



Параметры и режимы работы гидравлической мини-сеялки мелкосемянных овощных культур

Е. В. Труфляк[✉], И. С. Скоробогаченко, В. И. Коновалов
Кубанский государственный аграрный университет
(г. Краснодар, Российская Федерация)

[✉] trufliak@mail.ru

Аннотация

Введение. В области выращивания сельскохозяйственных растений с использованием воды и суспензий обозначена тенденция развития гидропосева газонной травы. Направление менее изучено для посева мелких проклюнувшихся и пророщенных семян овощей, поскольку специализируется на семенах арбуза, тыквы, огурцов и табака. Отсутствуют исследования для гидропосева семян моркови, петрушки, укропа, салата, томатов и сельдерея. Таким образом, актуальными являются теоретические изыскания, направленные на обоснование способа и технических решений посева мелкосемянных культур в условиях открытого и закрытого грунта. Проблема заключается в отсутствии конструктивно-технологической схемы резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур, конструктивно-режимных показателей гидравлической мини-сеялки рядкового посева для повышения его эффективности.

Цель исследования. Оптимизация параметров и режимов работы гидравлической мини-сеялки рядкового посева.

Материалы и методы. Выполнялись теоретические исследования процесса гомогенизации посевной смеси, потребной мощности при работе резервуара для формирования посевной смеси. Лабораторные исследования проводились в Кубанском государственном аграрном университете, полевые – в личных подсобных хозяйствах Крымского района Краснодарского края.

Результаты исследования. Получены выражения, описывающие зависимость величины средней окружной скорости потока посевной смеси, а также мощности при работе резервуара для ее формирования при различных сочетаниях конструктивных и режимных параметров. Представлена аналитическая зависимость, описывающая величину концентрации семян в несущей среде в заданный момент времени на фиксированной точке высоты резервуара.

Обсуждение и заключение. Оптимальные параметры и режимы работы универсальной гидросеялки по шагу посева: частота вращения мешалки – 92 мин⁻¹; величина открытия крана – 47 %; скорость сеялки – 3,1 м/с при шаге посева 20,5 мм; по коэффициенту вариации шага посева: частота вращения мешалки – 87 мин⁻¹; величина открытия крана – 56 %; скорость сеялки – 2,7 м/с при вариации шага посева 15 %. Перспективным и заслуживающим дальнейшего развития направлением является использование суспензий для гидропосева овощных культур.

Ключевые слова: гидравлический посев, семена, посевная смесь, вода, овощи, мини-сеялка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Труфляк Е. В., Скоробогаченко И. С., Коновалов В. И., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Труфляк Е. В., Скоробогаченко И. С., Коновалов В. И. Параметры и режимы работы гидравлической мини-сеялки мелкосемянных овощных культур // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 2. С. 244–264. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202402.244-264>

Parameters and Modes of a Hydraulic Mini Seeder Operation for Small-Seeded Vegetable Crops

E. V. Truflyak[✉], I. S. Skorobogachenko, V. I. Kononov
Kuban State Agrarian University
(Krasnodar, Russian Federation)

[✉] trufliak@mail.ru

Abstract

Introduction. In the area of sowing with water and suspensions, there has been observed the trend of the development of hydroseeding lawn grass. The direction is less studied for sowing small seeds (germinated and sprouted) of vegetables. Existing works are mainly aimed at substantiating the sowing of germinated seeds of watermelons, pumpkins, cucumbers and tobacco. At the same time, there are no studies for hydroseeding of carrot, parsley, dill, lettuce, tomatoes and celery seeds. Thus, theoretical research aimed at substantiating the method and technical solutions for sowing small-seeded crops in open and closed ground conditions are relevant. The problem is the lack of constructive-technological scheme of the tank for formation of sowing mixture of small-seeded crops, design and mode parameters of hydraulic mini seeder for sowing in drills to increase the efficiency of sowing.

Aim of the Study. The study is aimed at optimizing parameters and modes for operation of a hydraulic mini seeder for sowing in drills.

Materials and Methods. Theoretical studies of the process of homogenization of the seed mixture, power consumption during the operation of the reservoir for the formation of the seed mixture were carried out. Laboratory studies were carried out in Kuban State Agrarian University, field studies in private farms of Krymsky district of Krasnodar Krai.

Results. There have been obtained the expressions describing the dependence of the value of the average circumferential velocity of the seed mixture flow and the power during the operation of the reservoir for the formation of seed mixture for various combinations of design and operating parameters. The analytical dependence describing the value of seed concentration in the carrier medium at a specified moment of time at a fixed point of the tank height is presented.

Discussion and Conclusion. Optimal parameters and modes for the operation of a universal hydroseeder for a seeding step are: agitator rotation frequency – 92 min⁻¹; crane opening value – 47%; seeder speed – 3.1 m/s at seeding step 20.5 mm; for seeding step variation coefficient: agitator rotation frequency – 87 min⁻¹; crane opening value – 56%; seeder speed – 2.7 m/s at seeding step variation 15%. The use of suspensions for hydroseeding vegetable crops is promising and should be developed.

Keywords: hydraulic seeding, seeds, seed mix, water, vegetables, mini seeder

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Truflyak E.V., Skorobogachenko I.S., Kononov V.I. Parameters and Modes of a Hydraulic Mini Seeder Operation for Small-Seeded Vegetable Crops. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(2):244–264. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202402.244-264>

Введение. На территории России более 20 видов овощных культур имеют массовое распространение. Площади, отведенные под посев и сбор урожая овощных культур, в хозяйствах всех категорий за последние 5 лет показывают стабильный

Agricultural engineering

рост. Отрасль закрытого грунта в стране стремится к полному импортозамещению. По данным Росстата, уровень самообеспечения в 2021 г. достиг 71,7 %.

Для посева газонной травы в последнее время используется гидравлический способ, заключающийся в перемешивании в емкости семян, воды, геля, красителя, удобрений и их дальнейшем равномерном распределении через шланг на почву.

Способ использования воды и суспензий для посева мелких семян овощей является менее изученным. Обеспечение урожайности овощных культур закладывается на этапе качественного посева, но в настоящий момент отсутствуют универсальные сеялки для гидравлического посева мелкосемянных овощных культур (проклюнувшихся и пророщенных) с использованием в качестве перемешивающего и транспортирующего компонента воду.

Актуальными являются вопросы теоретического и экспериментального исследования способа гидравлического посева и технических решений для его осуществления в условиях открытого и закрытого грунта. Необходимо обосновать параметры и режимы работы универсальной гидравлической мини-сеялки мелкосемянных овощных культур.

Проблемой является отсутствие конструктивно-технологической схемы резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур, конструктивно-режимных показателей гидравлической мини-сеялки рядкового посева для повышения эффективности данного процесса.

Целью настоящей работы является оптимизация параметров и режимов работы гидравлической мини-сеялки рядкового посева.

