

**Цуркан О. В.**

к. т. н., доцент

Горбатюк Р. М.

викладач

Присяжнюк Д. В.

к. т. н., викладач

*Ладижинський коледж
Вінницького
національного аграрного
університету*

Tsurkan O.**Horbatiuk R.****Prysiashniuk D.**

*Ladyzhyn College of
Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 519.242.7**DOI: 10.37128/2306-8744-2020-2-1**

ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ

Підходи та методи підвищення якості та ефективності ремонту сільськогосподарської техніки на сьогоднішній день мають в Україні пріоритетні значення. Жорстке конкурентне середовище на міждержавному та внутрішньому ринку технічних послуг диктують свої умови. Один з перспективних методів досліджень є планування експерименту при оптимізації багатофакторних процесів, якими є віброзміцнювальна обробка деталей сільськогосподарської техніки.

Об'єктом дослідження в даній статті був технологічний процес оздоблювально-зачисної та зміцнювальної обробки деталей ґрунтообробних агрегатів при їх поверхневому пластичному вібраційному деформуванні.

Мета роботи полягала у плануванні багатофакторного експерименту для теоретичного визначення компромісних параметрів роботи вібраційної машини з активатором руху робочого середовища для зміцнювальної обробки робочих органів ґрунтообробних агрегатів.

Завданням роботи передбачалось: здійснити аналіз досліджень і публікацій щодо основ теорії ймовірності, математичної статистики, основ кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізу, планування оптимального експерименту; отримати коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та побудувати залежності споживаних енерговитрат розробленою установкою від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала робочої камери, кутової швидкості приводного валу активатора, часу обробки; висоти мікронерівностей від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала робочої камери, кутової швидкості приводного валу активатора, часу обробки; твердості поверхні від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала робочої камери, кутової швидкості приводного валу активатора, часу обробки; за результатами проведених досліджень та випробувань розробленої установки на основі побудованих поверхонь відгаду досліджуваних процесів визначити раціональні технологічні параметри її роботи, компромісне значення яких отримати методом Крамера в математичному середовищі «Mathcad 15».



Методика дослідження ґрунтувалася на основі математичної статистики, кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізу, планування оптимального експерименту.

У науковій роботі за результатами багатофакторного експерименту одержано математичну модель у вигляді множинної регресії другого порядку, яка адекватно описує досліджуваний технологічний процес. Було отримано компромісні технологічні параметри досліджуваного процесу, які становлять: амплітуда коливань робочої камери – 2-4 мм; амплітуда коливань активатора – 1,5-2,5 мм; кутова швидкість приводного вала робочої камери – 115-120 рад/с; кутова швидкість приводного вала активатора 130-145 рад/с; час обробки – 80 хв.

Ключові слова: *вібраційна машина, планування, багатофакторний експеримент, зміцнювальна обробка, ґрунтообробні агрегати, компромісні параметри.*

Вступ. Методи вібраційної обробки при відновленні зношених поверхонь деталей сільськогосподарських агрегатів забезпечують більш високі ступінь зміцнення і рівень залишкових напружень стиску, що сприяє підвищенню втомної міцності деталей, особливо працюючих в абразивному середовищі. Метод поверхневого пластичного деформування із застосуванням механічних коливань обробного інструменту дозволяє значно підвищити довговічність дисків, лап та зубів ґрунтообробних агрегатів за рахунок зміни фізико-механічного стану і властивостей оброблюваної поверхні, що забезпечує підвищення їх ресурсу.

Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних агрегатів поверхневим вібродеформуванням забезпечується за рахунок структурних змін і появи в оброблюваному матеріалі стискаючих залишкових напружень, які сприяють покращенню його механічних характеристик.

Постановка проблеми. Ґрунтовним дослідженням з покращення техніко-експлуатаційних показників сільськогосподарської техніки присвячені праці вчених, які зробили значний внесок у розвиток теорії і практики землеробської механіки, вібраційних машин та технологій, зокрема: Василенка П.М., Адамчука В.В., Булгакова В.М., Калетніка Г.М., Ковбаси В.П., Блехмана І.І., Берника П.С., Заїки П.М., Тіщенко Л.М., Артоболевського І.І., Бабічева А.П., Блехмана І.І., Денісова П.Д., Дуднікова А.А., Заїки П.М., Ісковича-Лотоцького Р.Д., Копилова Ю.Р., Михайлова М.В., Надутого В.П., Повідайло В.А., Потураєва В.М., Сердюка Л.І., Сіліна Р.І., Серги Г.В., Франчука В.П., Членова А.А. та інших науковців.

До прогресивних, але недостатньо вивчених методів відновлення деталей відносяться методи вібраційної оздоблювально-

зміцнювальної обробки поверхонь робочих органів ґрунтообробних агрегатів.

