РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ И ПОГРУЗКИ ПОЧВЫ В ТЕПЛИЦАХ

*А.О. Везилов, кандидат техн. наук; П.И. Павлов, доктор техн. наук, профессор;
А.В. Левченко, аспирант; В.В. Корсак, доктор с.-х. наук, профессор*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», г.Саратов, Россия, тел.: +7 (8452) 74-96-50; e-mail: vezirov2008@mail.ru

Выращивание овощей в теплицах позволяет собирать частые урожаи и круглогодично обеспечивать население свежей продукцией. В последнее время, особенно с развитием органического земледелия, наряду с гидропонной широко используется грунтовая технология, при которой растения выращиваются на специально приготовленных почвенных смесях, состоящих из естественных природных компонентов. Использование этой технологии предполагает периодическую замену верхнего (санитарного) слоя почвы в теплицах. Специализированных машин для выполнения операции по удалению санитарного слоя практически не существует, а для выполнения этой технологической операции в хозяйствах используют неприиспособленные машины и оборудование. Для выполнения данной операции предложена новая конструкция прицепной машины для удаления и погрузки почвы. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния режимных параметров на энергоемкость процесса удаления и погрузки почвы, а также установлен характер зависимости мощности, необходимой на привод машины, от режимных параметров. Полученные результаты позволили установить фактические значения режимных параметров, при которых значения энергоемкости и мощности примут рациональные величины, что позволяет установить эффективность предложенной конструкции машины, тем самым, полностью механизировать процесс удаления и погрузки почвы в теплицах.

Ключевые слова: мощность, энергоемкость, почвенные смеси, субстрат, теплица.

Введение

Технология возделывания растений на грунтовой культуре (в качестве корнеобитаемой среды используют почвенные смеси, состоящие из естественных природных компонентов) в условиях тепличного производства получила большое распространение [1]. Данный способ выращивания растений обеспечивает получение овощной продукции с улучшенными товарно-вкусовыми качествами [2-6].

Одним из самых трудоемких этапов данной технологии является периодическая смена верхнего санитарного («отработанного») слоя почвы после завершения периода вегетации растений и уборки растительных остатков. После нескольких лет повторного выращивания растений в почве увеличивается популяция грибов и бактерий, возрастает ее засоленность и уменьшается пористость и влагоемкость, что приводит к деградации почвенного слоя [7-8]. Высота срезаемого слоя составляет 0,10-0,15 м, что обуславливает большие объемы почвы, которые необходимо удалить и вывести из помещения теплицы.

Данный технологический процесс характеризуется большой энергоемкостью выполняемых работ и значительным

количеством привлекаемого обслуживающего персонала.

В настоящее время специальных машин и агрегатов для данной операции серийно не производится. В отечественных хозяйствах удаление почвы выполняют неспециализированные машины или специально приспособленные агрегаты с применением ручного труда.

Разработка средств механизации для удаления «отработанного» слоя почвы в теплицах, позволяющей снизить энергозатраты и свести к минимуму применение ручного труда, представляет научную проблему, решение которой будет способствовать инновационному развитию отрасли органического земледелия.

Цель исследования – установить характер влияния режимных параметров на показатели эффективности машины для удаления и погрузки почвы. Определить значение режимных параметров, при которых значение энергоемкости процесса удаления и погрузки почвы будет минимальным.

Методы и материалы

Для решения данной научной проблемы была разработана, спроектирована и изготовлена экспериментальная

прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах [9-10].

На рисунке 1 представлен общий вид прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах [11]. Особенностью конструкции является механизм навески, который закреплен на передней части, а механизм привода – на задней части верхней стенки ковша. Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габариты машины, что позволяет использовать для удаления почвы, в том числе и в зимних теплицах. Отгрузочный транспортер позволяет одновременно с удалением осуществлять погрузку почвы в транспортное средство с последующим транспортированием из теплицы. 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 дну ковша отделенный 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.

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

Рис. 2. Экспериментальный образец прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах

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 [12-13].