Обзор литературы. Термином «гидропосев» в настоящее время обозначается способ посева травы для газонов и склонов. При таком методе применяется смесь, в которую входят семена, мульчирующий материал, краситель и другие элементы (рис. 1)¹.

Наиболее распространенными являются гидросеялки водометного типа перемешивания, центробежный насос которых прокачивает пульпу в режиме рециркуляции (рис. 2) [1].

Гидросеялки универсального типа имеют в баке валы с лопастями для подготовки эмульсий, что обеспечивает равномерное распределение компонентов по объему и поддерживает их в гомогенном состоянии до опустошения бака [2].

Рассмотрим технологические решения для гидропосева мелкосемянных культур. Гидросеялка СТР-2 (рис. 3), в которой взвешенное состояние семян обеспечивается механической и пневматической мешалками, предназначена для осуществления посева в теплицах [3–6].

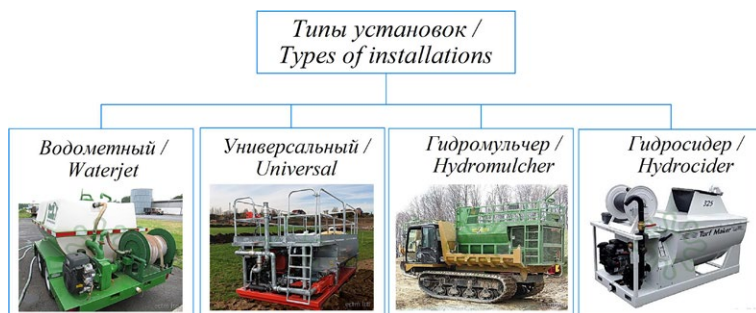
На рисунке 4 представлена разбросная сеялка СПТ-2, агрегируемая с трактором Т-16.

¹ Испытания сеялки для посева семян гидравлическим способом / Е. И. Винеvский [и др.] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (06–26 апреля 2015 г., г. Краснодар). Краснодар : ФГБНУ ВНИИТТИ, 2015. С. 249–252. EDN: TYVBVX



Р и с. 1. Фото гидропосева газонной травы

F i g. 1. Photo of hydroseeding lawn grass

Источник изображений: <https://gazony.com/>Image source: <https://gazony.com/>

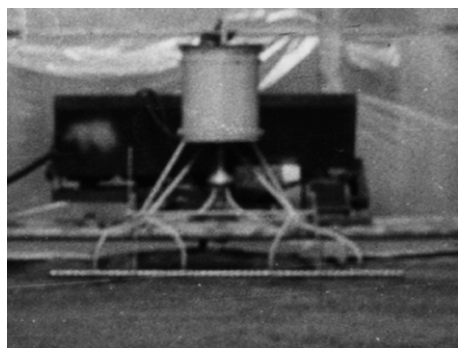
Р и с. 2. Типы гидросеялок

F i g. 2. Types of hydroseeders

Источник изображений: ru.wikipedia.orgImage source: ru.wikipedia.org

С целью обеспечения равномерного расхода рабочей жидкости с семенами предложено посевное устройство с сосудом Мариотта, предназначенное для посева при постоянном давлении (рис. 5). Также разработана гидросеялка с пневматическим способом перемешивания (рис. 6).

Учеными Волгоградского государственного аграрного университета предложена сеялка для посева пророщенных семян на основе сеялки СУПН-8 (рис. 7, 8) [7; 8].

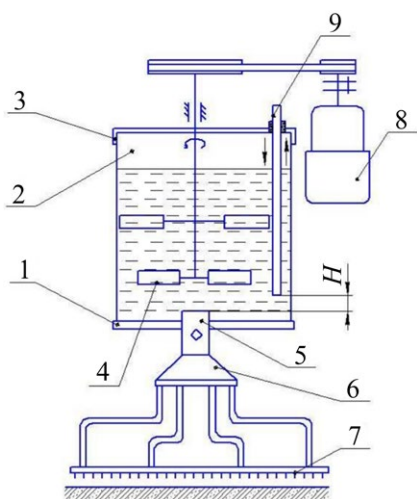


Р и с. 3. Рядковая сеялка СТР-2
F i g. 3. Row seeder STR-2

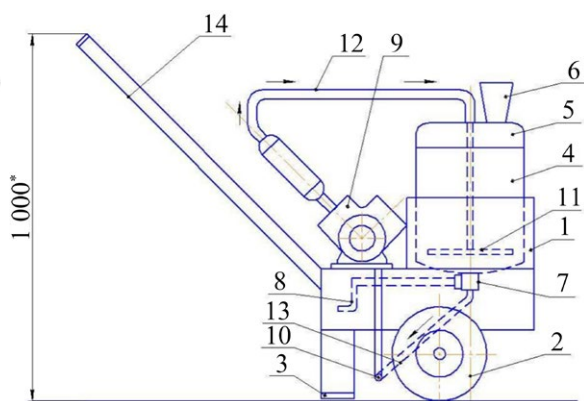


Р и с. 4. Разбросная сеялка СПТ-2
F i g. 4. Spreading seeder SPT-2

Источник изображений: <http://www.vniitti.ru/>
Image source: <http://www.vniitti.ru/>



Р и с. 5. Схема сеялки
F i g. 5. Seeder diagram



Р и с. 6. Схема для гидравлического посева семян
F i g. 6. Diagram for hydraulic seed sowing

Источник изображений: <http://www.vniitti.ru/>
Image source: <http://www.vniitti.ru/>



Р и с. 7. Общий вид сеялки
F i g. 7. General view of the planter



Р и с. 8. Посев пророщенных овощных культур
F i g. 8. Sowing germinated vegetable crops

Источник изображений: <https://volgau.com/>
Image source: <https://volgau.com/>

Гидравлическая сеялка [9] снабжена механической мешалкой с П-образными перемешивающими элементами для равномерного распределения семян в воде при небольшой частоте вращения.

В работах Е. В. Труфляка и соавторов изучен гидравлический посев овощных культур с электроактивированной водой [10; 11].

Анализ исследований по теме показал, что существующие машины не предназначены для посева семян овощных культур, так как не обеспечивают равномерное перемешивание их с водой. В случае посева пророщенных семян они могут их травмировать. В настоящей работе предлагается схема уникальной гидросеялки, которая позволяет высевать различные овощные культуры с проклюнувшимися ростками. Разработанная гидросеялка может использоваться и в теплицах.

В предлагаемой нами сеялке для мелкосемянных овощных культур в высевальном аппарате использована мешалка, предназначенная для смешивания семян с водой, поддержания однородности и равномерного перемещения в семяпроводе.

С целью рассмотрения вопроса степени технической проработки результатов интеллектуальной деятельности в области гидропосева проведен патентный анализ (табл. 1) по сайту Федерального института промышленной собственности², а также реестру патентов и изобретений³.

На основании обзора патентов и авторских свидетельств в области конструкций сеялок для гидравлического посева выявлен ряд недостатков: отсутствие возможности рядкового посева различных мелкосемянных овощных культур; сложность конструкций, имеющих дополнительные пневматические устройства; неравномерное перемешивание семян; неравномерный посев мелкосемянных овощных культур в ряды; повреждение предварительно пророщенных семян и ростков, налипание их на детали.

² Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fips.ru> (дата обращения: 25.12.2023).

³ Патентный поиск в РФ [Электронный ресурс]. URL: www.freepatent.ru (дата обращения: 25.12.2023).

Таблица 1
Table 1

Результаты патентного обзора
Results of the patent review

Номер патента / Patent number	Название / Title	Особенности / Features	Недостатки / Disadvantages
2287924 [12]	Однорядковая гидросеялка ручная / Single row manual hydroseeder	Имеет камеру, содержащую мешалку и измельчитель течения семенного материала. Гидросеялка имеет шланговый семяпровод с регулируемой подачей смеси / It has a chamber containing an agitator and a seed flow chopper. The hydroseeder has a hose-type seed pipe with adjustment of the mixture supply	Отсутствие равномерного перемешивания семян / Lack of uniform mixing of seeds
1217278 [13]	Устройство для высева семян / Seed sowing device	Содержит бункер, в котором имеется дозатор в виде золотника приводного / Contains a hopper having a metering unit in the form of a spool drive spool	Не обеспечивает посев мелких семян / Does not ensure sowing of small seeds
2536932 [14]	Гидропневматическое посевное устройство / Hydro-pneumatic seeding unit	При движении струя жидкости из насадки обеспечивает образование борозды / When moving, the liquid jet from the nozzle provides a furrow formation	Сложность конструкции / Complexity of design
2028744 [15]	Гидравлическая сеялка / Hydraulic seeder	Имеет дождевальную ствол с соплом, насос с редуктором и всасывающей линией, механизм вращения дождевального ствола, навесное устройство и трактор / It has a sprinkler barrel with nozzle, pump with gearbox and suction line, sprinkler barrel rotation mechanism, hitch and tractor	Отсутствует возможность рядкового посева овощных культур / No possibility to sow vegetable crops in rows
2275784 [16]	Высевающий аппарат / Seeding unit	Предназначен для посева пророщенных семян. Ячейки выполнены по форме и размерам семени и размещены на периферийной части / Designed for sowing germinated seeds. Cells are made according to the shape and size of the seed and are placed on the periphery of the seed	Налипание семян овощных культур на детали, повреждение семян и ростков / Vegetable seeds sticking to parts, damage to seeds and sprouts
113449 [17]	Аппарат для посева пророщенных семян овощных культур / Apparatus for sowing germinated vegetable seeds	Имеет диск с ячейками в виде ложечек по форме семян. В корпусе установлен уловитель с высевным окном. На дне семенного ящика расположено отверстие, которое подсоединено к компрессору / It has a disk with spoon-shaped cells in the shape of seeds. In the housing there is a catcher with a sowing window. There is an opening at the bottom of the seed box which is connected to the compressor	Дополнительное пневматическое устройство усложняет конструкцию / The additional pneumatic device makes the design more complex
3263 Республика Беларусь [18] / Republic of Belarus	Насадок для распределения пленкообразующих эмульсий / Nozzle for distributing film-forming emulsions	Содержит диск / It contains a disc	Предназначен для посева газонной травы, а не овощных культур / Designed for sowing lawn grass, not vegetable crops

Источник: здесь и далее в статье все таблицы составлены авторами.
Source: Hereinafter in this article all tables were drawn up by the authors.

Рассмотрим зарубежные работы в данном направлении.

В своем исследовании П. Бансал освещает вопрос разработки и производства высевающего аппарата, основанного на гидравлическом принципе таких семян, как рис, арахис, горох, кукуруза и др. [19].

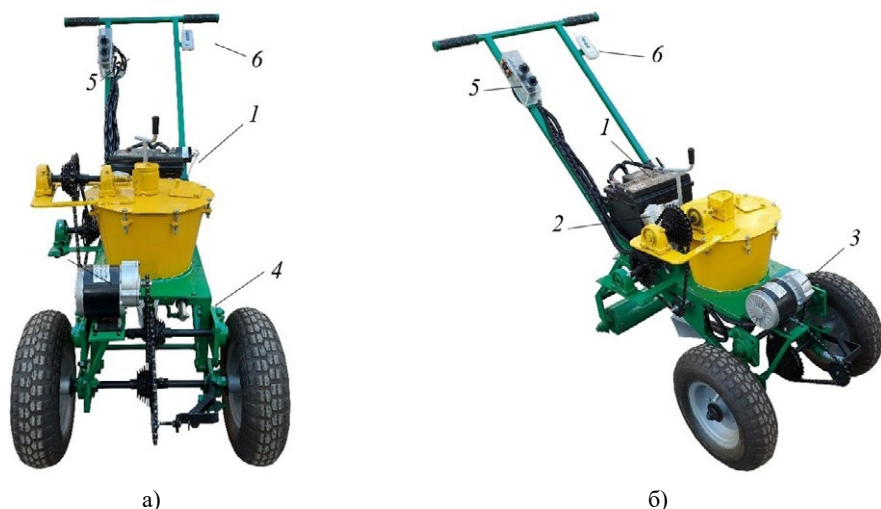
Исследование пневматического оборудования для высева мелких семян в станчики представлено в работе В. Пастухова и соавторов [20].

Разработан комплект гидроструйного устройства для автоматического управления тремя операциями: сбрасыванием, подачей семян и контролем струи семян [21].

Влияние гидропосева на урожайность трав и эффективность использования воды на искусственных почвенных склонах лесных дорог рассмотрено в статье А. Парсаху и коллег [22].

Существующие гидросеялки не обеспечивают равномерного перемешивания семян овощных культур с водой. В случае посева пророщенных семян они могут травмировать их. В настоящей работе предлагается универсальная гидросеялка, которая позволяет высевать различные овощные культуры с проклюнувшимися ростками.

Материалы и методы. Экспериментальная установка гидросеялки автоматизированной с электрическим приводом мешалки и заслонки представлена на рисунке 9.



Р и с. 9. Гидросеялка автоматизированная с электрическим приводом мешалки и заслонки:
а) вид спереди; б) общий вид; 1 – АКБ; 2 – моторредуктор для привода мешалки;
3 – двигатель для привода колес; 4 – электропривод заслонки; 5 – кнопки включения привода колес, мешалки, электроцилиндра; 6 – пульт дистанционного управления.
Автор фотографий Е. В. Труфляк, 2023 г.

F i g. 9. Automated hydroseeder with electric drive of agitator and flap:
а) front view; б) general view; 1 – battery; 2 – geared motor for agitator drive;
3 – motor for wheel drive; 4 – electric drive of flap;
5 – buttons for wheel drive, agitator, electric cylinder; 6 – remote control unit.
The photos are made by E.V. Truflyak, 2023

В конструкции сеялки для устранения зависимости «уровень заполнения – скорость вылива» применялась конструкция сосуда Мариотта (рис. 10). Для увеличения равномерности распределения семян и предотвращения образования воронки

использовались отражающие перегородки, которые служат для организации потока жидкости путем снижения окружной составляющей потока и увеличения осевой и радиальной составляющих.



