

УДК 631.311.86
Код ВАК 05.20.01

DOI: 10.52463/22274227_2021_40_53

А.О. Везилов, П.И. Павлов, А.В. Левченко, В.В. Корсак

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ И ПОГРУЗКИ ТЕПЛИЧНОГО ГРУНТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА», САРАТОВ, РОССИЯ

A.O. Vezirov, P.I. Pavlov, A.V. Levchenko, V.V. Korsak

INFLUENCE OF DESIGN AND OPERATING PARAMETERS ON THE POWER
CHARACTERISTICS OF THE GREENHOUSE SOIL REMOVAL AND LOADING MACHINE
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL UNIVERSITY OF HIGHER EDUCATION «SARATOV STATE
AGRARIAN UNIVERSITY NAMED AFTER N.I. VAVILOV», SARATOV, RUSSIA

Александр Олегович Везилов

Aleksandr Olegovich Vezirov
кандидат технических наук
ORCID: 0000-0001-9117-1267
AuthorID: 743020
vezirov2008@mail.ru

Павел Иванович Павлов

Pavel Ivanovich Pavlov
доктор технических наук, профессор
AuthorID: 623826
pavlovsgau@yandex.ru

Анастасия Владимировна Левченко

Anastasia Vladimirovna Levchenko
gvlevchenko@mail.ru

Виктор Владиславович Корсак

Victor Vladislavovich Korsak
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
AuthorID: 352371
vvcorsac@rambler.ru

Аннотация. Особенность органического способа выращивания растений в теплицах состоит в использовании специально подготовленного тепличного грунта, состоящего из компонентов естественного происхождения. В процессе эксплуатации теплиц возникает необходимость смены верхнего слоя тепличного грунта. Для выполнения данной операции предложена новая конструкция прицепной машины для удаления и погрузки тепличного грунта. **Цель исследования** – вычислить и обосновать значения конструктивных и режимных параметров, при которых значение тягового усилия и мощности, необходимой на привод рабочих органов, достигает минимальных значений. **Методика.** Изготовили опытный образец машины для удаления и погрузки тепличного грунта. Провели двухфакторный эксперимент. В качестве факторов были определены конструктивный параметр (угол наклона поверхности отвала) и режимный (скорость перемещения машины). **Результаты.** Приведены результаты экспериментальных исследований, на основании которых выявлен характер влияния конструктивных и режимных параметров на усилие, требуемое для перемещения машины (тяговое усилие), и мощность, необходимую для привода рабочих органов. **Научная новизна.** Получены уравнения регрессии и соответствующие им трехмерные поверхности отклика. Результаты исследований позволяют констатировать, что наименьшее значение тягового усилия и мощности, необходимой на привод рабочих органов, достигается при значении угла наклона поверхности отвала 24–26 градусов и скорости перемещения машины 0,19–0,21 м/с. Полученные результаты позволили установить эффективность работы машины для удаления и погрузки тепличного грунта предложенной конструкции.

Ключевые слова: отвал, скорость передвижения, уравнение регрессии, мощность, почвенные смеси, субстрат, теплица.

Abstract. The specific feature of the organic method of plants cultivation in greenhouses is the use of specially prepared greenhouse soil consisting of components of natural origin. There is a need to change the top layer of greenhouse soil during the operation of greenhouses. To perform this operation, a new design of a trailed machine for removal and loading greenhouse soil is proposed. **Research objective** – calculate and substantiate the values of the design and operating parameters at which the value of the tractive effort and power required to drive the working bodies reaches the minimum values. **Methodology.** We made a prototype of a machine for removing and loading warm-personal soil. Conducted a two-factor experiment. As factors, the design parameter was determined - the angle of inclination of the blade surface and the operating parameter - the speed of the machine. **Results.** The nature of the influence of design and operating parameters on the force required to move the machine (traction force) and the power required to drive the working bodies is revealed based on the results of experimental studies presented here. **Scientific novelty.** Regression equations and corresponding three-dimensional response surfaces are obtained. The results of experimental studies allow to state that the lowest value of the traction force and the power required to drive the working bodies is achieved when the angle of inclination of the blade surface is 24–26 degrees and the speed of movement of the machine is 0.19–0.21 m/s. The results obtained allowed us to establish the efficiency of the greenhouse soil removal and loading machine of the proposed design.

