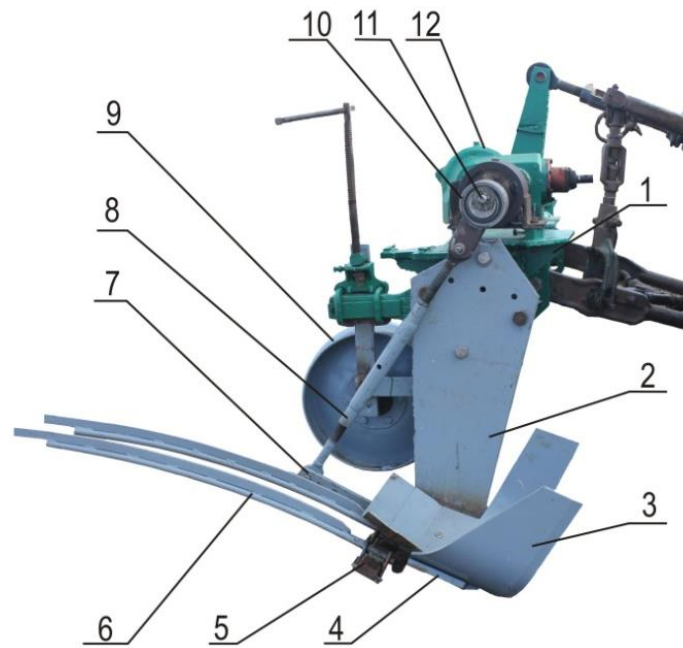


Рис. 1. Експериментальний зразок робочого органу на рамі плуга ВПН–2:

- 1 – рама; 2 – стояк; 3 – викопувальна скоба; 4 – башмак;
5 – траверса; 6 – розпушувач; 7 – важіль; 8 – регулювальна тяга;
9 – опорне колесо; 10 – ексцентриковий механізм;
11 – приводний вал 12 – редуктор.

Робочий орган має такі регулювання: зміну кута встановлення поверхні розпушувача до горизонту в залежності від глибини підкопування; зміну відстані між розпушниками; зміну величини амплітуди коливань розпушувача в залежності в довжини важеля.

Дослідження проведено в розсаднику ТОВ «Блексі фрукт компанії» Мелітопольського району Запорізької області з використанням методу математичного планування експерименту при викопуванні саджанців яблуні сорту Ред Чиф і Бребурн в умовах чорнозему південного суглинкового, вологість якого дорівнювала 19,6 %, твердість – 1,5 МПа, щільність – 1,2 г / см³.

Для визначення зусилля (y) на витягування саджанців з ґрунту передбачено варіювання трьома факторами на верхньому (+) і нижньому (–) рівнях та визначення математичної моделі першого і другого порядків. В експерименті варіюванню підлягали такі фактори:

- кут нахилу розпушувача до горизонту (фактор X_1);
- довжина важеля (фактор X_2);
- відстань між розпушниками (фактор X_3).

Значення рівнів та інтервалів варіювання факторів наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівні варіювання	Найменування факторів		
	кут нахилу розпушувача (X ₁) α _p , град	довжина важеля (X ₂) l, м	відстань між розпушниками (X ₃) b ₁ , м
Нульовий	30	0,375	0,11
Нижній	25	0,3	0,08
Верхній	35	0,45	0,14
Інтервал варіювання	5	0,075	0,03

На першій стадії планування експерименту було отримано модель, яка має вигляд

$$y = 72,83 - 0,1x_1 + 64,44x_2 - 416,67x_3 + 1,33x_1x_2 + 444,44x_2x_3 \quad (1)$$

Описати область оптимуму лінійними рівняннями регресії (1) не можливо з причини значущості ефектів взаємодії факторів і ефектів. Тому визначення точок оптимуму будемо шукати за допомогою поліному другого порядку наступного виду

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Для знаходження коефіцієнтів рівняння (1) потрібні плани, в яких кожен фактор приймає би три різних значення. Але повний факторний експеримент типу 3ⁿ містить надлишкове число спроб у порівнянні з кількістю шуканих коефіцієнтів рівняння регресії.