На основании поисковых и теоретических исследований в качестве критериев оптимизации были определены: энергоёмкость процессов удаления и погрузки почвы E (Дж/кг) и мощность, необходимая для привода машины P (Вт).

При проведении исследований невозможно определить влияние всех факторов на процесс и их взаимодействия между собой. Руководствуясь конкретными задачами исследований и на основании априорной информации, выбрали основные интервалы выделенных факторов и уровни их

варьирования (табл. 1). Поисковыми опытами проведено ранжирование факторов, на основании которых установлено наибольшее влияние на критерии оптимизации высоты слоя почвы h (мм) и скорости перемещения машины v (м/с). Остальные факторы оказывают меньшее влияние, поэтому в условиях данного исследования не учитывались.

Испытания проводились на базе тепличного комбината АО «Совхоз-Весна» Саратовского района Саратовской области.

Методика экспериментальных исследований включала два двухфакторных эксперимента. В результате проведения экспериментов получены зависимости показателей эффективности работы машины – критериев оптимизации от выбранных факторов.

Таблица 1

Факторы, влияющие на процесс удаления и погрузки почвы

Наименование фактора	Уровень фактора				Интервал варьирования
v – скорость перемещения машины, м/с	0,5	0,11	0,17	0,23	0,6
h – высота слоя почвы, мм	60	100	140	180	40

Результаты исследований

Первым двухфакторным экспериментом исследовано влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на мощность, необходимую для привода машины.

Полученные экспериментальные данные позволили установить влияние высоты слоя почвы и поступательной скорости на мощность, необходимую для привода поступательного движения машины при

удалении почвы из помещения теплиц. Получены значения, по которым построено уравнение регрессии:

$$P = 6443,37 - 479,61 \cdot v - 84,651 \cdot h + 17413,2 \cdot v^2 + 162,321 \cdot v \cdot h + 0,377 \cdot h^2. \quad (1)$$

Графически данное уравнение представлено в виде трехмерной поверхности на рисунке 3.

Рис. 3. Влияние высоты слоя h (мм) и скорости перемещения машины v (м/с) на мощность, затрачиваемую на перемещение машины.

Анализ полученной зависимости влияния исследуемых параметров показывает, что мощность, затрачиваемая на перемещение машины, возрастает во всем исследуемом диапазоне скорости перемещения. Изменение мощности происходит практически по линейному закону, при этом интенсивность возрастает с увеличением высоты отделяемого слоя. При высоте отделяемого слоя почвы 60 мм увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с приводит к росту мощности с 4043 до 4794 Вт, т.е. на 18,6 %. При высоте слоя 100 мм увеличение скорости в указанном диапазоне приводит к росту мощности с 3983 до 4923 Вт, т.е. на 23,6 %.

Аналогичный характер изменения и при других значениях исследуемых параметров. Такое влияние исследуемых параметров связано с тем, что при увеличении как скорости, так и высоты слоя, возрастает перемещаемая масса, что увеличивает мощность, необходимую для перемещения.

Однако, изменение мощности от высоты слоя имеет не линейный характер. При небольшой высоте слоя мощность практически остается постоянной, при увеличении высоты слоя почвы более 80-100 мм начинает интенсивно возрастать. Уравнение регрессии и соответствующая ему графическая зависимость показывает отсутствие области оптимума. С увеличением исследуемых параметров необходимая приводная мощность возрастает.

По результатам исследований мощности, необходимой для привода машины, получены данные для энергоемкости процесса удаления из теплиц санитарного слоя почвы. По значениям построено уравнение регрессии (2) и двумерная графическая зависимость (рис. 4):

$$E = 1648,127 - 2786,11 \cdot v - 14,116 \cdot h + 8923,61 \cdot v^2 + 2,625 \cdot v \cdot h + 0,051 \cdot h^2. \quad (2)$$

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

Рис. 5. Область оптимальных значений скорости перемещения и высоты снимаемого слоя почвы по энергоемкости

Анализ полученного уравнения регрессии и соответствующей ему графической интерпретации показывает, что существует область оптимальных значений, при которых энергоёмкость процесса минимальна. Уменьшение или увеличение исследуемых параметров от оптимальных значений приводит к росту энергоёмкости.