Тому, проведення досліджень по розробці і впровадженню технологій та обладнання для вібраційного зміцнення поверхонь робочих органів ґрунтообробних агрегатів набувають особливої актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] висвітлені необхідні розділи основ теорії ймовірності, математичної статистики, основ кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізів, планування оптимального експерименту.

Відомі підходи і методи, що визначають найважливіші фактори досліджуваного процесу, фундаментальні питання визначення поверхонь відгуку, визначення матриць планування експерименту, визначення умов ортогональності, рототабельності, приведені результати досліджень по отриманню рівнянь регресії, визначені ефекти взаємодії різних факторів розкриті у [2].

У [3] викладені елементи теорії багатофакторного експерименту. На прикладах дослідження конкретних електронних та електромагнітних пристроїв, а також системи масового обслуговування, розглянуті основні етапи організації метрологічного забезпечення, планування та обробки результатів оптимального експерименту. Продемонстровані результати використання емпіричних математичних моделей по визначенню впливу різних факторів на вихідні параметри для розрахунку допусків, точності, параметричної надійності пристроїв та систем автоматики.

У [4] представлений метод, що недостатньо повно розроблений у вітчизняних дослідженнях – це використання регресійного аналізу у різного роду електромеханічних системах. Нагадаємо, що регресійний аналіз ми використовуємо для побудови моделі, яка найкраще відповідає набору наших



експериментальних даних. Так звана «найкраща відповідність» не означає, що модель повинна обов'язково в точності співпадати з наявною вибіркою даних, тобто похибка різниці між моделлю та довільною експериментальною точкою не обов'язково повинна дорівнювати нулю. Найкраща відповідність буде мати мінімальну функцію похибки між показниками моделі та реальними даними експерименту. Показником такої функції є сума квадратів похибок моделі та експериментальних даних.

Мета досліджень. Полягає у розробці теоретичного базису для проведення оптимального експерименту досліджуваної установки для обробки деталей ґрунтообробних агрегатів. Теоретичний базис повинен зв'язати в єдине ціле використані матеріали дисперсійного та регресійного аналізів, планування експерименту.

Викладення основного матеріалу. Серед основних критеріїв оцінювання процесу було обрано енерговитрати N , кВт·год; висоту мікронерівності R , мкм; твердість поверхні T , HRC, які характеризуються впливом п'яти найбільш вагомих факторів, що визначають якісно-енергетичні показники даної обробки: амплітуду коливань робочої камери a_k , мм; амплітуду коливань активатора a_a , мм; кутову швидкість приводного вала робочої камери $\omega_{нк}$, рад/с; кутову швидкість приводного вала активатора $\omega_{на}$, рад/с; час обробки T_o , хв.:

$$N = f(a_k, a_a, \omega_{нк}, \omega_{на}, T_o), \quad (1)$$

$$R = f(a_k, a_a, \omega_{нк}, \omega_{на}, T_o), \quad (2)$$

$$T = f(a_k, a_a, \omega_{нк}, \omega_{на}, T_o), \quad (3)$$

де a_k – амплітуда коливань робочої камери, мм;

a_a – амплітуда коливань активатора, мм;

$\omega_{нк}$ – кутова швидкість приводного вала робочої камери, рад/с;

$\omega_{на}$ – кутова швидкість приводного вала активатора, хв.;

T_o – час обробки, хв.

Визначення впливу перерахованих вище факторів на параметри досліджуваного процесу під час здійснення однофакторних експериментів пов'язане зі значними труднощами та об'ємами робіт. Тому, доцільніше виконати статистичний аналіз для одержання функціональної залежності у вигляді

множинної регресії другого порядку за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатофакторного експерименту [1-3].

Метод РЦКП дає змогу більш точно отримати математичний опис розподілу даних за рахунок збільшення кількості експериментів у центральних точках матриці плану і спеціального вибору величини «зіркового значення» α .

Кількість факторів (РЦКП) становить:

$$k = k_y + 2n + k_0, \quad (4)$$

де k_y – кількість факторів у ядрі плану;

n – кількість факторів;

$2n$ – кількість досліджень у зіркових точках;

k_0 – кількість факторів у центрі плану з координатами (0,0-0).

Рототабельність композиційного плану відбувається за умови, що зіркове значення α

вибирається з інтервала $\alpha^{\frac{n}{4}}$ при $n \leq 5$, тобто для трифакторного експерименту $\alpha = 1,682$, для чотири – $\alpha = 4$.

Аналіз статистичних характеристик одержаних результатів показав, що коефіцієнти їх асиметрії прямують до нуля, тобто розподіл експериментальних даних є симетричним та апроксимується за нормальним законом.

За негативного значення асиметрії несиметричність вибірки за зміщенням центру розподіляється праворуч, у протилежному випадку – навпаки. Негативний коефіцієнт ексцесу свідчить про закругленість піка досліджуваного розподілу, додатний – про загостреність вершин [3].