Скоротити число дослідів можливо за допомогою центрального композиційного плану, який складається з трьох блоків: точки повного факторного експерименту типу 2ⁿ; «зіркові» точки (плану типу «хреста») 2n; нульові (центральні) точки m₀. Загальна кількість спроб в матриці композиційного плану для n факторів складе

$$N = 2^n + 2n + m_0. \quad (2)$$

На підставі проведених досліджень отримано рівняння регресії для визначення зусилля на витягування саджанців з ґрунту, яке має вигляд

$$y = 284,51 - 9,73x_1 + 430,47x_2 - 87,07x_3 + 388,89x_2x_3 + 0,15x_1^2 + 619,56x_2^2 - 1396,67x_3^2. \quad (3)$$

Таким чином, згідно проведеного експерименту, для прогнозу зусилля на витягування саджанців з ґрунту можливе використання отриманої моделі.

Для визначення точок оптимуму, отримане рівняння (3) диференціюємо по кожному фактору та прирівнюємо до нуля для рішення системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,3x_1 - 9,73 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1239,12x_2 + 388,89x_3 - 430,47 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 388,89x_2 - 2793,34x_3 - 87,07 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

За рішенням системи рівнянь (4) оптимальним значенням зусилля на витягування саджанців з ґрунту є $y = 49$ Н при значеннях факторів: $X_1 = 32^\circ$, $X_2 = 0,42$ м, $X_3 = 0,1$ м.

Для графічного представлення функції відгуку зафіксовано значення по кожному фактору на нульовому рівні і представлено на рис. 2 - 4.

При кодовому позначені $z_1 = 0$ рівняння моделі має вигляд

$$y_1 = 126,7 - 430,47x_2 - 87,07x_3 + 388,89x_2x_3 - 58,489x_2^2 - 1396,67x_3^2 \quad (5)$$

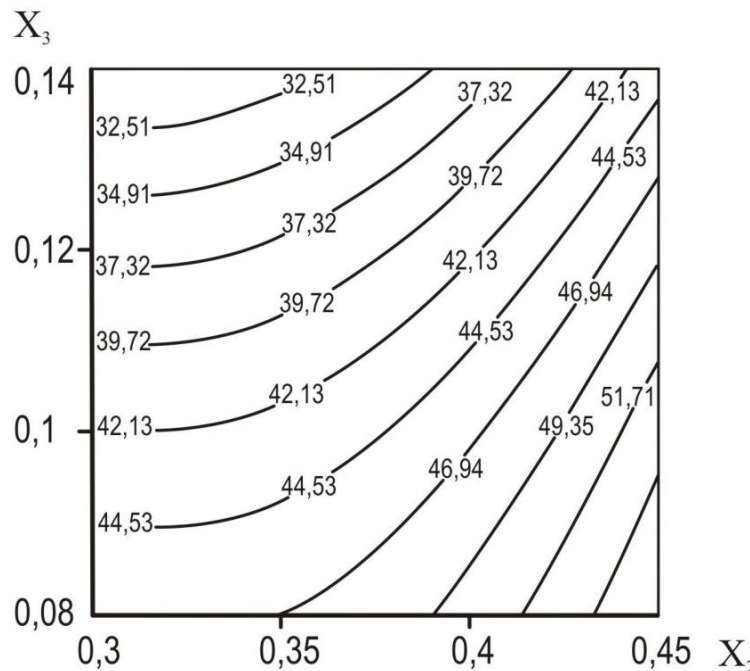


Рис. 2. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при фіксованому $X_1 = 30^\circ$.

