

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО УКЛАДЧИКА ПОЧВЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

ПАВЛОВ Павел Иванович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ВЕЗИРОВ Александр Олегович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МУХИН Дмитрий Вадимович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Представлены результаты экспериментальных исследований работы цепочно-планчатого транспортера комбинированного укладчика. Получены уравнения регрессии и соответствующие им трехмерные графические зависимости, описывающие влияния конструктивных и режимных параметров на производительность и величину крутящего момента на приводном валу. Экспериментальным путем определены значения конструктивных и режимных параметров, при которых величина производительность будет иметь максимальное значение.

Введение. В тепличных хозяйствах России используют различные технологии выращивания растений. Одной из них является грунтовая технология, при которой растения выращиваются на почвенных смесях, состоящих из естественных компонентов (торфа, перепревшего навоза, опилок, чернозема, песка, компоста, мела и т.п.). Данный способ выращивания растений имеет ряд преимуществ. Прежде всего, это качество получаемой продукции, поскольку растения растут в среде максимально приближенной к естественным условиям, то овощи, получаемые таким способом выращивания, обладают, помимо улучшенных вкусовых качеств, более богатым витаминным составом, что подтверждается рядом зарубежных исследований [1, 10].

Кроме того, даже использование гидропонной технологии выращивания растений не исключает выращивания рассады на почвенной смеси, приготовленной на основе торфа [3].

Грунтовый способ выращивания предполагает использование особой технологии приготовления почвенных смесей, специализированных машин и оборудования для выполнения технологических операций [9].

Приготовление почвенной смеси предусматривает послойную укладку каждого компонента. Для выполнения этих операций в настоящее время серийных машин специального назначения практически не выпускается.

Для механизации этого процесса в тепличном производстве применяют в основном приспособленные технические средства из других областей сельскохозяйственного производства – бульдозеры, разбрасыватели органических и

минеральных удобрений, погрузчики непрерывного и периодического действия, фрезы, измельчители и др.

На основании анализа литературных источников сформулированы основные конструктивно-технические признаки, и по ним составлена классификация технических средств (рис. 1).

Анализ разработанной классификации позволяет сделать вывод, что применяемые для укладки компонентов почвенных смесей технические средства оснащены одним рабочим органом. Следовательно, за один проход возможна укладка только одного компонента. Для укладки всех компонентов необходимо несколько проходов указанных технологических средств, что приводит к снижению производительности, росту энергоемкости и затрат на приготовление почвенной смеси в целом. Количество проходов равно или более количества компонентов, что приводит к росту затрат труда и топлива. Кроме того, ряд технических средств не могут укладывать компоненты ровным слоем определенной толщины, а при использовании некоторых из них необходим ручной труд.

Для повышения эффективности укладки необходимо достичь роста производительности и снижения энергоемкости процесса укладки. Одновременная послойная укладка нескольких компонентов позволит сократить количество проходов агрегата, повысить производительность, снизить расход ГСМ. Разработка и обоснование параметров агрегата для одновременной послойной укладки почвенных компонентов, способного обеспечить требуемую производительность и эффектив-



