

УДК 631.3:636

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВОБАРАБАННОГО НАВІСНОГО ПРИСТРОЮ ПРИЧІПНОГО РОЗКИДАЧА ДОБРИВ ПРТ-10

С. І. Павленко

Кореспонденція автора: si.pavlenko17@gmail.com.

Історія статті: отримано – вересень 2018, акцептовано – листопад 2018.

Бібл. 7, рис. 5, табл. 2.

Анотація. Розроблена конструкція двобарабанного навісного пристрою для причіпного розкидача органічних добрив ПРТ-10, що суттєво розширює його технологічні можливості при механізації компостування. Експериментальна конструкція установлена на розкидач органічних добрив і складається з нижнього і верхнього літерів фрезерно-барабанного типу. Верхній бітер зміщується відносно вісі нижнього на ± 400 мм. Вибрано діапазон значення факторів дослідження: частота обертання верхнього і нижнього бітерів: 170–490 хв⁻¹, а також лінійні швидкості транспортеру – 0,05...0,25 м/с.

Моделювання проведено за планом Бокса-Бенкіна із загальною кількістю дослідів – 27. Основні критерії роботи: однорідність за вологістю, пропускна спроможність, споживана енергетична потужність. З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої отримано рівняння залежності потужності і однорідності суміші від факторів дослідження.

В результаті експериментальних досліджень причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанным навісним пристроєм встановлені залежності середнього значення витрачаємої потужності P і однорідності гное-компостної суміші δ_w від частот обертання нижнього та верхнього робочих органів n_1 , n_2 , швидкості переміщення гное-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V і розташування верхнього робочого органу відносно нижнього L . Визначені раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого навісного пристрою в результаті вирішення компромісної задачі, а саме забезпечення найбільшої однорідності гное-компостної суміші із низькими енергетичними втратами: $n_1 = 320$ об/хв, $n_2 = 170$ об/хв, $V = 0,05$ м/с, $L = -0,4$ м. При цьому однорідність гное-компостної суміші складала $\delta = 0,88$, а споживана потужність $P = 3,34$ кВт.

Ключові слова: компост, експеримент, розкидач органічних добрив, навісний пристрій двобарабанный, однорідність суміші, енерговитрати.

Постановка проблеми

Пошукові дослідження роботи серійного розкидача органічних добрив ПРТ-10 в процесах механізованого компостування в буртах визначили суттєві недоліки в виконанні технологічних задач, які необ-

хідні, а саме, ефективне подрібнення і змішування сировини для стійких біотермічних процесів, формування буртів за потрібною висотою і шириною. Системний аналіз операцій механізованого процесу компостування показав доцільність використання технічного засобу як транспортного засобу для переміщення сировини до майданчику переробки, накопичення компонентів технологічної суміші, проведення вивантаження сировини з формування буртів з заданими параметрами [1,2]. Використовуючи конструкцію розкидача як базову, розроблений навісний двобарабанный пристрій, що підвищує технологічні можливості в процесах механізованого компостування. Доцільність технічних рішень по виконанню технологічного процесу, одержанню якісних характеристик сировини, визначення раціональних конструктивно-кінематичних параметрів обґрунтовувалась по результатах експериментальної перевірки.

Аналіз попередніх досліджень

За останні два десятиліття вдосконаленню конструкції розкидачів органічних добрив для розширення їх технологічних можливостей в Україні присвячені роботи Голуба Г. А., Павленко С. І., Кудрі В. О. [2, 3, 4]. Приготування компостів для виробництва їстівних грибів відбувається з використанням серійного розкидача органічних добрив, що в механізації процесів виконує проміжне значення при формуванні технологічної суміші [3]. В роботі Кудрі В. О. розглядається навісна конструкція, що встановлюється на розкидач і забезпечує формування бурту або внесення готового продукту за допомогою роторно-лопатевого робочого органу [4].

Широке використання розкидачів органічних добрив в підготовці сумішей для компостування приділяють увагу в роботах російських вчених Бондаренко А. М., Петренко І. М. [5, 6].