Рис. 10. Бункер, выполненный с использованием принципа сосуда Мариотта:
а) бункер в сборе с трубкой; б) трубка.
Автор фотографий Е. В. Труфляк, 2023 г.

Fig. 10. Bunker made using the principle of Mariott's vessel: a) hopper assembled with a tube; b) tube.
The photos are made by E.V. Truflyak, 2023

Полевые эксперименты выполнялись с использованием семян 10 овощных культур: моркови, укропа, салата листового, петрушки, редиса, лука, капусты белокачанной, томата, капусты цветной, огурцов.

Исследования проводились в Крымском районе на участке размером 10 на 15 м (рис. 11). Ширина междурядий – 25 см. Осуществлялся посев по 2 ряда каждым способом: гидропосев предварительно замоченных на 10 ч в воде семян; гидропосев предварительно незамоченных семян (семена заранее смешивались в бункере с водой); ручной посев.



Р и с. 11. Фото всходов овощных культур. Автор фотографии Е. В. Труфляк, 2023 г.

F i g. 11. Photo of vegetable crops sprouting. The photos are made by E.V. Truflyak, 2023

Результаты исследования. Рассмотрим общий расход посевной смеси с учетом исследований В. А. Архипова, А. С. Усанина и др. (рис. 12)⁴:

$$Q_{\text{см}} = \frac{0,056 \cdot 10^{-4} n_p a_m Q(5V_{\text{сд}} + 9R_{\text{отв}})(C_V + 1)}{\rho_{\text{сем}} t_d C_V}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{см}}$ – расход посевной смеси, м³/с; n_p – количество одновременно засеваемых рядков, шт.; a_m – величина междурядья, м; Q – норма высева, кг/га; $V_{\text{сд}}$ – скорость движения сеялки, км/ч; t_d – время движения сеялки, с; $R_{\text{отв}}$ – радиус выпускного отверстия, м; C_V – объемная доля семян в смеси; $\rho_{\text{сем}}$ – плотность семян, г/м³.

Разработанная конструктивно-технологическая схема резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур (рис. 13) предусматривает работу в двух режимах. В первом режиме в резервуар заливается жидкая среда и засыпаются семена, затем включается привод мешалки и в резервуаре создается однородная концентрация смеси семян и жидкой среды. Во втором режиме начинается рабочий ход сеялки, одновременно с которым открывается дозирующее устройство и производится высев семян. Таким образом, в первом режиме работы необходимо определить параметры действия перемешивающего устройства для создания однородно-концентрированной смеси.

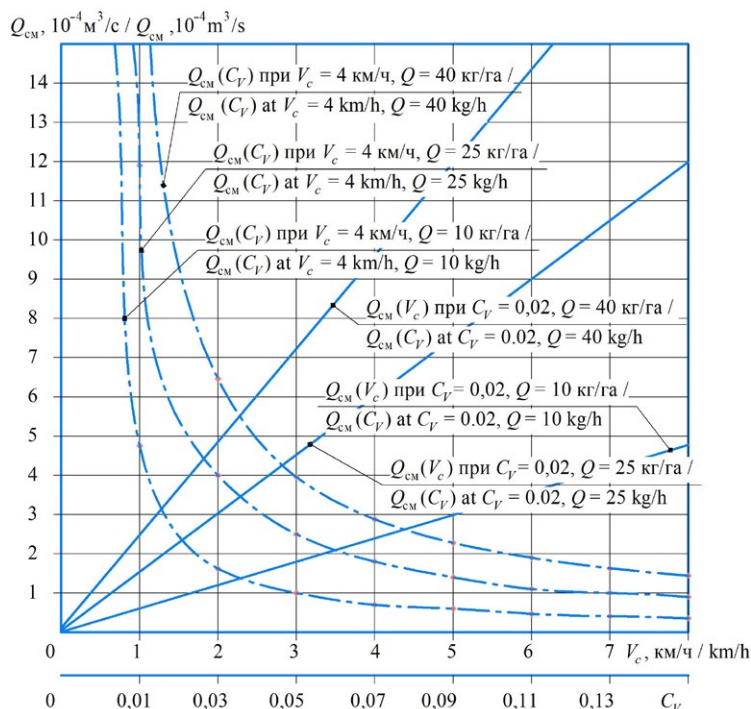
Наиболее часто в полуэмпирических гипотезах турбулентного движения макромасштабное распределение концентраций твердых частиц в потоке рассматривается как результат двух одновременно протекающих процессов – конвективного переноса в направлении течения осредненного потока смеси и турбулентной диффузии. Интенсивность турбулентного переноса твердых частиц в жидкой среде определяется коэффициентом диффузии D_T , который характеризуется величиной его составляющих по осям, называемым локальными значениями коэффициента турбулентной диффузии D_{Tx}^n , D_{Ty}^n , D_{Tz}^n . При этом выражение для макромасштабного переноса твердых частиц в несущей среде, с учетом составляющих направления течения и турбулентной диффузии, имеет вид:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + v_x \frac{\partial A}{\partial x} + v_y \frac{\partial A}{\partial y} + v_z \frac{\partial A}{\partial z} - \frac{\partial(D_{Tx}^n \frac{\partial A}{\partial x})}{\partial x} - \frac{\partial(D_{Ty}^n \frac{\partial A}{\partial y})}{\partial y} - \frac{\partial(D_{Tz}^n \frac{\partial A}{\partial z})}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

где c – концентрация; t – момент времени, с; D_{Tx}^n , D_{Ty}^n , D_{Tz}^n – локальные значения коэффициентов турбулентной диффузии в направлении осей x, y, z , м²/с; V_x , V_y , V_z – составляющие скорости осредненного потока смеси в направлении осей x, y, z , м/с.

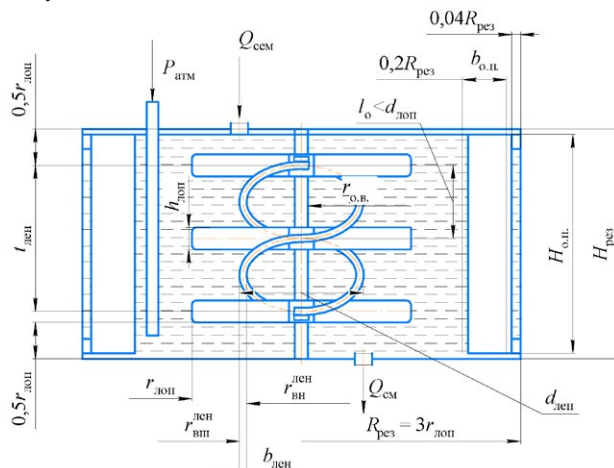
На рисунке 14 показана схема диффузионно-циркуляционной модели резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур.