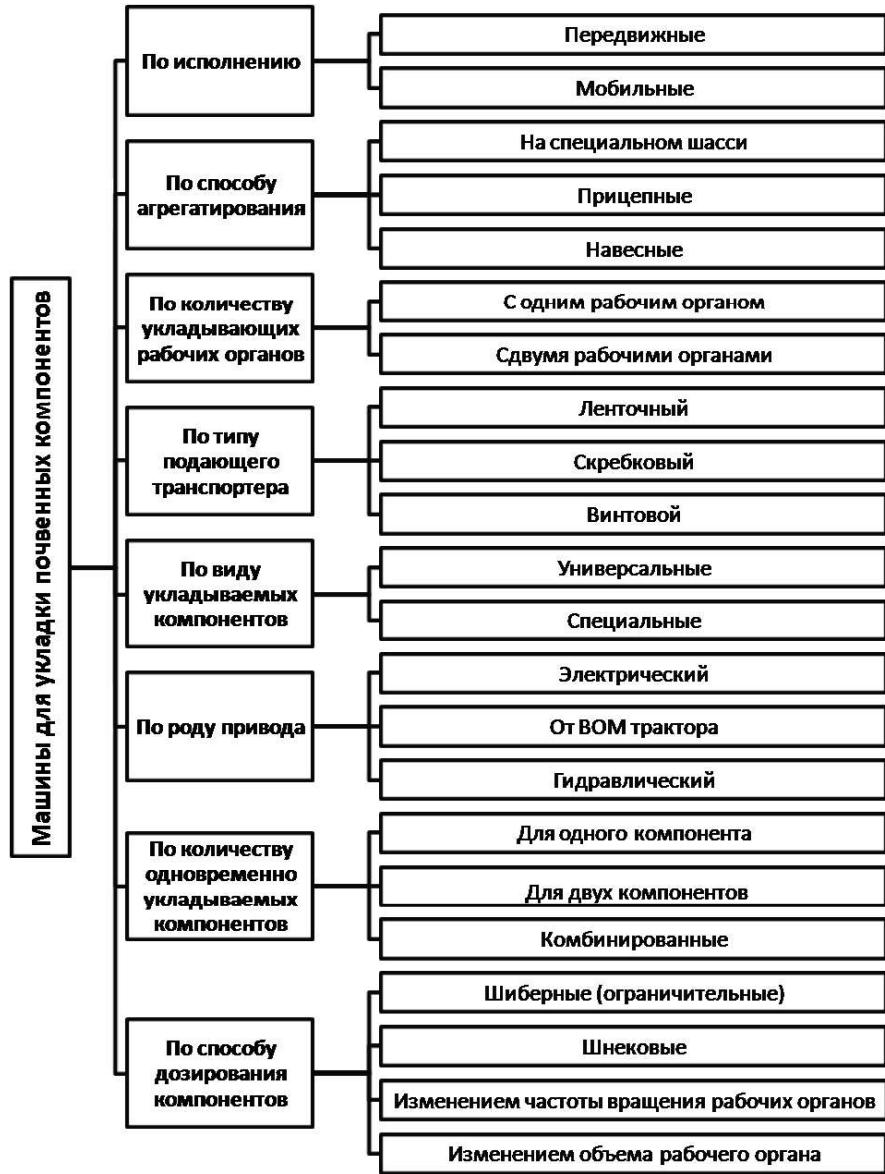


Рис. 1. Классификация технических средств, применяемых для укладки почвенных компонентов

ности укладки, является актуальной научной задачей.

Для достижения вышеуказанных задач разработан экспериментальный комбинированный укладчик почвенных компонентов [4]. Ранее была предложена новая технологическая схема приготовления почвенных смесей, позволяющая проводить одновременную укладку до трех компонентов с применением данного укладчика [5].

Цель исследования – выявить характер зависимости производительности и крутящего момента на приводном валу цепочно-планчатого транспортера от конструктивных и режимных параметров, обосновать значение параметров, при которых величина производительность будет иметь максимальное значение.

Методика исследований. Производительность комбинированного укладчика Q_y , кг/с, определяется как сумма производительностей $Q_{1Б}$, кг/с, и $Q_{2Б}$, кг/с, дозирующих барабанов в

среднем и заднем бункерах и производительности цепочно-планчатого транспортера $Q_{нт}$ в переднем бункере:

$$Q_y = Q_{нт} + Q_{1Б} + Q_{2Б}, \quad (1)$$

Производительность цепочно-планчатого транспортера определяется, исходя из общей формулы производительности машин непрерывного действия $Q_m = \rho A v$, где ρ – плотность груза; A – площадь поперечного сечения; v – скорость груза:

$$Q_{нт} = K_3 BH\rho_{oy} v_{нт}, \quad (2)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий заполнение межпланочного пространства; B и H – ширина и высота планки, м; ρ_{oy} – плотность органических удобрений, кг/м³; $v_{нт}$ – скорость движения цепей с планками (м/с).

Производительность, кг/с, дозирующих барабанов:

$$Q_B = \rho_{mk} V_{mk} / t_B, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{мк}}$ – средняя плотность компонентов, кг/м³; $V_{\text{мк}}$ – объем компонентов, подаваемых дозирующим барабаном из бункера за один оборот, м³; $t_{\text{в}}$ – время подачи объема $V_{\text{мк}}$, с.