Keywords: bucket blade, travel speed, regression equation, power, tractive effort, soil mixtures, substrate, greenhouse.

Введение. Органическое выращивание овощной продукции в теплицах, требующее использование специально подготовленного тепличного грунта, распространено повсеместно [1]. Данный способ выращивания растений обеспечивает получение овощной продукции с улучшенными товарно-вкусовыми качествами [2-6]. Но использование данной технологии требует периодической замены верхнего (санитарного) слоя тепличного грунта (высота срезаемого слоя 0,10-0,15 м) на новый. Если же эту замену не производить, то происходит деградация грунта и снижается урожайность [7, 8]. В настоящее время специальных машин, облегчающих процесс удаления грунта, практически не существует. Для этой операции используют непригодные технические средства с привлечением большого количества обслуживающего персонала, что ведет к увеличению расходов и, как следствие, увеличению цены готовой продукции.

Разработка средств механизации для удаления санитарного слоя тепличного грунта, позволяющих снизить энергозатраты и свести к минимуму применение ручного труда, представляет научную проблему, решение которой будет способствовать инновационному развитию отрасли тепличного органического земледелия [9, 10].

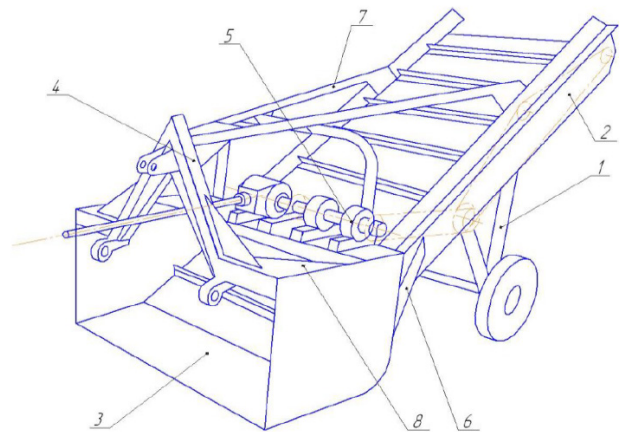
Цель исследований – установить характер влияния режимных и конструктивных параметров на показатели эффективности машины для удаления и погрузки тепличного грунта. Определить оптимальные значения данных параметров, при которых значение усилия F (Н) на перемещение машины (тягового усилия) и мощности, необходимой для привода P (Вт) машины, будут минимальными.

Методика. Для решения данной научной проблемы была разработана, спроектирована и изготовлена экспериментальная прицепная машина для удаления и погрузки тепличного грунта, представленная на рисунке 1 [11-13].

Процесс функционирования машины находится в сложной зависимости от ряда факторов, каждый из которых влияет на эффективность работы машины – критерии оптимизации [14, 15]. На основании поисковых и теоретических исследований в качестве силовых критериев оптимизации были определены: усилие F (Н) на перемещение машины (тяговое усилие) и мощности, необходимой для привода машины P (Вт).

При проведении исследований невозможно установить влияние всех факторов на процесс и их взаимодействие между собой [16]. Поисковыми опытами проведено ранжирование

факторов, на основании которого установлено, что наибольшее влияние на критерии оптимизации оказывают значения угла наклона поверхности отвала γ (градусы) и скорость перемещения машины v (м/с). Руководствуясь конкретными задачами эксперимента, а также на основании данных, полученных в результате ранее проведенных исследований, были определены уровни варьирования факторов (таблица) [9]. Остальные факторы оказывают меньшее влияние, поэтому в условиях данного исследования могут не учитываться.



1 – несущая рама, 2 – транспортер, 3 – отвал, 4 – механизм навески, 5 – механизм привода, 6 – нижние тяги, 7 – верхние тяги, 8 – верхняя стенка отвала

Рисунок 1 – Общий вид прицепной машины для удаления и погрузки тепличного грунта

Таблица – Факторы, влияющие на процесс удаления и погрузки тепличного грунта

Наименование фактора	Уровень фактора				Интервал варьирования
	0,5	0,11	0,17	0,23	
v – скорость перемещения машины, м/с	0,5	0,11	0,17	0,23	0,6
γ – угол наклона поверхности отвала, град.	20	25	30	35	5

Испытания экспериментального образца проводились на базе тепличного комбината АО «Совхоз-Весна» Саратовского района Саратовской области (рисунок 2).