⁴ Архипов В. А., Усанина А. С. Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде : учеб. пособие. Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. 252 с.; Брагинский Л. Н., Бегачев В. И., Барабаш В. М. Перемешивание в жидких средах. Л. : Химия, 1984. 336 с. *Agricultural engineering*



Р и с. 12. Зависимости «расход посевной – конструктивно-режимные параметры сеялки»
при $n_p = 1$; $a_m = 0,5$ м; $R_{отв} = 0,02$ м; $\rho_{сем} = 120$ кг/м³
Fig. 12. Dependencies «seed rate – design and mode parameters of the seeder»
at $n_p = 1$; $a_m = 0.5$ m; $R_{отв} = 0.02$ m; $\rho_{сем} = 120$ kg/m³

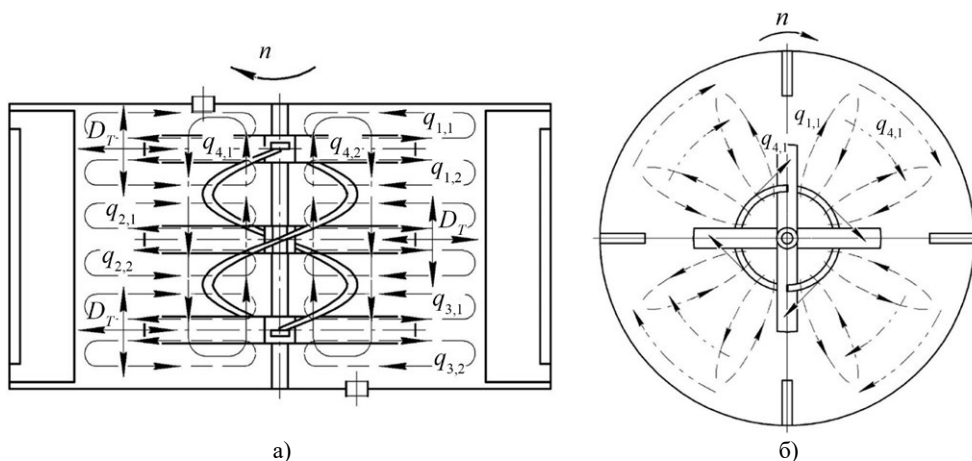
Источник: составлено авторами.
Source: Compiled by the authors.



Р и с. 13. Конструктивно-технологическая схема резервуара
для формирования посевной смеси мелкосемянных культур

Fig. 13. Structural-technological scheme of the tank for the formation of seed mixture of small-seeded crops

Источник: составлено авторами.
Source: Compiled by the authors.



Р и с. 14. Схема диффузионно-циркуляционной модели резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур: а) вид сбоку; б) вид сверху

F i g. 14. Schematic diagram of diffusion-circulation model of the reservoir for formation of a seed mixture of small-seeded crops sowing mixture of small-seeded crops: a) side view; b) top view

Источник: составлено авторами.

Source: Compiled by the authors.

Зависимость крутящего момента от радиуса резервуара, оборотов мешалки и плотности смеси имеет криволинейный вид, при этом наибольшее влияние оказывает радиус резервуара, а наименьшее – плотность смеси (рис. 15).

При увеличении радиуса резервуара $R_{\text{рез}}$ с 0,1 до 0,6 м крутящий момент $M_{\text{кр}}$ возрастает практически в 7 800 раз, а при увеличении плотности $\rho_{\text{см}}$ смеси с 800 до 1800 кг/м³ момент $M_{\text{кр}}$ возрастает в 2,3 раза. Перечисленные элементы такое же влияние оказывают на величину средней окружной скорости. Поскольку в посевных машинах радиус резервуара заложен конструктивно и в процессе эксплуатации не изменяется, то наиболее целесообразно в качестве регулировочного параметра использовать обороты мешалки. Изменение плотности посевной смеси путем увеличения концентрации семян или использования в качестве несущей среды жидкости с большей плотностью будет приводить к незначительному росту крутящего момента, а также момента сопротивления, что не будет оказывать существенного влияния на процесс гомогенизации посевной смеси.

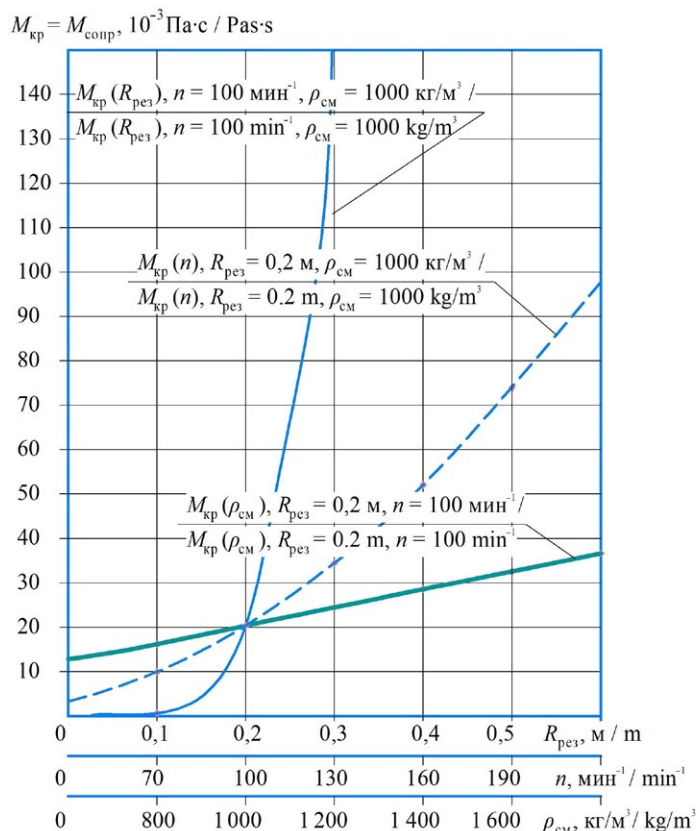
Мощность, необходимая для перемешивания посевной смеси, представлена следующим образом:

$$N = \omega_{\text{меш}} \times \left[\frac{0,45 A_3 A_4 (418,5 \cdot 10^{27} R_{\text{рез}}^2 + 24,8 \cdot 10^{33} H_{\text{рез}}^2 + 3,3 \cdot 10^{33} R_{\text{рез}} A_2 - 770,1 \cdot 10^{33} H_{\text{рез}} A_2 - 590,6 \cdot 10^{30} A_6)}{(14,046 \cdot 10^{18} H_{\text{рез}} + 55 \cdot 10^{55} R_{\text{рез}})^2} \right. \\ \left. \times \frac{73,3 \cdot 10^{-3} A_3 A_5 (1,3 \cdot 10^{15} R_{\text{рез}}^2 - 216,8 \cdot 10^{33} H_{\text{рез}}^2 + 3,4 \cdot 10^{36} H_{\text{рез}} A_2 + 828,1 \cdot 10^{30} A_6)}{(14,046 \cdot 10^{18} H_{\text{рез}} + 55 \cdot 10^{55} R_{\text{рез}})^2} \right], \quad (3)$$