При кодовому позначені $z_2 = 0$ рівняння моделі має вигляд

$$y_2 = 210,4 - 9,73x_1 + 60,71x_3 + 0,15x_1^2 - 1396,67x_3^2 \quad (6)$$

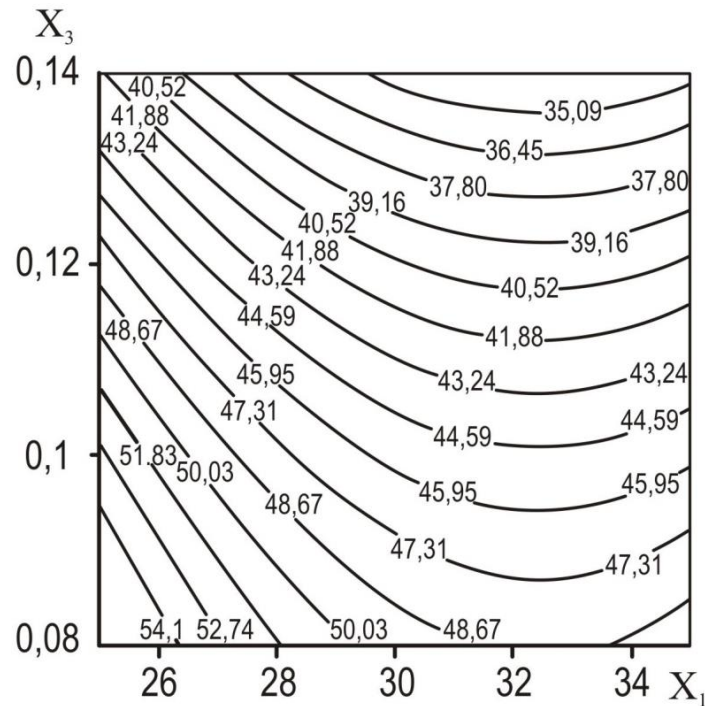


Рис. 3. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при $X_2 = 0,375$ м.

При кодовому позначені $z_3 = 0$ рівняння моделі має вигляд

$$y_3 = 268,6 - 9,73x_1 - 399,36x_2 - 1,11x_1x_2 + 619,56x_2^2 + 0,15x_1^2. \quad (7)$$

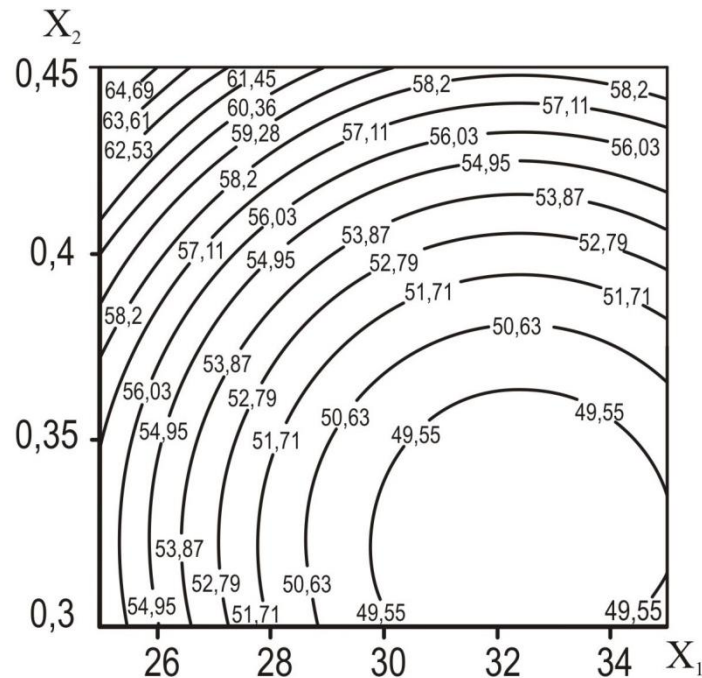


Рис. 4. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при фіксованому $X_3=0,11$ м.

Залежність зусилля на витягування саджанців у від розглянутих факторів представлена на рис. 5 - 7.