Важливість вдосконалення конструкції і практичне значення розглядалось в роботі Спевака Н. В. [7].

Розроблена і обґрунтована ним конструкція призначена для використання в технології підготовки сировини – ефективному подрібненню твердих органічних добрив.

Огляд попередніх досліджень показує актуальність вибраного напрямку дослідження для технологічних і технічних рішень в механізації компостування.

Мета роботи

Проведення експериментального обґрунтування раціональних параметрів розробленого навісного пристрою з розробкою математичних моделей параметрів оптимізації.

Результати досліджень

Програма досліджень передбачала:

1. Розробку методики досліджень.
2. Розробку експериментальної установки.
3. Обґрунтування і вибір факторів та критеріїв оптимізації.

4. Проведення експериментів.
5. Обробіток результатів на основі одержаних математичних моделей.

6. Висновки по результатам досліджень.

Для реалізації експериментальних досліджень процесу механічної аерації і змішування гноє-компостної суміші було створено експериментальну установку на базі причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабан Розроблений навісний пристрій для подрібнення твердих органічних добрив (рис. 1) складається з двох барабанних робочих органів із радіально розташованими лопатями по гвинтовій лінії. Нижній барабанний робочий орган закріплено по середині навісного пристрою без можливості переміщення по горизонталі. Верхній барабанний робочий орган встановлено із можливістю переміщення по горизонталі на відстань $\pm 0,4$ м відносно нижнього барабанного робочого органу. Також є можливість демонтувати верхній барабанний робочий орган. Верхня захисна частина (арка) пристрою для подрібнення твердих органічних добрив створена з можливістю опускання у разі відсутності верхнього барабанного робочого органу. В дію барабанні робочі органи приводяться ланцюговими передачами з використанням асинхронного електродвигуна, який встановлено на верхній захисній частині (арці) пристрою для подрібнення твердих органічних добрив.

Виходячи з теоретичних досліджень та аналізу літературних джерел незмінні конструктивно-технологічні параметри розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив наведені в табл. 1.

За фактори експериментальних досліджень були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри (рис. 2): частота обертання нижнього робочого органу n_1 , частота обертання верхнього барабану n_2 , лінійна швидкість переміщення гноє-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V , розташування верхнього робочого органу відносно нижнього L (межі варіювання представлені в таблиці 2).

Частоти обертання нижнього і верхнього робочих органів встановлювалися шляхом зміни зірочок і цепків на приводних механізмах. Лінійна швидкість переміщення гноє-компостної суміші встановлювалася шляхом зміни зірочок на приводному механізмі транспортеру ПРТ-10. Зміна розташування верхнього робочого органу здійснювалося шляхом його перемі-

щення в горизонтальній площині за допомогою гвинтового механізму.

Чисельне моделювання було проведено за планом Бокса–Бенкіна із загальною кількістю дослідів – 27.



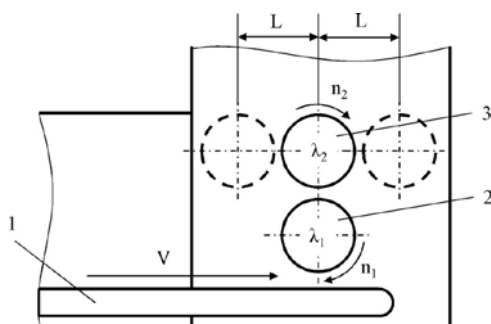
Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки на базі причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив.

Таблиця 1. Конструктивно-технологічні параметри розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив.

Величина	Позначення	Значення
Ширина захвату робочих органів, м	l	2
Зовнішній радіус нижнього робочого органу, м	R_1	0,175
Радіус валу нижнього робочого органу, м	r_1	0,090
Товщина лопатей нижнього робочого органу, м	δ_1	0,004
Крок гвинтової лінії нижнього робочого органу, м	ζ_1	0,350
Висота розташування нижнього робочого органу над транспортером, м	χ_1	0,225
Зовнішній радіус верхнього робочого органу, м	R_2	0,175
Радіус валу верхнього робочого органу, м	R_2	0,090
Товщина лопатей верхнього робочого органу, м	δ_2	0,004
Крок гвинтової лінії верхнього робочого органу, м	ζ_2	0,250
Висота розташування верхнього робочого органу над транспортером, м	χ_2	0,625

Таблиця 2. Рівні варіацій факторами експериментальних досліджень процесу механічної аерації і змішування гноє-компостної суміші двобарабанным навісним пристроєм на базі ПРТ-10.

