

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЦЕПНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ И ПОГРУЗКИ ПОЧВЫ В ТЕПЛИЦАХ

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

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

КОРСАК Виктор Владиславович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЛЕВЧЕНКО Анастасия Владимировна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье приведены результаты экспериментального исследования новой машины для удаления и погрузки почвы в теплицах. Построены уравнения регрессии и соответствующие им графические зависимости. Установлены значения параметров работы, при которых достигается наибольшая производительность процесса удаления почвы из теплицы, а усилие для перемещения машины имеет минимальное значение.

Введение. Выращивание растений в условиях тепличного земледелия с применением грунтовой технологии требует использования больших объемов почвенных смесей. Сначала почва равномерно распределяется по поверхности пола теплицы, затем высаживаются растения, а после сбора урожая и удаления растительных остатков требуется удалить верхний, «отработанный» слой почвы. Для механизации данного процесса предлагается использовать прицепную машину для удаления и погрузки почвы [3, 5].

Цель исследования – экспериментально установить зависимости производительности и усилия для перемещения машины от режимных параметров, обосновать значение параметров, при которых величина производительность будет иметь максимальное значение.

Методика исследований. Для проведения эксперимента был изготовлен опытный образец прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.

На рис. 1 представлен общий вид опытного образца предлагаемой машины для удаления и погрузки почвы в теплицах [4].

Механизм навески закреплен на передней части, а механизм привода – на задней части верхней стенки ковша. Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габаритные размеры машины, сделать ее более компактной, что необходимо при работе в условиях теплиц. Работает прицепная машина следующим образом. При движении машины вслед за трактором тяговое усилие составным частям передается за счет несущей рамы 1. Ковш 3 внедряется в верхний слой почвы, расположенный на поверхности теплицы. По днищу ковша отделяемый слой почвы движется к транспортеру 2, который жестко соединен с ковшом посредством нижних

6 и верхних 7 тяг. Транспортер при движении опирается на несущую раму 1 и приводится в движение механизмом привода 5. Отделенный ковшом 3 слой почвы попадает на транспортер 2 и далее перемещается им в транспортное средство. Поскольку нижняя часть транспортера расположена за задней кромкой ковша, вся почва, отделенная ковшом, попадает на транспортер. Расположение механизма навески 4 и механизма привода 5 на верхней стенке 8 ковша 1 способствует компактности машины.

Процесс функционирования машины для удаления и погрузки почвы в теплицах находится в сложной зависимости от ряда факторов, каждый из которых влияет на эффективность работы машины [1, 2]. Поисковыми и теоретическими исследованиями, а также путем проведения предварительных экспериментов определены несколько факторов, оказывающих наибольшее влияние на критерии оптимизации: усилие F , H , на перемещение машины (тягового усилия) и производительность Q , кг/с. К ним относятся высота слоя почвы h , мм, скорость пере-