Математическое и графическое решение уравнения регрессии позволяет определить диапазон значений параметров, соответствующих области минимальной энергоёмкости (рис. 5). Для поступательной скорости оптимальные значения составляют 0,14-0,16 м/с. Оптимальная высота удаляемого слоя почвы составляет 0,13-0,15 м, что соответствует толщине санитарного слоя грунта в теплицах.

Такой характер изменения энергоёмкости обусловлен влиянием изменения приводной мощности. При поступательной скорости машины менее 0,1 м/с мощность для привода остается практически такой же или снижается менее интенсивно (рис. 4), что приводит к росту энергоёмкости. С другой стороны, при увеличении скорости более 0,15 м/с рост необходимой мощности привода происходит более интенсивно, чем рост производительности, что так же обуславливает увеличение энергоёмкости. Согласно экспериментальным данным, при

скорости машины 0,17 м/с и высоте удаляемого слоя 140 мм, энергоёмкость процесса составляет 507 Дж/кг. С ростом скорости машины до 0,23 м/с энергоёмкость возрастает до 598 Дж/кг.

В тоже время снижение скорости до 0,05 м/с приводит к ее возрастанию до 585 Дж/кг. Аналогичная зависимость имеет место и при изменении высоты удаляемого слоя. При высоте снимаемого слоя 180 мм и выше указанной скорости энергоёмкость возрастает до 596 Дж/кг. Уменьшение высоты слоя до 60 мм приводит к росту энергоёмкости до 799 Дж/кг. Изменение энергоёмкости обусловлено влиянием исследуемых параметров на мощность, необходимую для привода и производительность машины.

Заключение

Таким образом, рациональные по энергоёмкости значения поступательной скорости машины при удалении почвенного слоя из теплиц и высоты удаляемого слоя почвы составляют 0,12-0,17 м/с и 0,13-0,15 м соответственно.

Для дальнейшего обоснования параметров прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах требуется исследовать и определить значения мощности и энергоёмкости при оптимальных параметрах.

Литература

1. Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs. Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 2010, № 46 (3), p. 215-223.
2. Козловская И.П., Развитие растений томата на органических субстратах при малообъемном способе выращивания в зимних теплицах. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука, 2002, № 3, с. 49-52.
3. Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., [и др.]. Влияние типа субстрата на содержание полисахаридов и фенольных соединений в томатах в условиях защищенного грунта. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука, 2004, № 3, с. 62-64.
4. Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А. [и др.]. Влияние погодных условий и типа субстрата на биологический состав томатов в тепличных хозяйствах Беларуси. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука, 2003, № 3, с. 49-56.
5. Отдел агрономического сопровождения ООО «Питер Пит». Комфортный субстрат. Вестник овощевода, 2016, № 2, с. 14-15.
6. Almeida R. F., Queiroz I.D.S., Mikhael J.E.R., Oliveira R.C., Borges E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2019, № 8 (Suppl 1), p. 203-210.
7. Liang Y., Lin X., Yamada S. Soil degradation and prevention in greenhouse production. SpringerPlus, 2013, № 2, p. 1-10.
8. Hupenyu A.M., Mkeni P.N.S. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. Environmental Science and Pollution Research, 2018, № 25 (11), p. 10577-10595.
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, № 9 (3), p. 1023-1030.
10. Павлов П.И., Везиров А.О., Ракутина А.В., Мухин Д.В. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве. Аграрный научный журнал, 2016, № 7, с. 51-53.

11. Патент РФ № 2621041. Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах. П.И. Павлов, А.О. Везилов, Г.В. Левченко, А.В. Ракутина. Оpubл. 31.05.2017, Бюл. № 11.

12. Дзюбан И.Л. Повышение эффективности приготовления органоминерального компоста путем обоснования параметров рабочих органов погрузчика-смесителя: диссертация кандидата технических наук. Саратов, 2015, 167 с.