Методика экспериментальных исследований включала два двухфакторных эксперимента. В результате проведения экспериментов установлены зависимости показателей критериев оптимизации от выбранных факторов.

Результаты. Первым двухфакторным экспериментом исследовалось влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности отвала на усилия F (Н) на перемеще-

ние машины – тягового усилия или сопротивления.



Рисунок 2 – Экспериментальный образец прицепной машины для удаления и погрузки тепличного грунта

Проведенные экспериментальные исследования и полученные опытные данные позволили получить уравнение регрессии и соответствующую графическую зависимость, описывающую полученные результаты. На рисунке 3 представлена зависимость усилия, необходимого для перемещения машины при работе от угла наклона поверхности отвала и скорости перемещения, в виде трехмерной поверхности.

Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет вид:

$$F = 14507,7 - 65712,35u - 439,168y + 1,5910^5u^2 + 204,5uy + 7,907y^2 \quad (1)$$

Анализ уравнения регрессии и соответствующей ему трехмерной поверхности (рисунок 3) показывает наличие области минимальных значений усилия F по обоим исследуемым факторам.

Аналитическое решение уравнения 1 показывает, что точка минимума при $y = 25^\circ$ будет равна:

$$F = 14507,7 - 65712,35u - 10979,2 + 1,5910^5u^2 + 204,5u \cdot 25 + 7,907 \cdot 25^2$$

$$F' = -65712,35 + 3,18 \cdot 10^5u + 5112,5u$$

$$F' = -65712,35 + 323112,5 \cdot u$$

Минимум усилия для перемещения машины будет достигаться при скорости 0,2034 м/с. Аналогично можно определить, при каком значе-

нии угла наклона поверхности отвала y значение усилия будет минимальным.

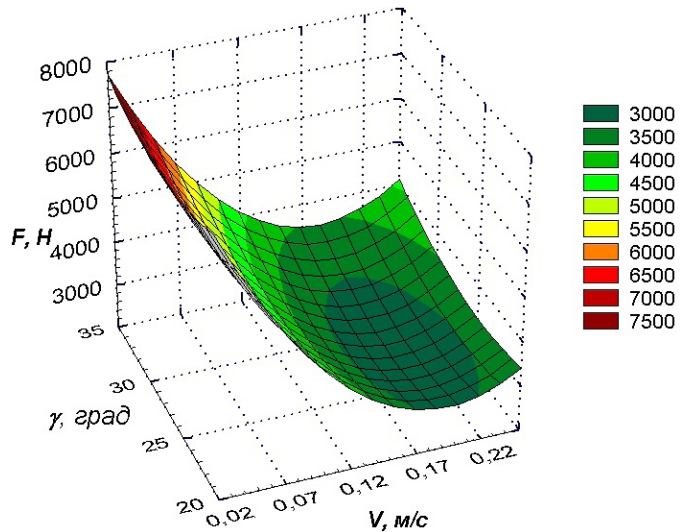


Рисунок 3 – Поверхность, характеризующая зависимость усилия для перемещения машины при работе от угла наклона поверхности отвала y (град) и скорости перемещения v (м/с)

Точка минимума при $u = 0,2034$ м/с:

$$F = 14507,7 - 65712,35 \cdot 0,2034 - 439,168y + 1,59 \cdot 10^5 \cdot 0,2034^2 + 204,5 \cdot 0,2034y + 7,907y^2$$

$$F' = -397,57 + 15,814y$$

Минимум уравнения 1 имеет место при угле $25,14^\circ$. Таким образом, область минимальных значений необходимого тягового усилия расположена (рисунок 4) при значениях исследуемых факторов: угла наклона поверхности отвала $24 \dots 26$ градусов, скорости перемещения машины $0,19 \dots 0,21$ м/с. Изменение исследуемых факторов от указанных значений приводит к росту необходимого тягового усилия для перемещения машины.