Время $t_{\text{в}} = 1/n_{\text{k}}$, где n_{k} – частота вращения дозирующего барабана, с⁻¹.

Объем $V_{\text{мк}}$ компонентов определяется конструкцией дозирующих барабанов. Для принятой конструкции в виде цилиндра с продольными лопатками будет иметь следующий вид:

$$V_{\text{мк}} = K_{\text{з1}} V_{\text{1л}} z_{\text{l}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{з1}}$ – коэффициент заполнения межлопаточного пространства; $V_{\text{1л}}$ – объем компонентов в межлопаточном пространстве, м³; z_{l} – число лопаток на барабане, шт.

$$V_{\text{1л}} = A_{\text{l}} b_{\text{l}}, \quad (5)$$

где A_{l} – площадь боковой проекции межлопаточного пространства, м²; b_{l} – ширина лопатки, м.

Площадь боковой проекции A_{l} можно определить следующим образом:

$$A_{\text{l}} = \pi \left(\frac{\alpha_{\text{n}}}{2\pi} \right) \frac{D_{\text{h}}^2 - D_{\text{в}}^2}{4}. \quad (6)$$

Тогда объем компонентов $V_{\text{мк}}$:

$$V_{\text{мк}} = K_{\text{з1}} \pi \left(\frac{\alpha_{\text{n}}}{2\pi} \right) \frac{D_{\text{h}}^2 - D_{\text{в}}^2}{4} b_{\text{l}} z_{\text{l}}. \quad (7)$$

Для производительности комбинированного укладчика получим выражение:

$$\begin{aligned} Q_y &= K_{\text{з}} BH \rho_{\text{oy}} v_{\text{ц}} + \\ &+ \rho_{\text{мк1}} K_{\text{з1}} \pi \left(\frac{\alpha_{\text{n1}}}{2\pi} \right) \frac{D_{\text{h1}}^2 - D_{\text{в1}}^2}{4} b_{\text{l1}} z_{\text{l1}} n_{\text{k2}} + \\ &+ \rho_{\text{мк2}} K_{\text{з2}} \pi \left(\frac{\alpha_{\text{n2}}}{2\pi} \right) \frac{D_{\text{h2}}^2 - D_{\text{в2}}^2}{4} b_{\text{l2}} z_{\text{l2}} n_{\text{k2}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Анализ выражения (8) показывает, что производительность укладчика находится в прямолинейной зависимости от скорости цепи и частоты вращения барабанов, однако при этом меняется коэффициент заполнения рабочего пространства, что приводит к более сложной зависимости.

Методика исследований. Методика экспериментальных исследований включала в себя два двухфакторных эксперимента по оптимизации конструктивных и режимных параметров, а также методику обработки результатов исследований [8].

В качестве критериев оптимизации выбраны: величина крутящего момента на приводном валу (T , Нм), мощность привода (P , Вт), производительность (Q , м³/с), энергоемкость (E , Дж/кг). На основании теоретических и

поисковых исследований, а также предварительных экспериментов были отобраны факторы оказывающих наибольшее влияние на критерии оптимизации: угловая скорость, количество лопаток, линейная скорость цепи цепочно-планчатого транспортера ($v_{\text{ц}}$, м/с), количество планок цепочно-планчатого транспортера (N , шт.).

В первом двухфакторном эксперименте изучалось влияние частоты вращения барабанов, а также количества продольных лопаток на критерии оптимизации, а во втором скорость цепи и количество планок транспортера.

В данной работе приведены результаты исследования влияния линейной скорости цепи и количества планок цепочно-планчатого транспортера на его производительность и величину крутящего момента на приводном валу. Результаты исследования влияния остальных факторов на критерии оптимизации представлены в предыдущих работах [6, 7].

Исследования проводились на наиболее распространенном, наименее трудозатратном в приготовлении и наименее дорогом типе почвенной смеси, состоящей из трех компонентов: перепревшего навоза, чернозема, опилок [2].

Поступательная скорость комбинированного укладчика в экспериментальных исследованиях оставалась неизменной и равной движению трактора – 0,08 м/с, длина транспортера составила 2,5 м. Линейная скорость цепи изменялась по четырем значениям и задавалась сменой звездочек на ведущем валу транспортера. Количество планок изменялось по четырем значениям и задавалось установкой нужного их количества.