Фактори	Частота обертання нижнього робочого органу n_1 , об/хв	Частота обертання верхнього робочого органу n_2 , об/хв	Лінійна швидкість переміщення гноє-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V , м/с	Розташування верхнього робочого органу відносно нижнього L , м
Нижній рівень (–)	170	170	0,05	–0,4
Основний рівень (0)	330	330	0,15	0
Верхній рівень (+)	490	490	0,25	0,4
Інтервал варіацій факторів	160	160	0,1	0,4

**Рис. 2.** Схема експериментальної установки на базі причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанным навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив: 1 – транспортер, 2 – нижній робочий орган, 3 – верхній робочий орган.

В якості сировини для експериментальних досліджень було взято свіжий (вивантажений з приміщень) підстилковий послід на основі лушпиння соняшнику, середня об'ємна маса якої складала $\rho = 480 \text{ кг/м}^3$, а середня вологість $W = 32,2 \%$. При цьому розрахована однорідність розподілу компонентів гноє-компостної суміші попередньо сформованого бурта по методу роздільної ознаки – вологості. Однорідність за вологістю визначається за коефіцієнтом варіації:

$$\delta_{wi} = 1 - v_{wi} = 1 - \frac{\sigma_{wi}}{W_i},$$

де v_{wi} – коефіцієнт варіації вологості гноє-компостної суміші у досліді;

σ_{wi} – середньоквадратичне відхилення вологості в серії порцій гноє-компостної суміші у досліді;

w_i – середньоарифметичне значення вологості в серії порцій гноє-компостної суміші у досліді.

Для вихідної сировини однорідність за вологістю складала 0,33–0,47.

Для визначення однорідності гноє-компостної суміші за вологістю було прийнята п'яти разова повторність.

Технологічними критеріями оцінки сформованості бурта є його висота H , яка повинна складати 1,5 м. Це значення досягається шляхом періодичного переміщення агрегату МТЗ-80+ПРТ-10.

Кількісними критеріями оцінки роботи є пропускна спроможність Q , яка визначається як

$$Q = V \cdot \rho \cdot l \cdot h,$$

де V – лінійна швидкість переміщення гноє-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10), м/с;

ρ – середня об'ємна маса гноє-компостної суміші, кг/м^3 ;

h – висота шару гноє-компостної суміші, м;

l – ширина захвату робочих органів, м.

Енергетичним критерієм оцінки роботи гноєком-постувальної машини є середнє значення споживаної потужності P . Динаміка зміни споживаної потужності P визначалася частотним перетворювачем VLT Micro Drive.

Результати експериментальних досліджень процесу механічної аерації і змішування гноє-компостної суміші на експериментальній установці на базі причі-

пного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив ілюструють рис. 3.



Рис. 3. Процес механічної аерації і змішування гноє-компостної суміші на експериментальній установці на базі причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм.

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності середнього значення потужності від факторів досліджень у вигляді:

$$P = 3,88672 + 0,764405 L + 0,922574 L^2 - 0,00828371 n_1 + 0,000198171 L n_1 + 0,0000146636 n_1^2 - 0,0021879 n_2 - 3,0726 \cdot 10^{-7} n_1 n_2 + 6,46516 \cdot 10^{-6} n_2^2 - 1,4447 V - 0,641768 L V + 0,000320122 n_1 V - 0,000301067 n_2 V + 15,313 V^2.$$

З використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення факторів досліджень з умови забезпечення мінімального середнього значення потужності:

$$P (n_1 = 286 \text{ об/хв}, n_2 = 177 \text{ об/хв}, V = 0,05 \text{ м/с}, L = -0,4 \text{ м}) = 2,32 \text{ кВт} \quad (4)$$

Приймаючи отримані раціональні значення факторів досліджень (4) побудовані двовірні поверхні (рис. 4).