Також було отримано гістограму розподілу отриманих даних якісних параметрів досліджуваного процесу (рис. 1).

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (1), (2), (3) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність, передбачена планом експерименту, могла бути реалізована в даних інтервалах і не призводила до протиріч. Для цього було здійснено пошукові експерименти для визначення областей, у яких необхідні сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Усі фактори, які входять у функції (1), (2), (3), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому, для отримання поверхні відгуку цих функцій було здійснено



операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [3].

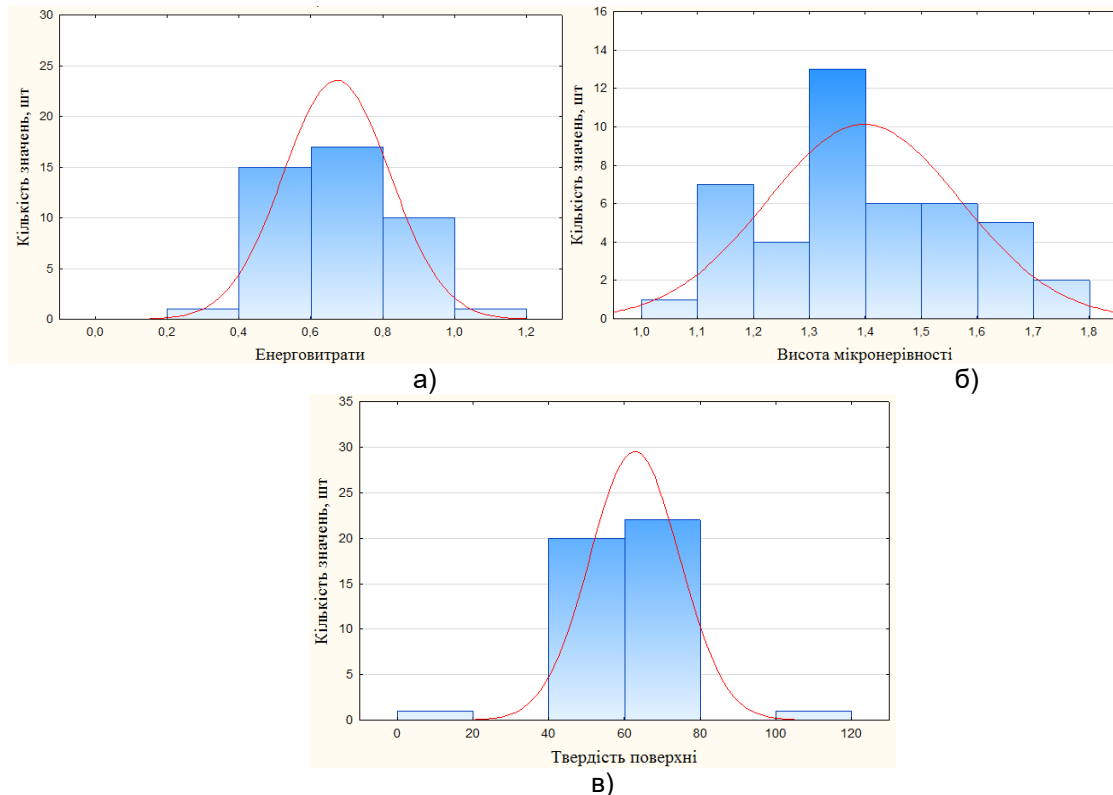
Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний – 1, середній 0, максимальний + 1 та зіркові значення – α ; + α .

Заплановано отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} x_{ij}, \quad (5)$$

де Y – одна з якісних функцій N, R, T ;

b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії, отримані методом найменших квадратів.



а – енерговитрати N , кВт · год; б – висота мікронерівності R , мкм; в – твердість поверхні T , HRC

Рис. 1. Гістограма розподілу отриманих даних якісних параметрів досліджуваного процесу

Після обробки експериментальних даних у статистичному середовищі STATISTICA 10.0 було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та побудовано такі залежності:

$$N = -0,063 + 0,023a_k - 0,006a_a + 0,001\omega_{нк} + 0,001\omega_{на} + 0,008T_o; \quad (6)$$

– висота мікронерівностей від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала

$$R = 1,977 - 0,024a_k - 0,061a_a - 0,0003\omega_{нк} - 0,002\omega_{на} - 0,002T_o; \quad (7)$$

– твердість поверхні від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала

– споживані енерговитрати розробленою установкою від амплітуди коливань робочої камери, амплітуди коливань активатора, кутової швидкості приводного вала робочої камери, кутової швидкості приводного вала активатора, часу обробки:

робочої камери, кутової швидкості приводного вала активатора, часу обробки:

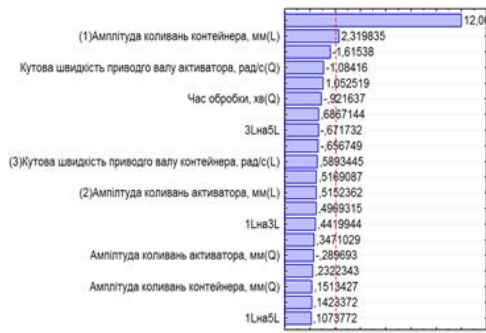
робочої камери, кутової швидкості приводного вала активатора, часу обробки:



$$T = 32,56 + 1,602a_k + 2,013a_a + 0,044\omega_{пвк} + 0,075\omega_{пва} + 0,117T_o. \quad (8)$$

Також на основі отриманих експериментальних даних побудовано карти Парето ефектів для оцінки впливу факторів на споживані енерговитрати розробленої

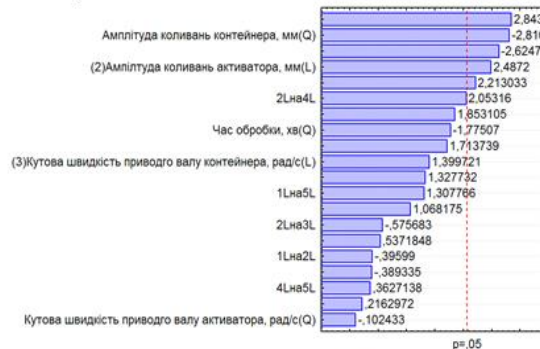
вібростанини (рис. 2, а), на висоту мікронерівності (рис. 2, б) та твердість поверхні (рис. 2, в).



а)



б)

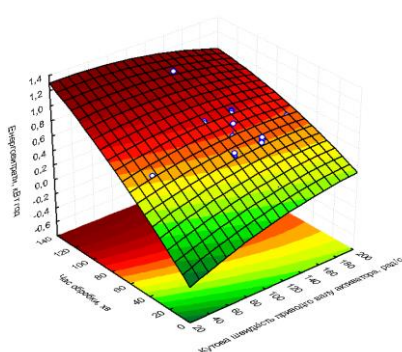


в)

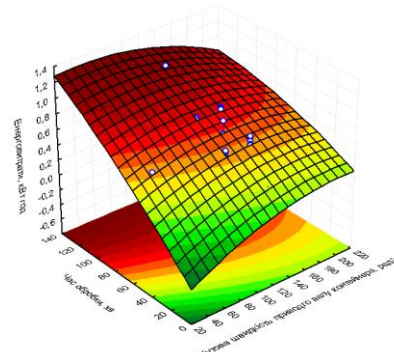
а – на споживані енерговитрати розробленої вібростанини; б – на висоту мікронерівності; в – на твердість поверхні
Рис. 2. Карта Парето ефектів для оцінки впливу факторів

Згідно отриманих карт, на споживані енерговитрати розробленої вібростанини найбільше впливає амплітуда коливань робочої камери; на висоту мікронерівності – амплітуда коливань робочої камери, кутова швидкість приводного валу активатора та час обробки; на твердість поверхні – амплітуда коливань робочої камери та амплітуда коливань активатора.

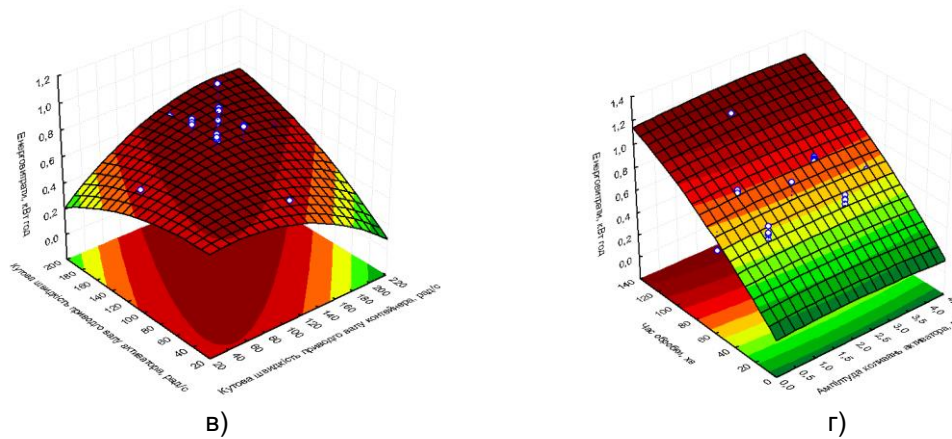
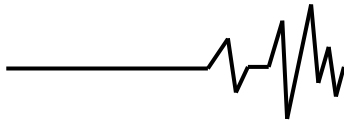
За результатами проведених досліджень та випробувань розробленої установки на основі побудованих поверхонь відгуку досліджуваних процесів (рис. 3-5) визначено раціональні технологічні параметри її роботи (табл. 1), компромісне значення яких отримано методом Крамера в математичному середовищі «Mathcad 15».