где $\omega_{\text{меш}}$ – угловая скорость мешалки, рад/с; $\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси, кг/м³; $R_{\text{рез}}$ – радиус резервуара, м; $H_{\text{рез}}$ – величина заполнения резервуара, м;

$$A_2 = \sqrt{186,808 \cdot 10^{-6} H_{\text{рез}}^2 - 221,718 \cdot 10^{-12} R_{\text{рез}}^2 - 62,269 \cdot 10^{-6} R_{\text{рез}} H_{\text{рез}}};$$

$$A_3 = \rho_{\text{см}} \omega_{\text{меш}}^2 R_{\text{рез}}^4; A_4 = H_{\text{рез}} - R_{\text{рез}}; A_5 = 3H_{\text{рез}} - R_{\text{рез}}; A_6 = R_{\text{рез}} H_{\text{рез}}.$$



Р и с. 15. График зависимости крутящего момента мешалки и общего момента сопротивления резервуара для формирования посевной смеси мелкосемянных культур при $H_{\text{о.п.}} = \frac{2}{3}H_{\text{рез}}, H_{\text{рез}} = 3R_{\text{рез}}, \mu = 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

F i g. 15. Graph of dependence of agitator torque and total torque of the tank resistance for the formation of the seed mixture of small-seeded crops at $H_{\text{о.п.}} = \frac{2}{3}H_{\text{рез}}, H_{\text{рез}} = 3R_{\text{рез}}, \mu = 1.002 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Источник: составлено авторами.

Source: Compiled by the authors.

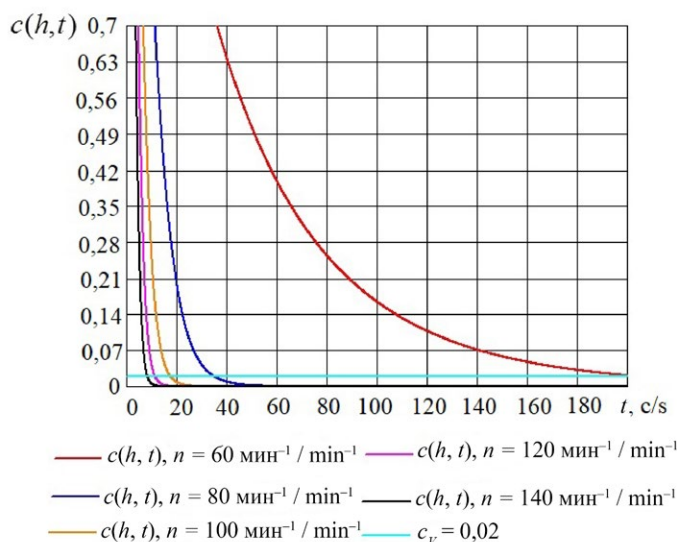
Концентрацию семян в несущей среде в заданный момент времени на фиксированной точке высоты резервуара запишем как:

$$c(h, t) = \frac{m_{\text{ссм}}}{S_{\text{пот}} \sqrt{4\pi D_{\text{эф}} t}} \sum_{-n}^n e^{-\frac{(h - \omega t + 2nH_{\text{рез}})^2}{4D_{\text{эф}} t}}, \quad (4)$$

где $n = \frac{H_{\text{рез}}}{3 \sqrt{\frac{2D_{\text{эф}} H_{\text{рез}}}{V_{\text{эф}} - v_{\text{ос}}}}}$; $V_{\text{эф}}$ – эффективная скорость потока, м/с; $D_{\text{эф}}$ – эффективный

коэффициент турбулентного переноса; $v_{\text{ос}}$ – скорость осаждения (всплытия) семян на поверхности, м/с; h – рассматриваемая точка резервуара, м.

Графики зависимости (4) концентрации семян в несущей среде при $h = H_{\text{рез}}$ от времени их пребывания в несущем потоке при различном числе оборотов мешалки представлены на рисунке 16.



Р и с. 16. Графики зависимости концентрации семян в несущей среде при $h = H_{\text{рез}}$ от времени их пребывания в несущем потоке, при $R_{\text{рез}} = 0,2$ м, $H_{\text{о.п.}} = \frac{2}{3}H_{\text{рез}}$, $H_{\text{рез}} = 3R_{\text{рез}}$, $\mu = 1,002 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{ссм}} = 120$ кг/м³, $C_v = 0,02$

F i g. 16. Plots of dependence of seed concentration in the carrier medium at $h = H_{\text{рез}}$ on the time of their stay in the carrier flow, at $R_{\text{рез}} = 0,2$ м, $H_{\text{о.п.}} = \frac{2}{3}H_{\text{рез}}$, $H_{\text{рез}} = 3R_{\text{рез}}$, $\mu = 1,002 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{ссм}} = 120$ кг/м³, $C_v = 0,02$

Источник: составлено авторами.

Source: Compiled by the authors.

Зависимость распределения семян по объему резервуара носит экспоненциальный характер. При увеличении оборотов мешалки с 60 до 140 мин⁻¹ время на выравнивание концентрации уменьшается с 200 до 10 с. Для работы при оборотах мешалки от 60 мин⁻¹ и менее потребуется значительное время для гомогенизации посевной смеси. При работе от 100 до 140 мин⁻¹ и более время для гомогенизации посевной смеси уменьшается в пределах 5–7 с. Таким образом, при работе резервуара для формирования посевной смеси в заданных условиях и параметрах необходимо использовать обороты мешалки от 70 до 130 мин⁻¹.

При гидропосеве наблюдается повышение урожайности по сравнению с обычным ручным способом посева (табл. 2, рис. 17).

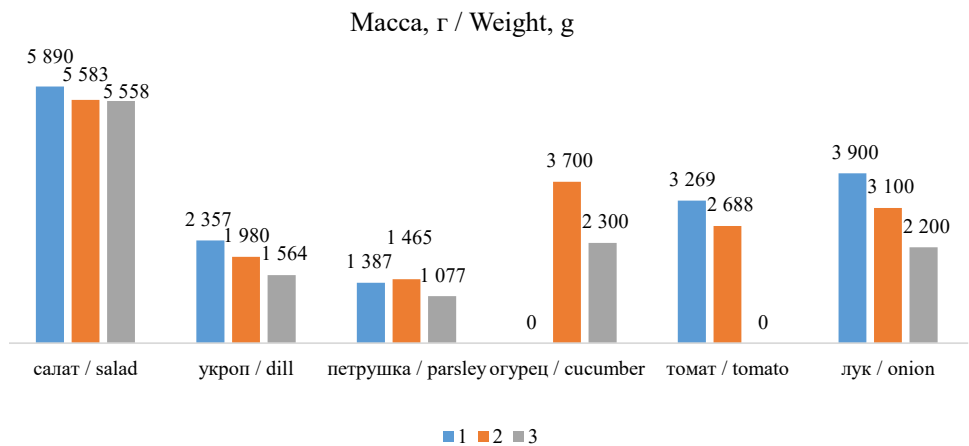
Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Результаты уборки урожая
Harvesting results

Культура / Culture	День измерения / Day measurements	Повышение урожайности при гидропосеве, % / Yield increase at hydroseeding, %	Фото / Photo
Укроп / Dill	50	27	
Петрушка / Parsley	77	36	
Огурцы / Cucumbers	91	61	
Томат / Tomato	104	22	
Лук / Onions	140	41	

С целью определения оптимальных параметров и режимов работы гидравлической сеялки проводилось планирование эксперимента. В качестве модели выбрали полином второго порядка. Факторы были определены в результате предварительно проведенных однофакторных опытов, а также их фиксированных значений и выбраковки несущественных факторов (табл. 3).