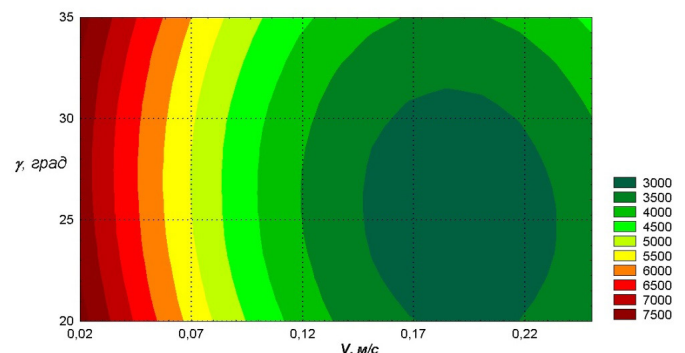


Рисунок 4 – Область оптимальных значений угла наклона поверхности отвала y (град) и скорости перемещения v (м/с) по тяговому усилию для перемещения машины

При значениях поступательной скорости машины меньше ранее указанных значений часть грунта прилипает к поверхности отвала, создавая дополнительное сопротивление. Грунт скапливается перед отвалом, что также увеличивает необходимое усилие для перемещения.

С увеличением скорости движения машины отделяемый грунт не успевает налипнуть на поверхность, скользит по поверхности отвала, происходит снижение сопротивления отделению слоя от поверхности пола и, соответственно, уменьшение необходимого тягового усилия. При скорости более 0,19-0,21 (м/с) увеличивается составляющая от сил инерции. Кроме того, увеличивается заполнение отгрузочного транспорта отделяемым грунтом, не весь грунт сразу захватывается транспортером и скапливается на поверхности отвала, усилие, необходимое для перемещения машины возрастает.

Влияние угла наклона поверхности отвала на усилие, необходимое для перемещения машины, также имеет нелинейный характер. Кривизна сечений поверхности отклика параллельных оси v не так велика, как для поступательной скорости. При угле наклона менее 24 градусов усилие практически не меняется. Полученное уравнение регрессии и графическая зависимость показывают некоторое увеличение F . Значительный рост усилия, необходимого для перемещения машины, происходит при угле наклона более 26 градусов. По данным эксперимента, при угле наклона поверхности отвала $\gamma=20$ градусов и скорости перемещения 0,11 м/с усилие составляет 6292 Н, а при угле наклона поверхности отвала $\gamma=25$ градусов усилие $F=5958$ Н. Увеличение угла с 30 мм до 35 градусов приводит к росту усилия до 6394 Н.

Такое изменение необходимого усилия для работы машины в процессе удаления слоя грунта обусловлено тем, что при угле наклона до 25 градусов увеличивается длина поверхности отвала. В этом случае также увеличивается длина скольжения отделенного грунта по поверхности отвала, что и приводит к некоторому возрастанию усилия для движения машины. При угле наклона более 26 градусов сопротивление внедрению отвала машины увеличивается, поскольку появляется эффект «бульдозера» – отделяемый грунт начинает скапливаться перед отвалом. Чем больше угол наклона поверхности, тем большее количество грунта смещается обратно к бурту. При больших углах наклона грунт значительной частью будет не попадать на транспортер, а сталкиваться отвалом по принципу, ана-

логичному работе бульдозера. Таким образом, существует оптимальный угол наклона поверхности отвала $\gamma=25,14^\circ$, при котором обеспечивается эффективное удаление слоя тепличного грунта, а тяговое усилие для перемещения машины при этом имеет наименьшее значение.

Вторым двухфакторным экспериментом исследовалось влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности отвала на мощность P (Вт), затрачиваемую на перемещение машины (мощность привода).

В результате обработки экспериментальных данных получены значения, по которым построено уравнение регрессии (2).

$$P = 5740,316 + 18869,3u - 291,654u^2 - 13732,64u^2 + 85,833uv + 5,438v^2 \quad (2)$$

Графически данное уравнение представлено в виде трехмерной поверхности на рисунке 5.

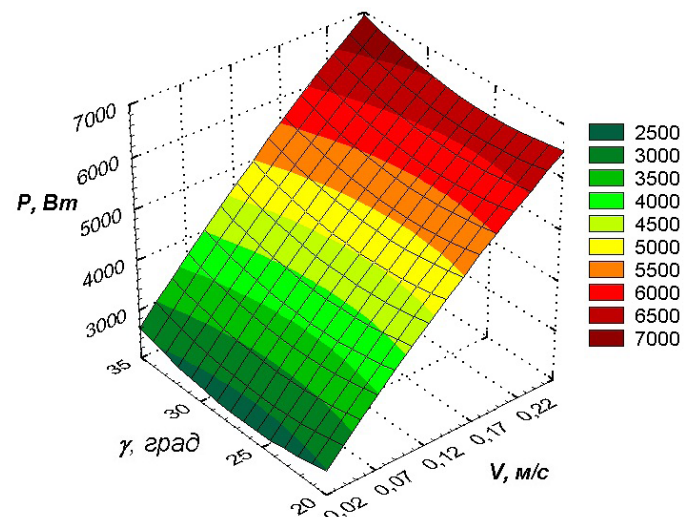


Рисунок 5 – Влияние угла наклона поверхности отвала γ (град) и скорости перемещения v машины (м/с) на мощность, затрачиваемую на перемещение машины