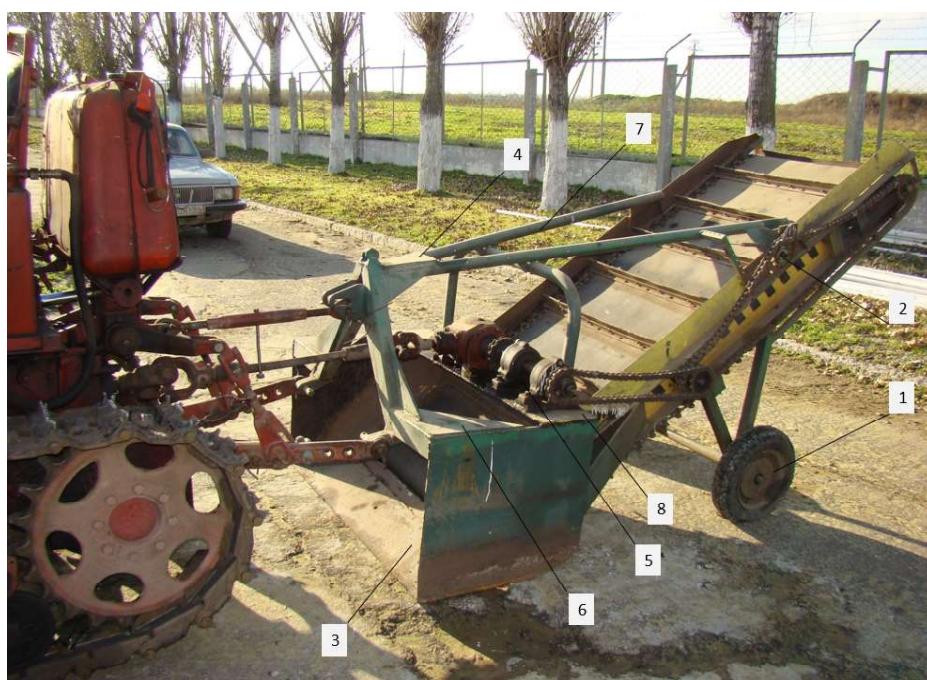


Рис. 1. Общий вид прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах:
1 – несущая рама, 2 – транспортер, 3 – ковш, 4 – механизм навески, 5 – механизм привода, 6 – нижние тяги, 7 – верхние тяги, 8 – верхняя стенка ковша



мешения машины v , м/с. Остальные факторы оказывают менее значимое влияние, поэтому в условиях данного исследования мы их рассматривать не будем.

При исследовании были проведены два двухфакторных эксперимента. В первом эксперименте изучали влияние высоты слоя почвы и скорости перемещения машины на величину тягового усилия, во втором – на производительности. Результаты экспериментов обрабатывали на ЭВМ с помощью пакета прикладных программ.

Результаты исследований. Данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, позволили получить уравнения регрессии и соответствующие им графические зависимости, описывающие полученные результаты. Получена зависимость усилия необходимого для перемещения машины при работе от высоты удаляемого слоя почвы и скорости перемещения в виде трехмерной поверхности (рис. 2).

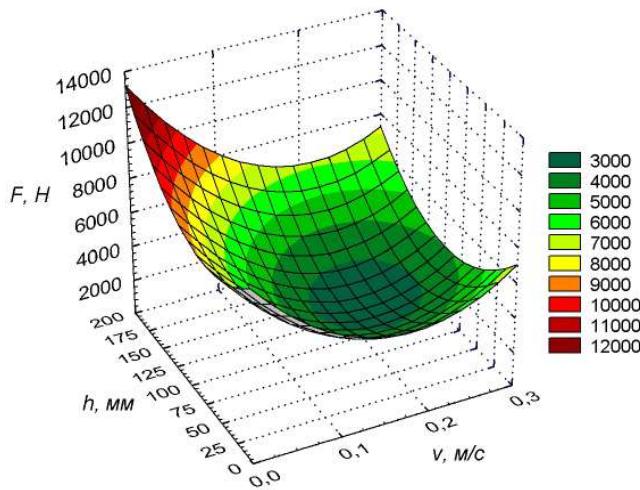


Рис. 2. Поверхность, характеризующая зависимость усилия для перемещения машины при работе от высоты слоя h , мм, и скорости перемещения v , м/с

Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет следующий вид:

$$F = 9855,697 - 54909,7v - 46,396h + 1,52 \cdot 10^5 v^2 - 52,563vh + 0,316h^2. \quad (1)$$

Анализ данного уравнения регрессии и соответствующей трехмерной поверхности (см. рис. 2) показывает наличие области минимальных значений усилия F по обоим исследуемым факторам.

Анализ данной зависимости показывает, что с ростом поступательной скорости движения машины усилие, необходимое для перемещения машины, вначале снижается. Затем при скорости 0,22...0,24 м/с достигает минимального значения, а при дальнейшем увеличении поступательной скорости выше 0,25 м/с начинает возрастать.

В целом, полученная зависимость усилия F машины для уборки почвы из теплиц от скорости v и имеет квадратичный характер. Сечения поверхности плоскостями параллельными координатным осям имеют форму парабол с точкой минимального значения. Такое изменение тягового усилия объясняется особенностями взаимодействия отвала и транспортера со слоем почвы. При малых значениях поступательной скорости машины

часть почвы прилипает к поверхности отвала, создавая дополнительное сопротивление, и частично смешается обратно в бурт. С увеличением скорости движения машины отделяемая почва скользит по поверхности отвала за счет уменьшения времени взаимодействия происходит снижение сопротивления отделению слоя от поверхности пола и соответственно уменьшение усилия F . Однако при дальнейшем увеличении скорости до значений более 0,2...0,25 м/с происходит возрастание инерционных сил, а также переполнение отвала отделяемой почвой. Поэтому усилие, необходимое для перемещения машины, возрастает.