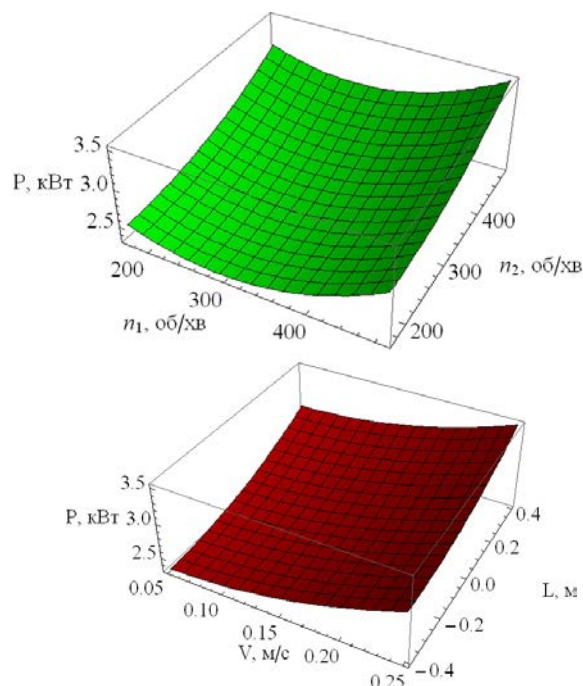


Рис. 4. Залежність середнього значення потужності, що витрачається на процес механічної аерації і змішування гноє-компостної суміші від факторів досліджень.

Як видно з рис. 4 із підвищенням лінійної швидкості переміщення гноє-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V і у разі віддалення верхнього робочого органу від транспортеру L споживана потужність P збільшується. Для частот обертання нижнього і верхнього робочих органів $n_1 = 286$ об/хв і $n_2 = 177$ об/хв відповідно спостерігається мінімум потужності. З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності однорідності гноє-компостної суміші за вологістю від факторів досліджень у вигляді:

$$\delta = 0,542498 - 0,330861 L + 0,0013886 n_1 - 1,69596 \cdot 10^{-6} n_1^2 - 0,000102664 n_2 + 0,000398441 L n_2 - 1,04511 V + 0,3625 L V + 0,00153125 n_1 V + 0,0025 n_2 V - 2,7604 V^2.$$

З використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення факторів досліджень з умови забезпечення максимальної однорідності гноє-компостної суміші за вологістю:

$$\delta (n_1 = 432 \text{ об/хв}, n_2 = 170 \text{ об/хв}, V = 0,05 \text{ м/с}, L = -0,4 \text{ м}) = 0,90$$

Приймаючи отримані раціональні значення факторів досліджень (6) побудовані двовірні поверхні (рис. 5).

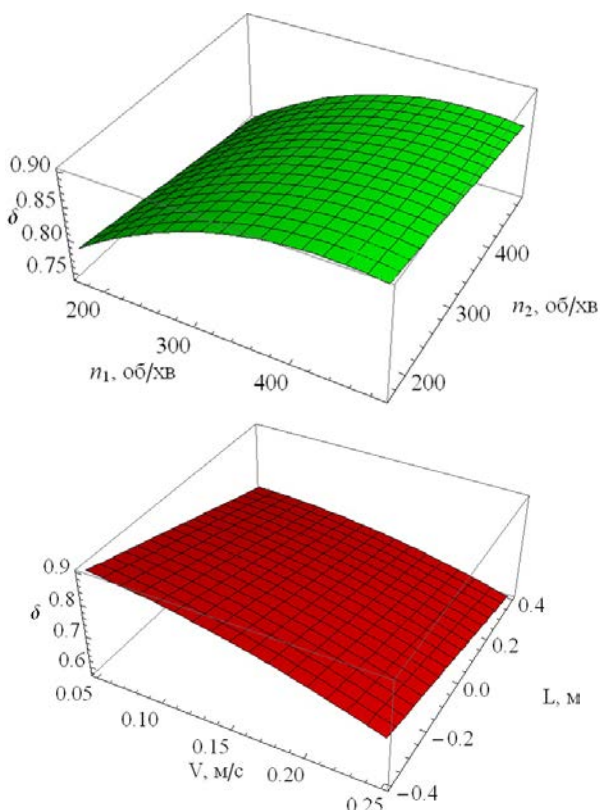


Рис. 5. Залежність однорідності гноє-компостної суміші в результаті її механічної аерації і змішування від факторів досліджень.