Анализ полученной зависимости от скорости движения машины показывает, что мощность возрастает во всем исследуемом диапазоне практически прямо пропорционально. Такое влияние связано с тем, что при увеличении скорости возрастает отделяемая и перемещаемая масса грунта, что увеличивает необходимую мощность. Согласно экспериментальным данным, при угле наклона поверхности отвала 20 градусов увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с приводит к росту мощности с 4189 до 4950 Вт. При угле наклона 30 градусов увеличение скорости в указанном диапазоне приводит к росту мощности с 4161 до

5007 Вт, т. е. на 20,3 %.

Изменение мощности от угла наклона поверхности отвала у имеет более выраженный нелинейный характер. Наименьшее значение мощность, необходимая для работы машины, имеет при угле 25-27 градусов. При меньших или больших углах наклона необходимая мощность возрастает (рисунок 6).

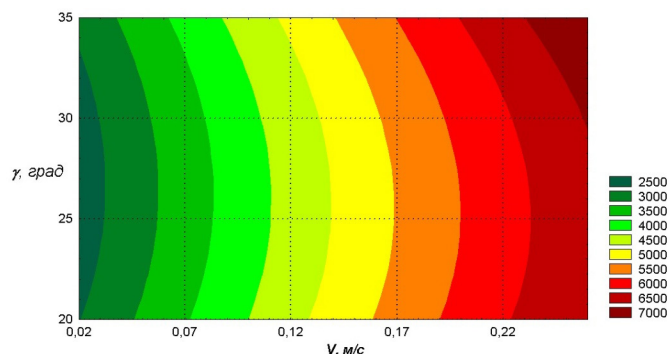


Рисунок 6 – Сечения графической зависимости мощности, затрачиваемой на перемещение машины от угла наклона поверхности отвала γ (град) и скорости перемещения v машины (м/с)

Такой характер изменения мощности связан с изменением тягового усилия от угла наклона. При углах менее 25 градусов возрастает длина рабочей поверхности отвала, что приводит к росту пути перемещения отделенного грунта и, соответственно, к увеличению сил сопротивления движению машины. Также при углах больше чем 27 градусов происходит изменение характера взаимодействия отвала с отделяемым грунтом – часть грунта не движется по поверхности отвала, а скапливается перед ним, создавая дополнительные сопротивления, на что требуются дополнительные затраты мощности. При скорости движения машины 0,17 м/с увеличение угла наклона с 30 до 35 градусов приводит к росту необходимой мощности с 5007 до 5549 Вт.

Выводы. Проведенный анализ результатов экспериментальных исследований позволил определить минимальное значение необходимого тягового усилия при значениях исследуемых факторов: угла наклона поверхности отвала 24...26 градусов, скорости перемещения машины 0,19...0,21 м/с. Значение оптимальных значений мощности, необходимой на привод, лежит в пределах значений факторов, при которых тяговое усилие будет минимальным.

Отклонение исследуемых факторов от указанных значений приводит к росту необходимого тягового усилия для перемещения машины и нерациональным затратам энергии на мощ-

ность привода рабочих органов.

Тяговое усилие и мощность относятся к силовым критериям оптимизации. Для экспериментального обоснования параметров необходимо дальнейшее исследование зависимости качественных критериев – производительности и энергоемкости от указанных факторов.