Были выбраны следующие параметры оптимизации: шаг посева по длине и ширине ряда, коэффициент вариации по длине и ширине ряда.



Р и с. 17. Масса растений с одного ряда:
1 – гидропосев семян замоченных; 2 – гидропосев; 3 – посев вручную
F i g. 17. Weight of plants from one row:
1 – hydroseeding of soaked seeds; 2 – hydroseeding; 3 – manual sowing

Источник: составлено авторами.
Source: Compiled by the authors.

При планировании задавались следующие условия и ограничения. Условия: неотрицательность факторов $n_m > 0$; $\alpha_k > 0$; $V_c > 0$; каждый фактор принимает одно или несколько значений ($n_m = 1 \dots n$; $\alpha_k = 1 \dots n$; $V_c = 1 \dots n$); количественное выражение параметра оптимизации; результаты исследований должны быть воспроизводимыми. Ограничения: надежность результатов опыта $\alpha = 0,95$; величина открытия крана $0 \leq \alpha_k \leq 75 \%$; ошибка $\varepsilon = \pm 3S$.

Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Факторы и их уровни варьирования
Factors and their levels of variation

Уровни / Levels	Факторы		
	частота вращения мешалки / rotational speed of agitator (x_1), n_m , мин ⁻¹	величина открытия крана / valve opening value (x_2), α_k , %	скорость движения сеялки / seeder speed (x_3), V_c , км/ч
Верхний уровень $x_i = +1$ / Upper level	130	75	4
Основной уровень $x_{io} = 0$ / Basic level	100	50	3
Нижний уровень $x_i = -1$ / Lower level	70	25	2

После математической обработки экспериментальных данных мы получили уравнения регрессии для шага посева (в натуральном виде):

– по длине ряда:

$$Y_d = 20,631 - 1,69 \cdot x_1 + 0,82 \cdot x_2 + 0,04 \cdot x_3 - 0,612 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,112 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,313 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,331 \cdot x_1^2 + 2,419 \cdot x_2^2 + 1,219 \cdot x_3^2. \quad (5)$$

– коэффициент вариации по длине ряда:

$$Y_{dv} = 11,162 - 4,56 \cdot x_1 - 1,59 \cdot x_2 - 4,68 \cdot x_3 + 4,775 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,475 \cdot x_1 \cdot x_3 + 5,725 \cdot x_2 \cdot x_3 - 4,063 \cdot x_1^2 + 8,287 \cdot x_2^2 - 1,563 \cdot x_3^2. \quad (6)$$

– по ширине ряда:

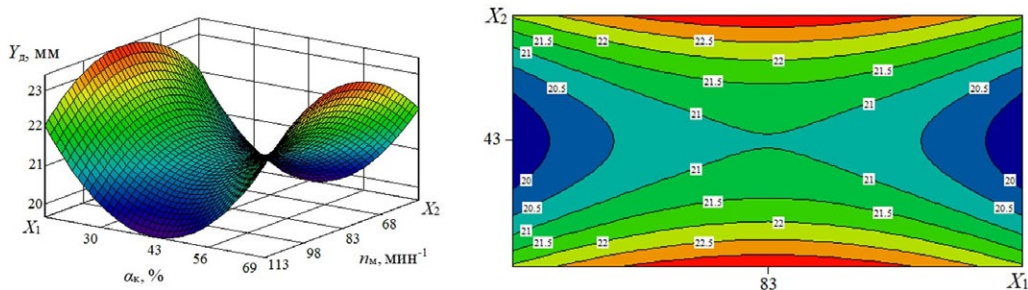
$$Y_{ш} = 20,256 + 0,15 \cdot x_1 + 0,08 \cdot x_2 - 0,12 \cdot x_3 + 1,238 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,038 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,187 \cdot x_2 \cdot x_3 - 2,756 \cdot x_1^2 - 1,906 \cdot x_2^2 + 4,594 \cdot x_3^2. \quad (7)$$

– коэффициент вариации по ширине ряда:

$$Y_{шv} = 15,75 - 7,14 \cdot x_1 - 1,74 \cdot x_2 + 4,62 \cdot x_3 - 2,625 \cdot x_1 \cdot x_2 - 4,75 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,525 \cdot x_2 \cdot x_3 - 5,15 \cdot x_1^2 - 6,85 \cdot x_2^2 + 10,45 \cdot x_3^2. \quad (8)$$

В качестве примера покажем поверхность оптимального значения коэффициента вариации шага посева по длине ряда (Y_d , мм) от частоты вращения мешалки (n_m , мин⁻¹) и величины открытия крана (α_k , %) при скорости движения сеялки $V_c = 3,1$ км/ч (рис. 18).

Оптимальные параметры и режимы работы универсальной гидросеялки по шагу посева следующие: частота вращения мешалки – 92 мин⁻¹; величина открытия крана – 47 %; скорость сеялки – 3,1 м/с при шаге посева 20,5 мм.



Р и с. 18. Поверхность зависимости Y_d от n_m и α_k при $V_c = 3,1$ км/ч и ее сечение

Fig. 18. Surface of the dependence of Y_d on n_m and α_k at $V_c = 3.1$ км/ч and its cross-section

Источник: составлено авторами.

Source: Compiled by the authors.

Оптимальные параметры и режимы работы универсальной гидросеялки по коэффициенту вариации шага посева: частота вращения мешалки – 87 мин⁻¹; величина открытия крана – 56 %; скорость сеялки – 2,7 м/с при вариации шага посева 15 %.

Обсуждение и заключение. Авторами настоящего исследования предложена конструктивно-технологическая схема универсальной гидравлической сеялки, позволяющая высевать различные овощные культуры с проклюнувшимися ростками в условиях открытого и закрытого грунта.

С помощью проведения теоретических исследований были получены выражения, описывающие зависимость величины средней окружной скорости потока посевной смеси, а также величину мощности при работе резервуара для формирования посевной смеси при различных сочетаниях конструктивных и режимных параметров. В процессе работы резервуара для формирования посевной смеси при одинаковых оборотах мешалки и увеличения радиуса $R_{\text{рез}}$ с 0,1 до 0,6 м потребная мощность N на привод возрастает в 7 800 раз.