Определение значения крутящего момента производилось с помощью крутильного динамометра, преобразующего блока подстройки и специального программного обеспечения.

Результаты реализации эксперимента обрабатывались на ЭВМ при помощи программы для математических и инженерных вычислений «Mathcad».

Эксперимент проходил на базе ОАО «Совхоз-Весна», расположенного на территории Саратовского района Саратовской области.

Результаты исследований. После проведения экспериментальных исследований проведена обработка полученных опытных данных и построены уравнения регрессии и соответствующие им графические зависимости.

Установлено влияния количества планок и их линейной скорости цепи на производительность укладки компонента почвенной смеси транспортером. Получено уравнение



регрессии (9) и графическая зависимость в виде трехмерной поверхности (рис. 2, см. обложку).

$$Q = -29,53 + 101,815v_u + 8,521N_c - 146,25v_u^2 - 0,37v_u N_c - 0,534N_c^2. \quad (9)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что зависимость носит нелинейный характер, как по количеству планок, так и по скорости цепи (скорости движения планок). С увеличением скорости цепи производительность вначале исследуемого диапазона интенсивно возрастает. Так, увеличение скорости цепи с 0,15 до 0,25 м/с приводит к росту Q с 12,4 до 16,2 кг/с. Производительность достигает максимума при $v_u = 0,33\ldots 0,37$ м/с. При дальнейшем росте скорости наблюдается стабилизация, а затем некоторое снижение исследуемого критерия.

Максимальное значение достигается при 8 планках. При 10 планках производительность получена несколько ниже, чем при 8 планках, т. е. при увеличении количества планок более 8 производительность начинает снижаться.

Проведенный анализ полученных результатов позволил установить область оптимальных значений (рис. 3, см. обложку). Область максимальной производительности находится при значениях скорости цепи с 0,33 до 0,37 м/с и количестве планок $N_c = 7\ldots 8$ для транспортера длиной 2,5 м, что соответствует шагу планок на рабочей ветви 0,3...0,34 м. Анализ полученного уравнения регрессии (9) и соответствующей поверхности отклика показывает, что изменение исследуемых параметров от оптимального значения приводит к снижению производительности. Снижение производительности при уменьшении скорости цепи связано с уменьшением транспортирующей способности планок. С другой стороны, некоторое снижение Q наблюдается и при увеличении скорости больше оптимальных значений.

Увеличение v_u с 0,35 до 0,45 м/с способствует снижению производительности с 22,5 до 19,7 т/ч. Последнее обстоятельство связано с некоторым уменьшением заполнения межпланочного пространства, поскольку почвенный компонент не успевает его заполнить.

Проведением двухфакторного эксперимента получена экспериментальная зависимость крутящего момента на валу T , Н·м, от количества планок N_c и скорости цепи v_u . Зависимость описывается уравнением регрессии (10) и соответствующей поверхностью (рис. 4, см. обложку).

$$T = -896,743 + 2300,75v_u + 308,21N_c - 2101,75v_u^2 - 5,692v_u N_c - 17,215N_c^2. \quad (10)$$

Результаты экспериментальных исследований показывают, что крутящий момент постоянно возрастает до определенного значения по квадратичной зависимости с ростом скорости цепи v_u , а затем несколько снижается в зависимости от количества планок N_c . С увеличением скорости цепи с 0,13 до 0,22 м/с происходит рост крутящего момента на приводном валу с 239,7 до 294,2 Нм. Однако, интенсивность роста с увеличением скорости снижается.

При скорости до 0,3 м/с крутящий момент возрастает с большей интенсивностью. С увеличением количества планок крутящий момент первоначально сильно возрастает. При $N_c = 4$ $T = 244,1$ Нм; а при $N_c = 6$ $T = 356$ Нм. Однако, при количестве планок, равном 8, что соответствует шагу планок на рабочей стороне транспортера 0,31 м, рост крутящего момента прекращается, а при дальнейшем увеличении N_c происходит его некоторое снижение.