Список литературы

- 1 Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs // Journal of Agriculture Faculty of Eye University. 2010. № 46 (3). Pp. 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 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.
- 4 Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А. 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 Комфортный субстрат // Вестник овощевода. 2016. № 2. С. 14-15.
- 6 Almeida R.F., Queiroz I.D.S., Mikhael J.E.R., Oliveira R.C., Boryes E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture // International Journal of Recycliny of Oryanic Waste in Ayriculture. 2019. № 8 (Suppl 1). Pp. 203-210.
- 7 Liany Y., Lin X., Yamada S. Soil deyradation and prevention in greenhouse production // SprinyerPlus. 2013. № 2. Pp.1-10.
- 8 Hupenyu A.M., Mnkeni P.N.S. Optimizing the vermicompostiny of oryanic wastes amended with inoryanic materials for production of nutrient-rich oryanic fertilizers: a review // Environmental Science and Pollution Research. 2018. № 25 (11). Pp. 10577-10595.
- 9 Результаты экспериментальных исследований процесса удаления и погрузки почвы в теплицах / А.О. Везиров [и др.] // Нива Поволжья. 2020. № 3. С. 135-141.
- 10 Результаты экспериментальных исследований прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах / П.И. Павлов [и др.] //

Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 97-99.

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

12 Павлов П.И., Везилов А.О., Ракутина А.В., Мухин Д.В. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве // Аграрный научный журнал. 2016. № 7.С. 51-33.

13 Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах: патент РФ № 2621041 / Павлов П.И., Везилов А.О., Левченко Г.В., Ракутина А.В.; заявл. 1.11.2016; опублик. 31.05.2017, Бюл. № 11.

14 Дзюбан И.Л. Повышение эффективности приготовления органоминерального компоста путем обоснования параметров рабочих органов погрузчика-смесителя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Саратов, 2015.167 с.

15 Везилов А.О. Повышение эффективности технологического процесса приготовления почвенных смесей путём обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Саратов, 2013.126 с.

16 Игнатенков В.Г., Фомичев М.А., Шлапачков В.В., Александров Д.А. Результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для обезвоживания сапропеля естественной влажности // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 62-66.

List of reference

1 Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs // Journal of Agriculture Faculty of Eye University. 2010. № 46 (3). Pp. 215-223.

2 Kozlovskaya I.P. Development of tomato plants on organic substrates with a small-volume method of growingly in winter greenhouses // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2002. № 3. Pp. 49-52.

3 Influence of substrate type on content of polysaccharides and phenolic compounds in tomatoes under conditions of protected soil / A.A. Autko [et al.] // Proceedinys of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2004. № 3. Pp. 62-64.

4 Autko A.A., Rupasova J.A., Iynatenko V.A. Influence of weather conditions and substrate type on biological composition of tomatoes in greenhouse farms of Belarus // Proceedinys of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2003. № 3. Pp. 49-56.

5 Comfortable substrate // Veyetable Herald. 2016. № 2. Pp. 14-15.

6 Almeida R.F., Queiroz I.D.S., Mikhael J.E.R., Oliveira R.C., Boryes E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable ayriculture // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2019. № 8 (Suppl 1). Pp. 203-210.

7 Liany Y., Lin X., Yamada S. Soil deyradation and prevention in greenhouse production // Springer Plus. 2013. № 2. Pp. 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). Pp. 10577-10595.

9 Results of experimental studies of the process of soil removal and loading in greenhouses / A.O. Vezirov [et al.] // Volga Region Farmland. 2020. № 3. Pp. 135-141.

10 Results of experimental studies of trailed machine for removal and loading of soil in greenhouses / P.I. Pavlov [et al.] // The Agrarian Scientific Journal. 2020. № 12. Pp. 97-99.

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

12 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. Pp. 51-33.

13 Trailed machine for removing and loading soil in greenhouses: Russian patent No. 2621041 / Pavlov P.I., Vezirov A.O., Levchenko Y.V., Rakutina A.V.; declared 1.11.2016; Published by 31.05.2017, Bulletin No. 11.

14 Dziuban I.L. Improviny the efficiency of preparing organomineral compost by substantiating the parameters of the working organs of a loader-mixer: dissertation for the decree of candidate of technical sciences: 05.20.01. Saratov, 2015. 167 p.

15 Vezirov A.O. Improviny the efficiency of the technological process for preparing soil mixtures by substantiating the design-mode parameters of a loader-mixer: dissertation for the decree of candidate of technical sciences: 05.20.01. Saratov, 2013. 126 p.

16 Iynatenkov V.Y., Fomichev M.A., Shlapachkov V.V., Aleksandrov D.A. Results of the screw press experimental researches for dewatering the sapsropel natural humidity // Vestnik Kurganskoy KGSKhA. 2020. № 2 (34). Pp. 62-66.