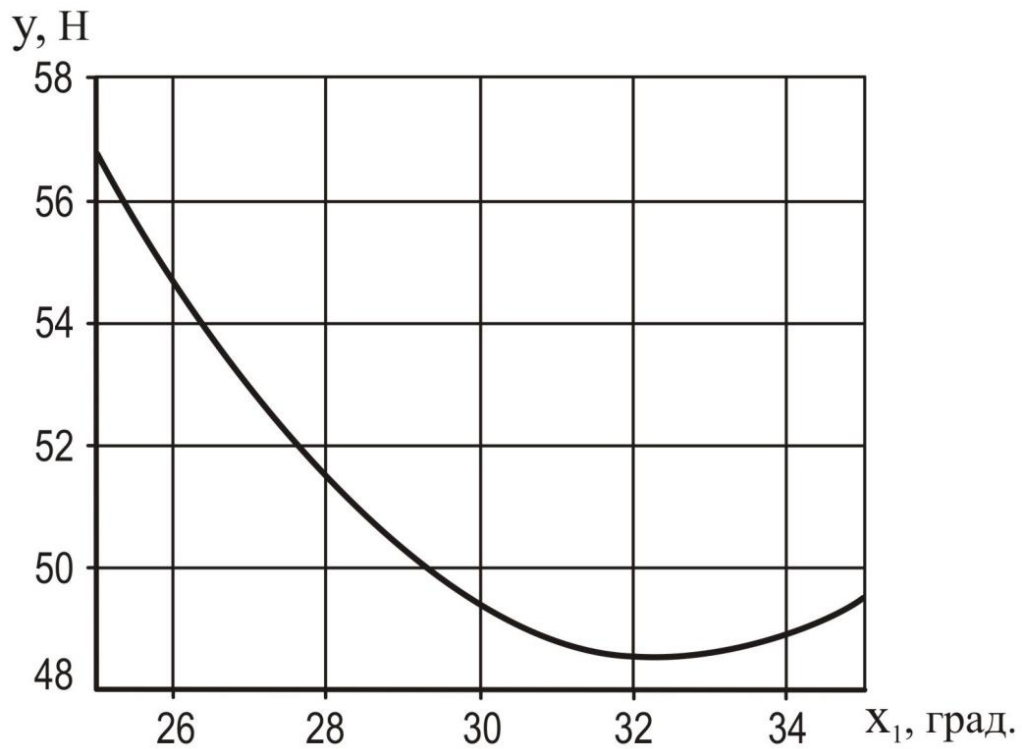


Рис. 5. Залежність зусилля на витягування саджанців від куту нахилу розпушувача (фактор X_1).

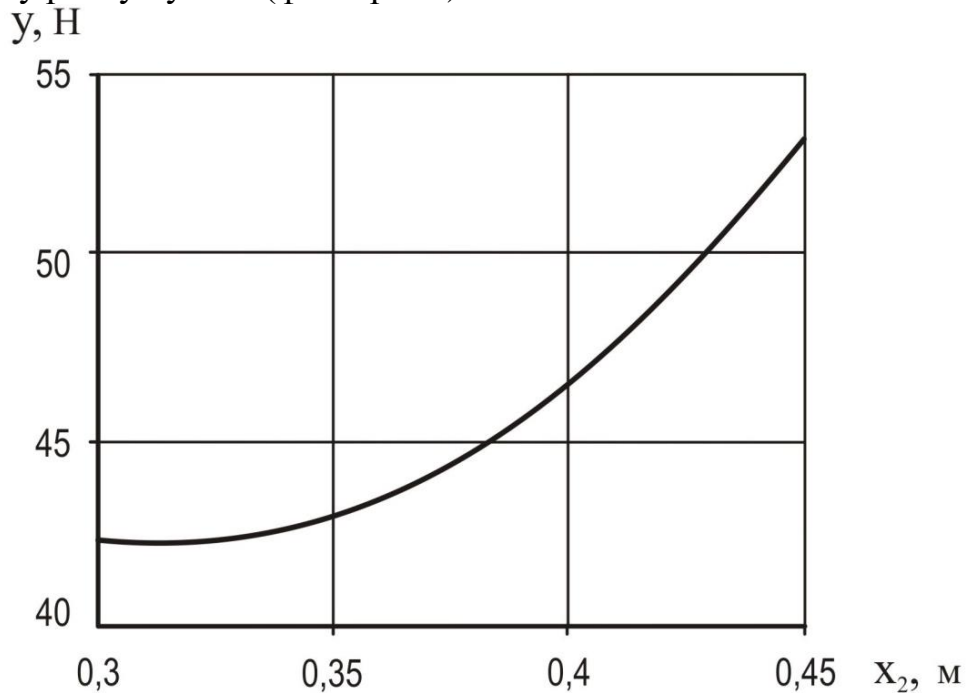


Рис. 6. Залежність зусилля на витягування саджанців від довжини важеля розпушувача (фактор X_2).