13. Везилов А.О. Повышение эффективности технологического процесса приготовления почвенных смесей путём обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя: диссертация кандидата технических наук. Саратов, 2013, 126 с.

UDC 631.311.86

DOI 10.36461/NP.2020.56.3.020

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF SOIL REMOVAL AND LOADING IN GREENHOUSES

A.O. Vezirov, PhD in Technical Sciences; P.I. Pavlov, Doctor of Technical Sciences, professor; A.V. Levchenko, post-graduate student; V.V. Korsak, Doctor of Agricultural Sciences, professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov", Russia, Saratov, phone: +7 (8452) 74-96-50;
e-mail: vezirov2008@mail.ru

Growing vegetables in greenhouses allows having frequent harvests and provides the population with fresh produce year-round. Nowadays, especially with the development of organic farming, along with hydroponic farming, soil technology is widely used, plants being grown on specially prepared soil mixtures consisting of natural components. The use of this technology involves the periodic replacement of the upper (sanitary) soil layer in greenhouses. There are practically no specialized machines for performing the operation to remove the sanitary layer, and unadapted machines and equipment are used to perform this technological operation on farms. To perform this operation, a new design of a trailed machine for removing and loading soil has been proposed. The results of experimental studies of the influence of operating parameters on the energy intensity of the process of removing and loading soil are presented, and the nature of the dependence of the power required to drive the machine on operating parameters has been established. The results obtained made it possible to establish the actual values of the operating parameters at which the values of energy intensity and power take rational values, which makes it possible to establish the effectiveness of the proposed machine design, thereby completely mechanizing the process of removing and loading soil in greenhouses.

Keywords: power, energy intensity, soil mixtures, substrate, greenhouse.

References

1. Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs. Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 2010, № 46 (3), p. 215-223.
2. Kozlovskaya I.P. Development of tomato plants on organic substrates with a small-volume method of growing in winter greenhouses. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series, 2002, № 3, p. 49-52.
3. Autko A.A., Rupasova Zh.A., Ignatenko V.A. [et al.]. The influence of the type of substrate on the content of polysaccharides and phenolic compounds in tomatoes under protected ground conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series, 2004, № 3, p. 62-64.
4. Autko A.A., Rupasova Zh.A., Ignatenko V.A. [et al.]. The influence of weather conditions and the type of substrate on the biological composition of tomatoes in greenhouse farms in Belarus. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series, 2003, № 3, p. 49-56.
5. Department of agronomic support of OOO "Peter Peet" (LLC). Comfortable substrate. Vestnik Ovoshchevoda, 2016, № 2, p. 14-15.
6. Almeida R. F., Queiroz I.D.S., Mikhael J.E.R., Oliveira R.C., Borges E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2019, № 8 (Suppl 1), p. 203-210.
7. Liang Y., Lin X., Yamada S. Soil degradation and prevention in greenhouse production. SpringerPlus, 2013, № 2, p. 1-10.

8. Hupenyu A.M., Mnkeni P.N.S. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, № 25 (11), p. 10577-10595.
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, № 9 (3), p. 1023-1030.
10. Pavlov P.I., Vezirov A.O., Rakutina A.V., Mukhin D.V. Complex of machines for working with soil in greenhouse production. *The Agrarian Scientific Journal*, 2016, № 7, p. 51-33.
11. RF patent No. 2621041. Trailed machine for removing and loading soil in greenhouses. P.I. Pavlov, A.O. Vezirov, G.V. Levchenko, A.V. Rakutina. Publ. 05/31/2017, Bul. № 11.
12. Dzyuban I.L. Increasing the efficiency of preparation of organic-mineral compost by substantiating the parameters of the working bodies of a loader-mixer: dissertation of the candidate of technical sciences. Saratov, 2015, 167 p.
13. Vezirov A.O. Increasing the efficiency of the technological process of preparing soil mixtures by substantiating the design and operating parameters of the loader-mixer: dissertation of the candidate of technical sciences. Saratov, 2013, 126 p.