Зависимость усилия, необходимого для перемещения машины, от высоты отделяемого слоя также имеет нелинейный характер. При высоте отделяемого слоя 20–90 мм усилие практически не меняется. Полученное уравнение регрессии и графическая зависимость показывают некоторое снижение F . Заметный рост усилия происходит при h более 100 мм. По данным эксперимента, при высоте $h = 60$ мм и скорости машины 0,17 м/с усилие составляет 2820 Н, а при высоте $h = 100$ мм усилие $F = 2896$ Н. Увеличение высоты со 100 до 140 мм приводит к росту усилия до 3370 Н.

Дальнейшее увеличение высоты слоя приводит к более интенсивному росту необходимого тягового усилия. Такое изменение усилия для перемещения машины в процессе работы связано с тем, что при высоте слоя до 50–90 мм сопротивление от почвы ненамного превышает усилие, необходимое для перемещения самой машины на холостом ходу. При высоте слоя более 90 мм сопротивление отделяемой и удаляемой почвы значительно возрастает. Чем больше высота слоя, тем больше сопротивление внедрению отвала машины. Анализ графической зависимости показывает наличие области оптимума. Аналитическое решение уравнения регрессии позволяет определить границы оптимальных значений (рис. 3). Оптимальные значения исследуемых параметров, при которых усилие для перемещения машины имеет минимальное значение, составляют: скорость перемещения 0,18...0,22 м/с; высота снимаемого слоя почвы 90...120 мм.

Исследование влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на производительность работы машины для удаления почвы проводилось по двухфакторному плану. В результате обработки эксперимента получено уравнение регрессии (2) и соответствующая графическая зависимость (рис. 4).

$$Q = 0,052 + 35,068v + 0,01h - 108,854v^2 + 0,26vh + 5,195 \cdot 10^{-5}h^2. \quad (2)$$

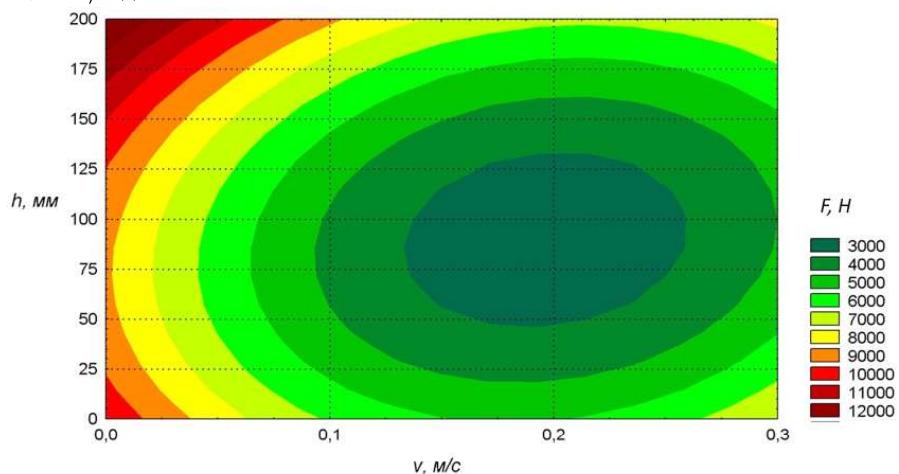


Рис. 3. Оптимальные значения скорости перемещения и высоты снимаемого слоя почвы по усилию для перемещения машины

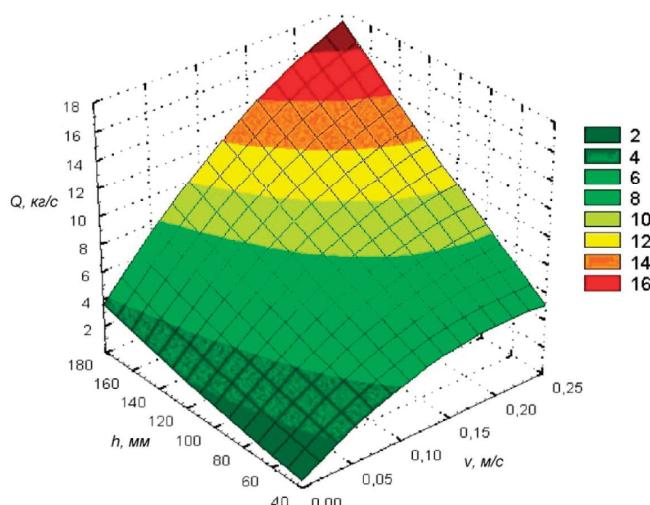


Рис. 4. Графическая зависимость производительности машины для удаления почвы от высоты слоя почвы и поступательной скорости