Як видно з рис. 5 із підвищенням лінійної швидкості переміщення гноє-компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V і у разі віддалення верхнього робочого органу від транспортеру L однорідність гноє-компостної суміші δ зменшується. Для частоти обертання нижнього робочого органу $n_1 = 432$ об/хв спостерігається максимум однорідності гноє-компостної суміші δ . Побудовані поверхні вказують на той факт, що частота обертання верхнього робочого органу n_2 не впливає на однорідність.

Для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив необхідно вирішити компромісну задачу, а саме забезпечення найбільшої однорідності гноє-компостної суміші із низькими енергетичними втратами:

$$\begin{cases} \delta \rightarrow \max, \\ P \rightarrow \min. \end{cases}$$

В результаті спільного рішення рівнянь (3), (5) і (7) з використанням програмного пакету Mathematica визначено раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив: $n_1 = 320$ об/хв, $n_2 = 170$ об/хв, $V = 0,05$ м/с, $L = -0,4$ м. При цьому однорідність гноє-компостної суміші складала $\delta = 0,88$, а споживана потужність $P = 3,34$ кВт.

Список літератури

1. Павленко С. І. Обґрунтування технологічної схеми процесу компостування органічних відходів на відкритих майданчиках. Вісник національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип 157. С. 197–201.
2. Павленко С. І. Обґрунтування механізованих комплексів для прискореного компостування на базі розкидачів органічних добрив. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 196–210. <http://nauka/tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-sndex.html>.
3. Голуб Г. А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи: монографія. Київ. Аграрна наука. 2007. 332 с.
4. Кудря В. О. Обґрунтування параметрів робочого органу роторно-лопатевого типу навісного модуля до розкидувача органічних добрив: автореф. дис... канд. техн. наук. 05.05.11. Глеваха. 2015. 18 с.
5. Бондаренко А. М. Технические средства для подготовки и использования органических удобрений. Вестник РАСХН. 1999. № 2. С. 77–79.
6. Спевак Н. В. Совершенствование технологии производства компостов с разработкой и обоснованием параметров устройства для измельчения твердых органических удобрений: автореф. дис... канд. техн. наук. Саратов, 2005. 20 с.
7. Петренко И. М. Процессы компостирования отходов животноводства: монография. Краснодар. КГАУ. 2002. 328 с.

References

1. Pavlenko, S. I. (2015). Justification of the technological scheme of composting organic waste in open areas. Bulletin of national technical University of agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 157. 197–201.
2. Pavlenko, S. I. (2016). Rationale of the mechanized systems for accelerated composting on the basis of the spreaders of organic fertilizers. Labor Taurian state agrotechnological University. Melitopol. Vol. 16. No 2. 196–210. <http://nauka/tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-sndex.html>.
3. Golub, G. A. (2007). Agro-industrial production of Edible mushrooms. Mechanical-technological bases: monograph. Kiev. Agricultural science. 332.
4. Kudrya, V. A. (2015). Substantiation of parameters of working body of the rotary vane-type coupler module to the spreader of organic fertilizers: author. dis... kand. tech. sciences. 05.05.11. Glevaha. 18.
5. Bondarenko, A. M. (1999). Technical means for the preparation and use of organic fertilizers. Bulletin of the RAAS. No 2. 77–79.
6. Spevak, N. V. (2005). Improvement of technology of production of compost with the development and substantiation of parameters of the device for grinding solid organic fertilizers: author. dis... kand. tech. sciences. Saratov, 20.
7. Petrenko, S. M. (2002). Process of composting animal waste. Krasnodar. 328.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВОБАРА-
БАННОГО НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ПРИЦЕП-
НОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ
УДОБРЕНИЙ ПРТ-10