а)

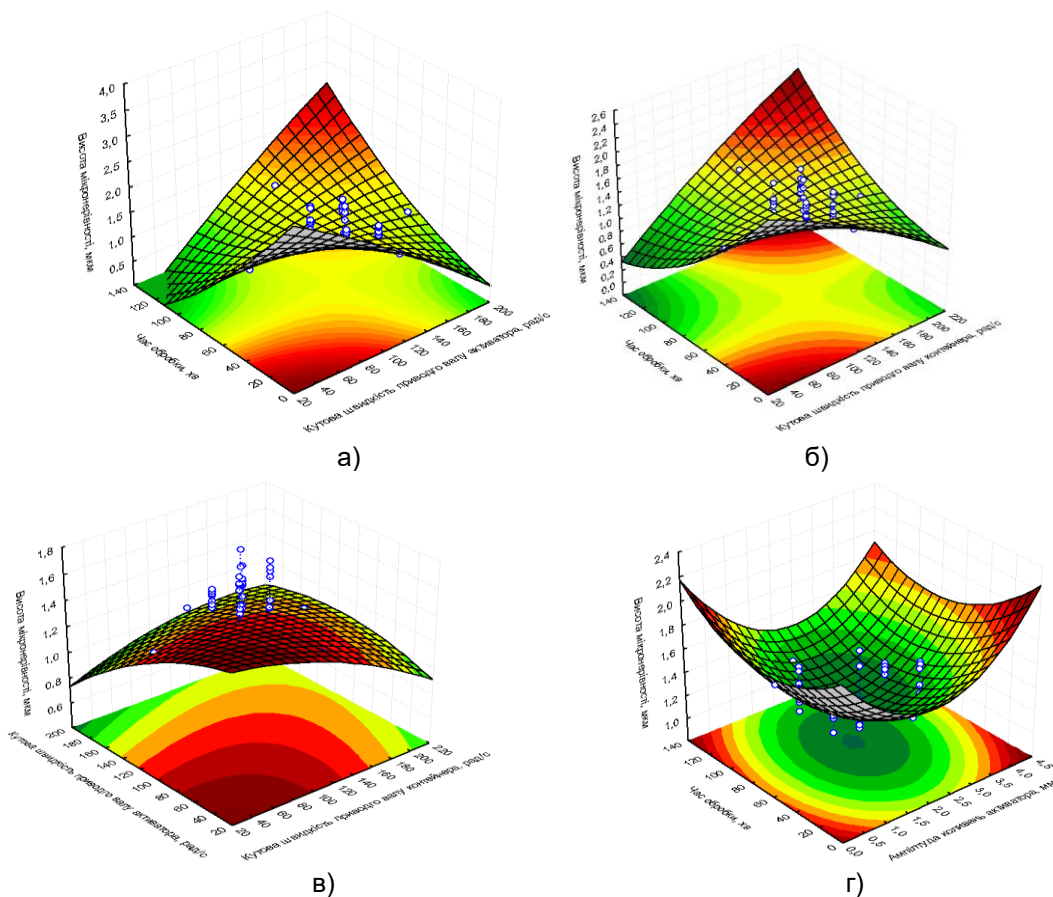


б)