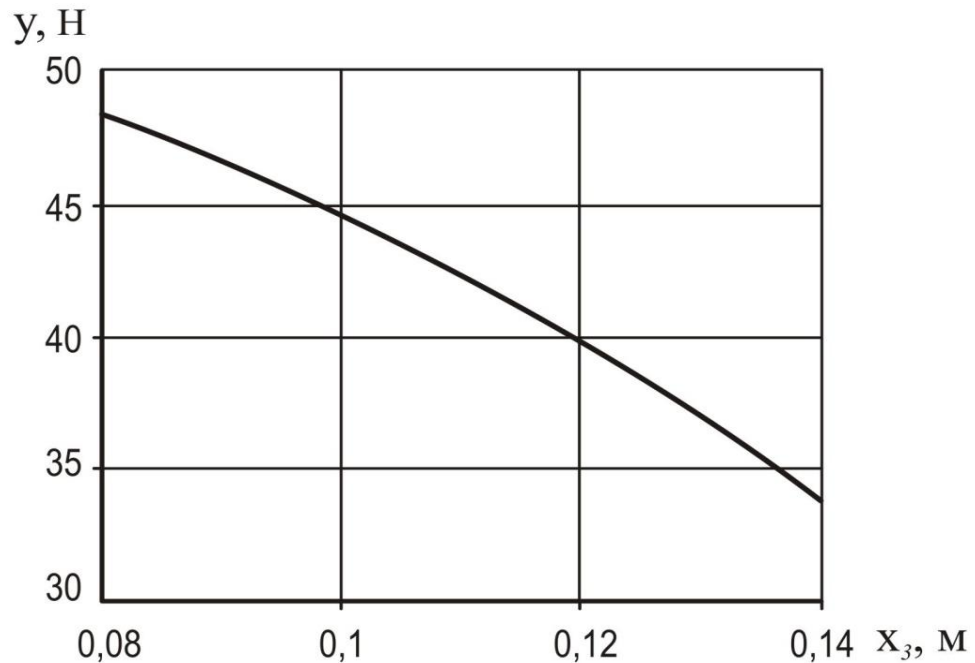


Рис. 7. Залежність зусилля на витягування саджанців від відстані між розпушниками (фактор X_3).

За результатами проведених експериментальних досліджень було встановлено, що при зусиллі 49 Н на витягування саджанців з ґрунту робітниками досягалося збереження кореневої системи саджанців, а саме довжина коренів перевищувало нормативне значення в середньому на 8,2 см (рис. 8).

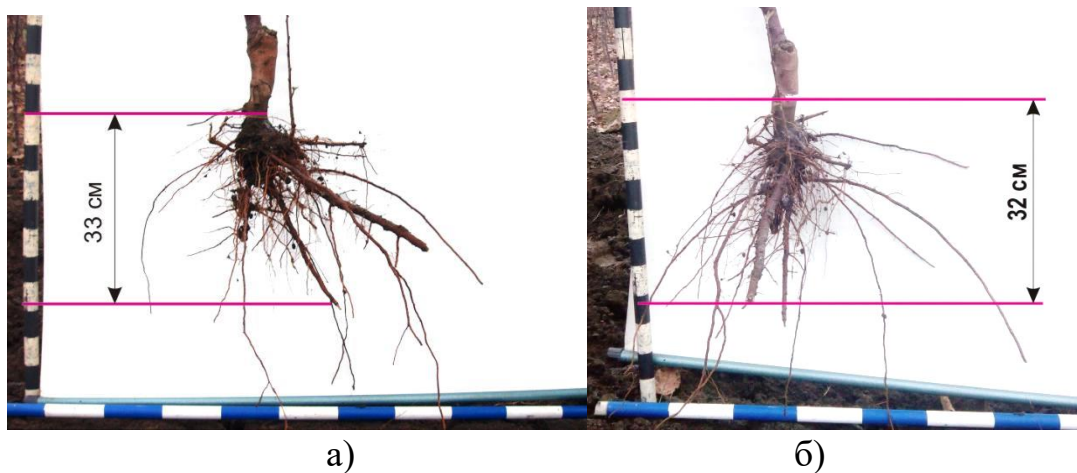


Рис. 8. Параметр оцінювання якості кореневої системи довжина кореневої системи саджанців яблуні сортів: а) Бребурн; б) Ред Чиф.