Проведенный анализ полученных результатов позволил установить количество планок $N_c = 7\ldots 8$, при которых крутящий момент T имеет максимальное значение (рис. 5, см. обложку). Рост крутящего момента с увеличением скорости обусловлен возрастанием суммарной массы компонентов, перемещаемой планками. Однако, при дальнейшем увеличении скорости планок рост крутящего момента замедляется, поскольку масса компонентов, которая может поступить в межпланочное пространство, имеет конечное значение. Возрастание крутящего момента с увеличением количества планок также объясняется увеличением перемещаемой массы компонентов. Чем больше планок, тем больше перемещаемая масса компонентов и, следовательно, выше сопротивление перемещению планок, что в свою очередь приводит к росту крутящего момента.

При большом количестве планок они занимают полезный объем транспортера, и уменьшают межпланочное пространство и перемещаемую массу компонентов. Данным обстоятельством объясняется стабилизация и некоторое снижение крутящего момента при количестве планок более 7-9 (шаг менее 0,3 м), что согласуется с представленными зависимостями на рис. 4 и 5 соответственно.

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований получены математические модели зависимости производительности и величины крутящего момента для цепочно-планчатого транспортера. Они имеют нелинейный характер и описываются соответствующими уравнениями регрессии второго порядка. По резуль-



татам статистической обработки построены трехмерные графики, имеющие область оптимальных значений, что позволило установить, что значение производительности составит 22,5 т/ч при скорости цепи 0,35 м/с и количестве планок 7. Необходимая приводная мощность $P = 1293,3$ Вт, энергоемкость $E = 190$ Дж/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние типа субстрата на содержание полисахаридов и фенольных соединений в томатах в условиях защищенного грунта / А.А. Аутко [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука. – 2004. – № 3. – С. 62–64.
2. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов П.Д. Теория и практика использования органических удобрений. – М.: ВО Агропромиздат, 1988. – 96 с.
3. Отдел агрономического сопровождения ООО «Питер Пит». Комфортный субстрат // Вестник овощевода. – 2016. – № 2. – С. 14–15.
4. Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. Комбинированный укладчик компонентов почвы для теплиц // Научная мысль. – 2016. – № 5. – С. 36–38.
5. Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. Использование комбинированного укладчика в технологической схеме приготовления органоминеральных смесей // Естественные и технические науки. – 2018. – № 11 (125). – С. 321–324.
6. Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. Результаты экспериментальных исследований комбинированного укладчика почвенных компонентов для теплиц // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 52–54.
7. Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. Исследование влияния конструктивных и

режимных параметров комбинированного укладчика на мощность привода рабочих органов // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 5. – С. 82–85.

8. Радченко Г.Е. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий протекания процесса. – Горки: Белорусская СХА, 1978. – 69 с.

9. Pavlov P. I., Demin E. E., Khakimzyanov R. R., Levchenko G. V., Vezirov A.O. Mechanization of soil preparation for greenhouses// International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018; No. 9(3):1023–1030.

10. Yong LI, Zhongxing YU, Yao SUN. Effects of Oyster Shell Soil Amendmenton fruit auality and soil chemical properties in greenhouse tomato acidic soils // Agricultural Science & Technology , 2016, Iss. 9, P. 2096–2098.

Павлов Павел Иванович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Везиров Александр Олегович, канд. техн. наук, докторант кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Мухин Дмитрий Вадимович, аспирант кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.
Тел.: (8452) 74-96-50.

Ключевые слова: субстрат; теплица; комбинированный укладчик; почвенные компоненты; цепной транспортер; скребковый рабочий орган.

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION AND OPERATING PARAMETERS OF THE COMBINED HANDLER OF SOIL COMPONENTS

Pavlov Pavel Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Mechanics and Engineering Graphics”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Vezirov Aleksandr Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Mechanics and Engineering Graphics”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Mukhin Dmitriy Vadimovich, Post-graduate Student of the chair “Mechanics and Engineering Graphics”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: substrate; greenhouse; handler; soil components; chain conveyor; scraper tool.

The results of experimental studies of the operation of the chain-slat conveyor of the combined handler are presented. The regression equations and the corresponding three-dimensional graphical dependencies are obtained, describing the influence of design and operating parameters on the performance and the magnitude of the torque on the drive shaft. The values of design and operating parameters at which the value of productivity will have a maximum value have been determined experimentally.