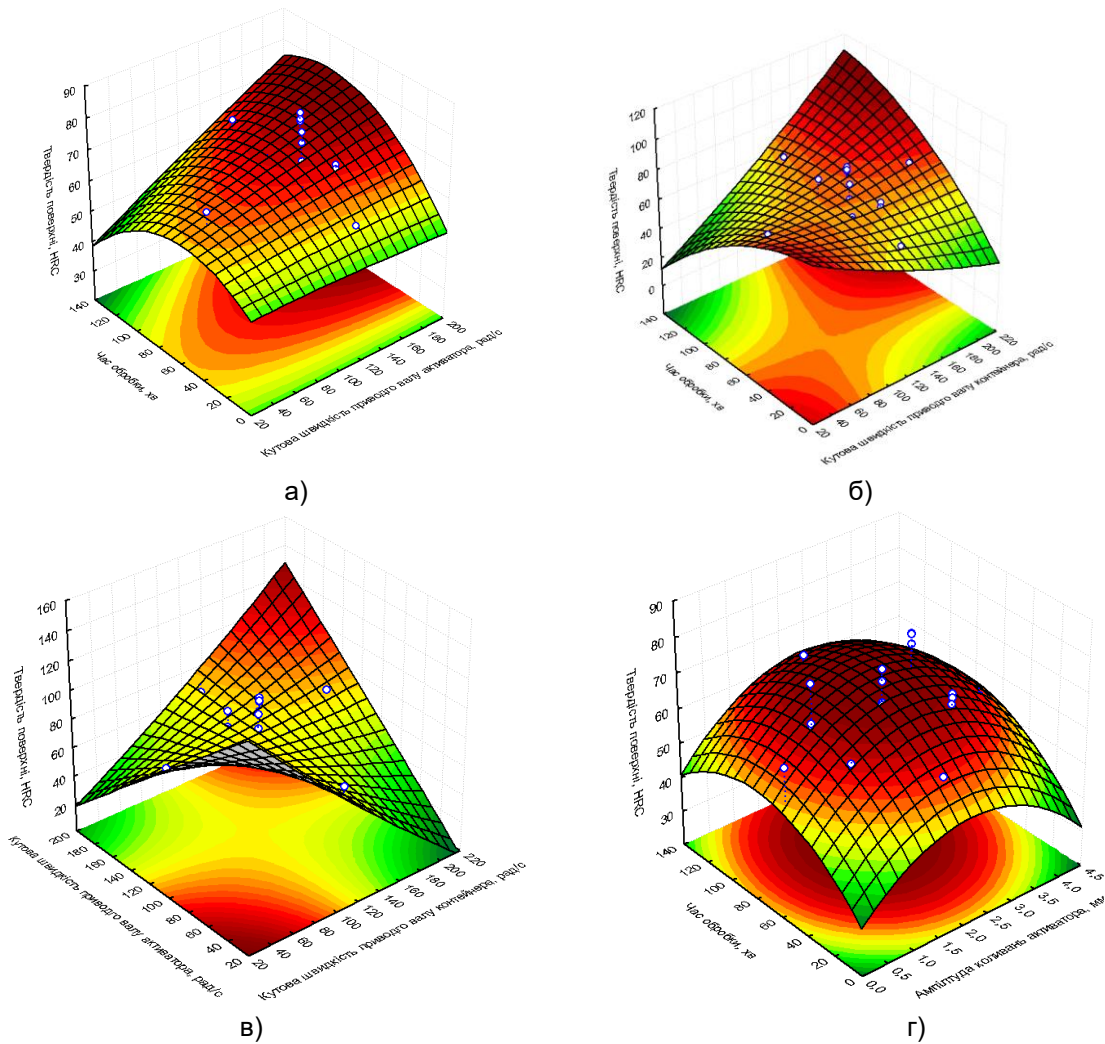
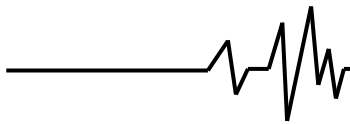
а – часу обробки та кутової швидкості приводного вала активатора; б – часу обробки та кутової швидкості приводного вала робочої камери; в – кутової швидкості приводного вала активатора та кутової швидкості вала робочої камери; г – часу обробки та амплітуди коливань активатора

Рис. 3. Вплив параметрів процесу на споживані енерговитрати розробленої вібромашини



а – часу обробки та кутової швидкості приводного вала активатора; б – часу обробки та кутової швидкості приводного вала робочої камери; в – кутової швидкості приводного вала активатора та кутової швидкості вала робочої камери; г – часу обробки та амплітуди коливань активатора

Рис. 4. Вплив параметрів процесу на висоту мікронерівності



а – часу обробки та кутової швидкості приводного вала активатора; б – часу обробки та кутової швидкості приводного вала робочої камери; в – кутової швидкості приводного вала активатора та кутової швидкості вала робочої камери; г – часу обробки та амплітуди коливань активатора

Рис. 5. Вплив параметрів процесу на твердість поверхні

Таблиця 1

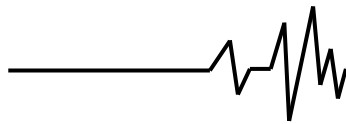
Компромідні технологічні параметри досліджуваного процесу

Технологічний параметр	Раціональне значення
Амплітуда коливань робочої камери, мм	2-4
Амплітуда коливань активатора, мм	1,5-2,5
Кутова швидкість приводного вала робочої камери, рад/с	115-120
Кутова швидкість приводного вала активатора, рад/с	130-145
Час обробки, хв.	80

Висновок. Отримані значення дають можливість проводити технологічний процес у розробленій установці за мінімальних енерговитрат при отриманні кінцевої продукції високої якості.

За результатами багатофакторного експерименту одержано математичну модель у вигляді множинної регресії другого порядку, яка адекватно описує досліджуваний технологічний процес.

Було отримано компромідні технологічні параметри досліджуваного процесу, які становлять: амплітуда коливань робочої камери – 2-4 мм; амплітуда коливань активатора – 1,5-2,5 мм; кутова швидкість приводного вала робочої камери – 115-120 рад/с; кутова швидкість приводного вала активатора 130-145 рад/с; час обробки – 80 хв.