Висновки. На підставі сукупності розглянутих факторів впливу на зусилля витягування саджанців з підкопаного ґрунту встановлено, що



найбільш значущими факторами є кут нахилу до горизонту поверхні розпушувача, довжина важеля та відстань між розпушниками в горизонтальній площині.

Встановлено залежності впливу обраних факторів на зусилля витягування саджанців з ґрунту. Визначено, що:

- при куті нахилу поверхні розпушувача до горизонту 32° зусилля досягає найменшого значення, а потім зростає;
- при збільшенні довжини важеля зусилля зростає;
- при збільшенні відстані між розпушниками розпушувача зусилля зменшується.

Встановлено, що зусилля на витягування саджанців робітниками з ґрунту досягає 49 Н при таких параметрах розпушувача:

- кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту $\alpha_p = 32^\circ$;
- довжина важеля $l = 0,42$ м;
- відстань між розпушниками в горизонтальній площині $b_1 = 0,1$ м.

За результатами вимірювань і обчислення середнього значення отримана довжина кореневої системи саджанця, яка більша на 8,2 см порівняно до технічних вимог на саджанці.

Список використаних джерел

1. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Kramar Readings : Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference*. 2017. P. 155-158.
2. Boltyanska N. Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18. No 2. P. 23-29.
3. Kalinichenko D., Rogovskii I. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2017. Vol.17(3). P. 103–114.
4. Boltyansky B., Boltyansky O., Boltyanska N. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.16, No.2. P. 49-54.
5. Skliar O., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Vol. 16, No 2. P. 183-188.
6. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: Наказ Міністерства охорони



здоров'я України від 27.12.01 № 528. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення: 23.04.2020).

7. Самусь В. А., Соболев А. В. Система сельскохозяйственных машин и орудий для механизации работ в плодоводстве республики Беларусь. *Вестник Мичуринского ГАУ*. 2012. №3. С. 174-177.

8. Машины для механизации работ в садоводстве: каталог техники / В. В. Бычков и др.; под общ. ред. И.М. Куликова. Москва, 2005. 82 с.

9. Бычков В. В., Кадыкало Г. И, Успенский И. А. Ресурсосберегающие технологии и технические средства для механизации садоводства. *Садоводство и виноградарство*. 2009. № 6. С. 38–42.

10. Завражнов А., Ланцев В., Егоров Д. Ресурсосберегающие машинные технологии для интенсивного садоводства. *Инновационные технологии производства, хранения и переработки плодов и ягод: материалы науч.-практ. конф.*, (г. Мичуринск, 6 сент. 2009 г.) Мичуринск, 2009. С. 155–160.

11. Караев А., Матковский А. Моделирование перемещения почвенного пласта с саженцем по активному рабочему органу выкопочногo плуга. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Мелітополь. 2015. Вип. 3. С. 201–210.

12. Дручинин Д., Дорняк О. Р., Драпалюк М. В. Математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопочной машины с почвой и корнями растений. *Электронный журнал КубГАУ*. 2011. № 68(04). URL : <http://ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/13.pdf> (дата звернення 25.04.20).

13. Дручинин Д. Механизация перспективного способа выкопки крупномерных саженцев с комом почвы. *Вестник Красноярского ГАУ*. Красноярск, 2011. С. 132–135.

14. Дручинин Д. Оптимизация процесса выкопки саженцев с комом почвы выкопочной машиной на основе многофакторного эксперимента. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. №1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5511> (дата звернення: 24.04.2020).

15. Караев А., Матковский, А., Кольцов, Н., Рубцов, Н. (2020). Моделирование формы поверхности рыхлителя выкопочногo плуга саженцев плодовых культур. *Современные проблемы моделирования*, (16), 128-139. URL: <https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/16/128/139> (дата звернення 14.04.2020).



ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ПЛУГА ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР Матковський О.І., Саньков С.М., Кольцов М.П.

Анотація

Наведено результати визначення оптимальних параметрів розпушувача робочого органу викопувального плуга. Робочий орган викопувального плуга складається з таких конструктивних елементів: стояку, викопувальної скоби, розпушувача з розпушниками.