С. И. Павленко

Аннотация. Разработанная конструкция двухбарабанных навесного устройства прицепного разбрасывателя органических удобрений ПРТ-10, существенно расширяет его технологические возможности при механизации компостирования. Экспериментальная конструкция установлена на разбрасыватель органических удобрений и состоит из нижнего и верхнего битеров фрезерно-барабанного типа. Верхний битей смещен относительно оси нижнего на ± 400 мм. Выбран диапазон значения факторов исследования: частота вращения верхнего и нижнего битеров: 170-490 мин^{-1} , а также линейные скорости транспортера 0,05...0,25 м/с.

Моделирование проведено по плану Бокса-Бенкина с общим количеством опытов – 27. Основные критерии работы: однородность по влажности, пропускная способность, потребляемая энергетическая мощность. С использованием программного пакета Mathematika проведена аппроксимация полученных данных, в результате которой получено уравнение зависимости мощности и однородности смеси от факторов исследования.

В результате экспериментального исследования прицепного разбрасывателя органических удобрений ПРТ-10 с двухбарабанным навесным устройством установлены зависимости среднего значения потребляемой мощности P и однородности навозо-компостной смеси δ от частот вращения нижнего и верхнего рабочих органов n_1 , n_2 , скорости перемещения навозо-компостной смеси (скорость транспортера ПРТ-10) V и положение верхнего рабочего органа относительно нижнего L . Определены оптимальные конструктивно-технологические параметры разработанного устройства в результате решения компромиссной задачи – обеспечения наибольшей однородности навозо-компостной смеси с низкими энергетическими потерями: $n_1 = 320$ об/мин, $n_2 = 170$ об/мин, $V = 0,05$ м/с, $L = -0,4$ м. При этом однородность навозо-компостной смеси составляла $\delta = 0,88$, а потребляемая мощность $P = 3,34$ кВт.

Ключевые слова: компост, эксперимент, разбрасыватель органических удобрений, навесное устройство двухбарабанных, однородность смеси, энергозатраты.

SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE-
TECHNOLOGICAL PARAMETERS
DEBRABANDERE HINGED DEVICE TRAILED
FERTILIZER SPREADER PRT-10

Pavlenko S. I.

Abstract. The developed design of two-drum mounted implements of the trailed organic fertilizer spreader PRT-10 significantly enhances its technological capabilities in the mechanization of composting. The experimental design is installed on an organic fertilizer spreader and consists of a lower and upper milling drum

type. The upper beater is displaced from the lower axis by ± 400 mm. The range of the values of the research factors is chosen: the time-tota of rotation of the upper and lower biters: 170-490 min^{-1} , and the linear velocities of the transporter – 0.05...0.25 m/s.

The simulation was carried out according to the Box-Bencin plan with a total number of experiments of 27. The main criteria of work are: uniformity in humidity, throughput, energy consumption. Using Mathematica software package, the approximation of the data obtained, which resulted in an equation for the dependence of the power and homogeneity of the mixture on the study factors.

As a result of experimental studies of the hook-up Reiser, the PRT-10 fertilizer with two-drum attachment is based on the dependence of the mean value of the stitching power P and the uniformity of the pus-compost mixture δW on the rotational speeds of the lower and upper working bodies n_1 , n_2 , mixture (the speed of the conveyor or PRT-10) V and the spread of the upper working body relative to the lower L . The optimal design and technological parameters of the device developed as a result of the water of the compromise task, and to ensure the most homogeneous pus-compost mixture with low energy losses: $n_1 = 320$ rpm, $n_2 = 170$ rpm, $V = 0.05$ m/s, $L = -0.4$ m. The homogeneity of the pus-compost mixture was $\delta = 0.88$, and the power consumption $P = 3.34$ kW.

Key words: compost, experiment, organic fertilizer spreader, double-drum attachment, uniformity of mixture, energy consumption.