Полученное уравнение регрессии и графическая зависимость позволяют сделать вывод, что производительность возрастает с увеличением исследуемых параметров. С увеличением высоты слоя производительность возрастает практически прямо пропорционально при всех значениях поступательной скорости. Согласно полученным по результатам эксперимента данным, при скорости машины 0,11 м/с увеличение высоты слоя со 100 до 140 мм приводит к увеличению производительности с 7,1 до 8,9 кг/с, т.е. на 25,3 %. При той же скорости увеличение высоты убираемого слоя со 140 до 180 мм приводит к росту производительности с 8,9 до 11,6 кг/с (на 30,3 %), что подтверждает характер зависимости, близкий к прямолинейному.

Зависимость от поступательной скорости носит более сложный характер. Увеличение скорости с 0,05 до 0,11 м/с при высоте слоя почвы 100 мм увеличивает производительность с 4,5 до 7,1 кг/с, т.е. на 36,6 %. В то же время увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с приводит к увеличению производительности с 9,0 до 10,3 кг/с, т.е. на 14,4 %. Аналогичные зависимости имеют место и при других высотах удаляемого слоя почвы. Уравнение регрессии адекватно описывает результаты эксперимента квадратичной зависимостью. Соответствие уравнения регрессии экспериментальным данным проверялось по критерию Фишера.

Рост производительности при увеличении поступательной скорости и высоты слоя обусловлен увеличением поступающего к машине в единицу времени объема почвы. Соответственно увеличивается масса удаляемой и отгружаемой в единицу времени почвы. Нелинейный характер зависимости производительности от поступательной скорости связан с тем, что при заданной высоте слоя ограничен поступающий объем,

т.е. производительность не может быть выше подаваемой к машине в единицу времени массы почвы.

Графическая зависимость на рис. 4 показывает отсутствие явной области оптимума. Максимальная производительность 16,4 кг/с получена при наибольших значениях исследуемых параметров: скорость 0,23 м/с, тяговое усилие 4906 Н.

Заключение. В результате исследований обоснованы величины наиболее значимых параметров работы машины, при которых значение производительности будет максимальным. Однако при данных параметрах будет иметь место и максимальная мощность на привод машины. Поэтому для обоснования рациональных значений необходимо дальнейшее исследование влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины, на такой дифференциальный показатель эксперимента, как энергоемкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Везиров А.О. Повышение эффективности технологического процесса приготовления почвенных смесей путем обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2013. – 126 с.
2. Дзюбан И.Л. Повышение эффективности приготовления органоминерального компоста путем обоснования параметров рабочих органов погрузчика-смесителя: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2015. – 167 с.
3. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве / П.И. Павлов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 51–33.
4. Павлов П.И., Везиров А.О., Левченков Г.В., Ракутина А.В. Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах: пат. РФ №2621041. 2016.
5. 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.

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

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

Корсак Виктор Владиславович, д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Инженерные изыскания, природообустройство и водопользование», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Левченко Анастасия Владимировна, аспирант кафедры «Математика, 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: производительность; тяговое усилие; почва; почвенный слой; теплица.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A TRAILED MACHINE FOR SOIL REMOVING AND LOADING IN GREENHOUSES

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

Korsak Victor Vladislavovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the chair "Engineering Surveys, Environmental Engineering and Water Management", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Levchenko Anastasia Vladimirovna, Post-graduate Student of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graph-

hic", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Keywords: productivity; tractive effort; the soil; soil layer; greenhouse.

The article presents the results of an experimental study of a new machine for soil removing and loading in greenhouses. The regression equations and the corresponding graphical dependencies are plotted. The values of the work parameters have been established, at which the highest productivity of the process of soil removing from the greenhouse is achieved, and the effort to move the machine has a minimum value.