З розгляду попередніх досліджень потребують вирішення забезпечення умов праці робітників за показниками важкості трудового процесу на вибірці саджанців та підвищення якості посадкового матеріалу.

Отримано рівняння регресії для визначення впливу кута нахилу розпушувача до горизонту, довжини важеля, відстані між розпушниками на зусилля витягування робітниками саджанців.

Встановлено, що на зусилля витягування саджанців робітниками з ґрунту досягає 49 Н при таких параметрах розпушувача: кута нахилу поверхні розпушувача до горизонту $\alpha_p = 32^\circ$; довжини важеля $l = 0,42$ м; відстані між розпушниками в горизонтальній площині $b_1 = 0,1$ м. За обчисленням середнього значення отримана довжина кореневої системи саджанців перевищувала нормативні технічні вимоги (25 см) на 8,2 см.

Ключові слова: плодовий саджанець, викопувальний плуг, розпушувач, рівняння регресії, зусилля витягування саджанців, параметр, якість саджанців.

ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПЛУГА ДЛЯ ВЫКАПЫВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР Матковский О.И., Саньков С.М., Кольцов М.П.

Аннотация

Приведены результаты определения оптимальных параметров разрыхлителя рабочего органа викопувальных плуга. Рабочий орган викопувальных плуга состоит из следующих конструктивных элементов: стойки, викопочной скобы, разрыхлителя с прутками.

Из анализа предыдущих исследований требуют решения обеспечения условий труда рабочих по показателям тяжести трудового процесса на выборки саженцев и повышения качества посадочного материала.

Получены уравнение регрессии для определения влияния угла наклона разрыхлителя к горизонту, длины рычага, расстояния между разпушниками на усилия вытягивания рабочими саженцев.

Установлено, что усилия на вытягивания саженцев рабочими из почвы достигает 49 Н при таких параметрах разрыхлителя: угол наклона поверхности разрыхлителя к горизонту $\alpha_p = 32^\circ$; длина рычага $l = 0,42$ м; расстояние между разпушниками в горизонтальной плоскости $b_1 = 0,1$ м. Среднее значения длины корневой системы саженца превышала норму технических требований (25 см) на 8,2 см.

Ключевые слова: плодовый сажанець, викопочный плуг, рыхлитель, уравнение регрессии, усилия вытягивания, параметр, качество саженцев.



OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE WORKING BODY OF THE PLOW FOR DIGGING SEEDLINGS OF FRUIT CROPS

Matkovsky O.I., Sankov S.M., Koltsov M.P.

Summary

The results of determining the optimal parameters of the working body of a digging plow are presented. The working body of the digging plow consists of the following structural elements: riser, digging staples, baking powder from ripper. The composition of the elements of the actuators that provide the workflow includes: lever, shoe, traverse, control rod, eccentric mechanism.

Previous studies examined the improvement of mechanization tools for digging seedlings of fruit crops by creating resource-saving technologies for growing seedlings

The influence on the efforts of pulling seedlings from the soil of such parameters of the baking powder: the angle of inclination of the baking powder to the horizon, the length of the lever, the distance between ripper.

As a criterion for optimizing the parameters of the baking powder, efforts were made to draw seedlings by workers from the loosened soil during their sampling while ensuring the quality of the seedlings according to technical requirements. Mathematical planning of a full factorial experiment was carried out to determine the influence of the tilting angle of the baking powder to the horizon, the length of the lever, the distance between the ripper on the pulling efforts of the seedlings by workers. The regression equations are obtained to determine the effort for the workers to pull out seedlings from the loosened soil.

It is established that the most significant factors are the angle of inclination to the horizon of the surface of the baking powder, the length of the lever and the distance between ripper in the horizontal plane. efforts to pull seedlings by workers from the soil reaches 49 N with the following baking powder parameters: the angle of inclination of the baking powder surface to the horizon $\alpha_p = 32^0$; lever length $l = 0,42$ m; the distance between ripper in the horizontal plane is $b_1 = 0.1$ m. According to the calculation of the average value, the obtained length of the root system of the seedling exceeded the norm of technical requirements (25 sm) by 8,2 sm.

Key words: seedlings, digging plow, ripper, regression equation, pulling force parameters, quality seedlings.