**Список використаних джерел**

1. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры). Киев, 1980. 264 с.
2. Хасты Т., Тибширани Р., Фридман Дж. Основы статистического обучения. Москва, 2020. 768 с.
3. Бойко Н.Г., Устименко Т.А. Теория и методы инженерного эксперимента. Донецк, 2009. 158 с.
4. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. Москва, 1997. 608 с.
5. Бари А., Чаучи М., Юнг Т. Статистический анализ. Москва, 2020. 480 с.
6. Карлберг К. Регрессионный анализ в Microsoft Excel. Москва, 2017. 400 с.
7. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ. 1998. 624с.
8. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Москва, 2018. 912 с.
9. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия). Оренбург, 2003. 362 с.
10. Яковлев В.Б. Регрессионный анализ. Расчеты в Excel и Statistic. Москва, 2018. 177 с.

Список джерел у транслітерації

1. Bondar A.G., Statyukha G.A., Potyazhenko I.A. (1980). *Planirovaniye eksperimenta pri optimizatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii (algoritmy i primery)*. Kiyev. 264 s. [in Russian].
2. Hasti T., Tibshirani R., Fridman Dzh. (2020). *Osnovy statisticheskogo obucheniya*. Moskva, 768 s. [in Russian].
3. Boyko N.G., Ustimenko T.A. (2009). *Teoriya i metody inzhenerenogo eksperimenta*. Donetsk. 158 s. [in Russian].
4. Borovikov V.P., Borovikov I.P. (1997). *Statistica. Statisticheskiy analiz i obrabotka dannyih v srede Windows*. Moskva. 608 s. [in Russian].
5. Bari A., Chauchi M., Yung T. (2020). *Statisticheskiy analiz*. Moskva, 480 s. [in Russian].
6. Karlberg K. (2017). *Regressiynniy analiz v Microsoft Excel*. Moskva, 400 s. [in Russian].
7. Babichev A.P., Babichev I.A. (1998). *Osnovy vibratsionnoy tekhnologii. Rostov-na-Donu: Izdatelskiy tsentr DGTU*. 624 s. [in Russian].
8. Dreyper N., Smit G. (2018). *Prikladnoy regressiynniy analiz*. Moskva, 912 s. [in Russian].

9. Shashkov V.B. (2003). *Prikladnoy regressiynniy analiz (mnogofaktornaya regressiya)*. Orenburg, 362 s. [in Russian].

10. Yakovlev V.B. (2018). *Regressiynniy analiz. Rascheti v Excel i Statistic*. Moskva, 177 s. [in Russian].

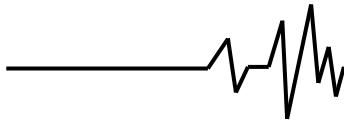
**ПЛАНИРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ
ВИБРАЦИОННОЙ МАШИНЫ**

Подходы и методы повышения качества и эффективности ремонта сельскохозяйственной техники на сегодняшний день имеют в Украине приоритетные значения. Жесткая конкурентная среда на межгосударственном и внутреннем рынке технических услуг диктуют свои условия. Один из перспективных методов исследований является планирование эксперимента при оптимизации многофакторных процессов, таких как, виброукрепляющая обработка деталей сельскохозяйственной техники.

Объектом исследования в данной статье был технологический процесс отделочно-зачистной и укрепляющей обработки деталей почвообрабатывающих агрегатов при их поверхностной пластической вибрационной деформации.

Цель работы заключалась в планировании многофакторного эксперимента для теоретического определения компромиссных параметров работы вибрационной машины с активатором движения рабочей среды для укрепляющей обработки рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов.

Задачей работы предполагалось: осуществить анализ исследований и публикаций по основам теории вероятности, математической статистики, основ корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализов, планирование оптимального эксперимента; получить коэффициенты комплексных уравнений множественной регрессии 2-го порядка и построить зависимости потребляемых энергозатрат разработанной установкой от амплитуды колебаний рабочей камеры, амплитуды колебаний активатора, угловой скорости приводного вала рабочей камеры, угловой скорости приводного вала активатора, времени обработки; высоты микронеровностей от амплитуды колебаний рабочей камеры, амплитуды колебаний активатора, угловой скорости приводного вала рабочей камеры, угловой скорости приводного вала активатора, времени обработки; твердости поверхности от амплитуды колебаний рабочей камеры,



амплитуды колебаний активатора, угловой скорости приводного вала рабочей камеры, угловой скорости приводного вала активатора, времени обработки; по результатам проведенных исследований и испытаний разработанной установки на основе построенных поверхностей отклика исследуемых процессов определить рациональные технологические параметры ее работы, компромиссное значение которых получить методом Крамера в математической среде «Mathcad 15».

Методика исследования основывалась на основе математической статистики, корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализов, планировании оптимального эксперимента.

В научной работе по результатам многофакторного эксперимента получено математическую модель в виде множественной регрессии второго порядка, которая адекватно описывает исследуемый технологический процесс. Были получены компромиссные технологические параметры исследуемого процесса, которые составляют: амплитуда колебаний рабочей камеры - 2-4 мм; амплитуда колебаний активатора - 1,5-2,5 мм; угловая скорость приводного вала рабочей камеры - 115-120 рад/с; угловая скорость приводного вала активатора 130-145 рад/с; время обработки - 80 мин.

Ключевые слова: *вибрационная машина, планирование, многофакторный эксперимент, укрепляющая обработка, почвообрабатывающие агрегаты, компромиссные параметры.*

PLANNING A MULTI-FACTOR EXPERIMENT FOR DETERMINING RATIONAL PARAMETERS OF THE VIBRATION MACHINE OPERATION

The approaches and methods of improving the quality and efficiency of agricultural machinery repair are of priority importance in Ukraine today. The tough competitive environment in the interstate and domestic market of technical services dictates its own terms. One of the promising research methods is the planning of an experiment in the optimization of multifactorial processes, such as vibration strengthening processing of agricultural machinery parts.

The object of the research in this article was the technological process of finishing, cleaning and strengthening processing of parts of tillage machines with their surface plastic vibration deformation.

The purpose of the work was to plan a multifactorial experiment for the theoretical

determination of the compromise parameters of the operation of a vibration machine with an activator of the movement of the working medium for strengthening the treatment of the working bodies of tillage machines.

The task of the work was to: analyze research and publications on the basics of probability theory, mathematical statistics, foundations of correlation, variance and regression analyzes, planning an optimal experiment; obtain the coefficients of complex equations of multiple regression of the 2nd order and plot the dependence of the consumed energy consumption by the developed installation on the amplitude of oscillations of the working chamber, the amplitude of oscillations of the activator, angular velocity of the drive shaft of the working chamber, angular velocity of the drive shaft of the activator, processing time; the height of microroughnesses from the vibration amplitude of the working chamber, the vibration amplitude of the activator, the angular velocity of the drive shaft of the working chamber, the angular velocity of the drive shaft of the activator, the processing time; surface hardness on the vibration amplitude of the working chamber, vibration amplitude of the activator, angular velocity of the drive shaft of the working chamber, angular velocity of the drive shaft of the activator, processing time; based on the results of the research and testing of the developed installation on the basis of the constructed response surfaces of the processes under study, to determine the rational technological parameters of its operation, the compromise value of which can be obtained by the Cramer method in the mathematical environment "Mathcad 15".

The research methodology was based on mathematical statistics, correlation, variance and regression analyzes, planning an optimal experiment.

In scientific work, based on the results of a multifactorial experiment, a mathematical model was obtained in the form of multiple second-order regression, which adequately describes the technological process under study. Compromise technological parameters of the investigated process were obtained, which are: the amplitude of oscillations of the working chamber - 2-4 mm; the vibration amplitude of the activator is 1.5-2.5 mm; the angular speed of the drive shaft of the working chamber - 115-120 rad/s; the angular speed of the drive shaft of the activator 130-145 rad/s; processing time - 80 min.

Key words: *vibration machine, planning, multi-factor experiment, hardening processing, tillage implements, compromise parameters.*

**Відомості про авторів**

Цуркан Олег Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри "Технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв" Вінницького національного аграрного університету, директор Ладижинського коледжу Вінницького національного аграрного університету (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладижин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net).

Горбатюк Руслан Миколайович – викладач Ладижинського коледжу Вінницького національного аграрного університету (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладижин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: ruslangorbatyuk@gmail.com).

Присяжнюк Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, викладач Ладижинського коледжу Вінницького національного аграрного університету (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладижин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: dima061992@yahoo.com).

Цуркан Олег Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры "Технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств" Винницкого национального аграрного университета, директор Ладыжинского колледжа Винницкого национального аграрного университета (ул. П. Кравчика, 5, г. Ладыжин, Винницкая обл., 24321, Украина, e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net).

Горбатюк Руслан Николаевич – преподаватель Ладыжинского колледжа Винницкого национального аграрного университета (ул. П. Кравчика, 5, г. Ладыжин, Винницкая обл., 24321, Украина, e-mail: ruslangorbatyuk@gmail.com).

Присяжнюк Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, преподаватель Ладыжинского колледжа Винницкого национального аграрного университета (ул. П. Кравчика, 5, г. Ладыжин, Винницкая обл., 24321, Украина, e-mail: dima061992@yahoo.com).

Tsurkan Oleh – Ph.D., associate professor of the Department of « Technological processes and equipment of processing and food industries» of Vinnytsia National Agrarian University, director of Ladyzhyn College of Vinnytsia National Agrarian University (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321, Ukraine, e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net)

Horbatiuk Ruslan – teacher of Ladyzhyn College of Vinnytsia National Agrarian University (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321, Ukraine, e-mail: ruslangorbatyuk@gmail.com).

Dmytro Prysiazhniuk – Ph.D., teacher of Ladyzhyn College of Vinnytsia National Agrarian University (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321, Ukraine, e-mail: dima061992@yahoo.com).