Получена аналитическая зависимость, описывающая величину концентрации семян в несущей среде в заданный момент времени на фиксированной точке высоты резервуара. В работе резервуара для формирования посевной смеси при объемной доле семян в смеси $C_v = 0,02$, радиусе резервуара $R_{\text{рез}} = 0,2$ м, высоте резервуара $H_{\text{рез}} = 0,6$ м, отражающих перегородок высотой $H_{\text{о.п.}} = 0,4$ м, вязкости несущей среды $\mu = 1,002 \cdot 10^{-3}$ Па·с, плотности семян $\rho_{\text{сем}} = 120$ кг/м³, увеличении числа оборотов мешалки с 70 до 130 мин⁻¹ потребное время для достижения равномерной концентрации семян уменьшается с 64 до 10 с.

Предложенные в статье параметры и режимы работы гидросеялки для посева овощных культур могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке серийных сеялок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование работы элементов конструкции гидросеялки для посева овощных культур / Е. В. Труфляк [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 116. С. 943–956. EDN: [VQUVUL](#)
2. Изучение работы высевающего аппарата гидросеялки / Е. В. Труфляк [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 116. С. 910–927 EDN: [VQUVTH](#)
3. Винецкий Е. И., Дьячкин И. И., Маслов Г. Г. Машинные технологии и комплексы технических средств для производства табака // Сборник научных трудов всероссийского научно-исследовательского института табака, махорки и табачных изделий. 2009. № 178. С. 284–292. EDN: [RCUEWJ](#)
4. Винецкий Е. И., Науменко А. Г., Пестова Л. П. Параметры устройства для обеспечения постоянного расхода жидкости в сеялке для рядкового посева семян рассадных культур гидравлическим способом // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 141. С. 19–29. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-141-003>
5. Теоретико-экспериментальное обоснование режимов процесса гидравлического посева семян рассадных культур в почву / Е. И. Винецкий [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 159. С. 348–356. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-159-024>
6. Винецкий Е. И., Пестова Л. П., Науменко А. Г. Теоретико-экспериментальные основы процесса рядкового посева семян гидравлическим способом // Сборник научных трудов всероссийского научно-исследовательского института табака, махорки и табачных изделий. 2019. № 182. С. 234–244. EDN: [WLTVQT](#)
7. Лазаренко Я. С., Цепляев А. Н. Теоретическое определение скорости перемещения семени в гидропневматическом высевающем аппарате // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). С. 232–236. URL: <https://volgau.com/izvestiya> (дата обращения: 01.09.2023).

8. Цепляев А. Н., Лазаренко Я. С. Посев пророщенных семян // Сельский механизатор. 2012. № 8. С. 12–13. EDN: [RDUFLX](#)
9. Сялка для рядкового высева семян : патент 2530497 Российская Федерация / Труфляк Е. В., Яркин Д. С., Яркин С. С. № 2013119350/13 ; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28. 6 с.
10. Труфляк Е. В., Курченко Н. Ю., Яркин Д. С. Изучение гидропосева овощных культур с применением электроактивированной воды // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 96. С. 66–79. EDN: [TYPFDX](#)
11. Посев семян овощных культур и табака гидравлическим способом с использованием электроактивированной воды / Е. В. Труфляк [и др.] // Техника и оборудование для села. 2015. № 1. С. 10–13. EDN: [THYNER](#)
12. Ручная однорядная гидравлическая сялка : патент 2287924 Российская Федерация / Яворский В. В., Иваненко В. П., Яворская В. В. № 2004134533/12 ; заявл. 26.11.2006 ; опубл. 26.11.2004, Бюл. № 13. URL: <https://www.freepatent.ru/patents/2287924> (дата обращения: 01.09.2023).
13. Гидросялка : патент 1026679 СССР / Александрян К. В. [и др.]; заявл. 26.03.1982 ; опубл. 07.07.1983. URL: <https://patenton.ru/patent/SU1026679A1> (дата обращения: 01.09.2023).
14. Гидропневматическое посевное устройство : патент 2536932 Российская Федерация / Раднаев Д. Н., Прокопьев С. Н., Абидуев А. А. ; заявл. 06.05.2013 ; опубл. 27.12.2014. URL: <https://www.freepatent.ru/patents/2536932> (дата обращения: 01.09.2023).
15. Гидравлическая сялка : патент 2028744 Российская Федерация / Подолько Н. М., Красковский В. Н. ; заявл. 09.10.1991 ; опубл. 20.02.1995. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2028744C1> (дата обращения: 01.09.2023).
16. Высевающий аппарат : патент 2275784 Российская Федерация / Абеин В. Г. [и др.]. № 2004135620/12 ; заявл. 06.12.2004 ; опубл. 10.05.2006. URL: <https://www.freepatent.ru/patents/2275784> (дата обращения: 01.09.2023).
17. Дисковолочечный высевающий аппарат для посева проросших семян овощных культур : патент 113449 Российская Федерация / Цепляев А. Н., Лазаренко Я. С., Харлашин А. В. № 201010132494/13 ; заявл. 02.08.2010 ; опубл. 20.02.2012. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU113449U1_20120220.pdf (дата обращения: 01.09.2023).
18. Насадок для распределения пленкообразующих эмульсий : патент 3263 Республика Беларусь / Кондратьев В. Л., Карловский В. Ф., Самбурский Г. А. № 960337 ; заявл. 02.07.1996 ; опубл. 30.03.2000. URL: <https://bypatents.com/4-3263-nasadok-dlya-raspredeleniya-plenkoobrazuyushhih-emulsij.html> (дата обращения: 01.09.2023).
19. Bansal P. Parametric Analysis & Design Structure of Hydraulic Seed System // International Journal for Multidisciplinary Research. 2023. Vol. 5, Issue 3. 7 p. URL: <https://clck.ru/3Ampun> (дата обращения: 01.09.2023).
20. Study of Seed Agitation in the Fluid of a Hydropneumatic Precision Seeder / V. Pastukhov [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. 5 (1–107). P. 36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212517>
21. Shandong Y. Experimental Research on Hydro-Jet Seed Device // 2011 International Conference on New Technology of Agricultural. 2011. P. 207–211. <https://doi.org/10.1109/ICAIE.2011.5943785>
22. Parsakhoo A., Jajouzadeh M., Motlagh A. R. Effect of Hydroseeding on Grass Yield and Water use Efficiency // Journal of Forest Science. 2018. № 64. P. 157–163. <https://doi.org/10.17221/2/2018-JFS>

REFERENCES

1. Truflyak E.V., Skorobogachenko I.S., Saprykin V.Yu., Truflyak I.S. Research of Work of the Design Elements of a Hydroseeder for Crops of Vegetable Cultures. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;(116):943–956. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [VQUVUL](#)
2. Truflyak E. V., Skorobogachenko I. S., Saprykin V. Yu., Truflyak I. S. Study of Work of Sowing Apparatus of a Hydroseeding Device. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;(116):910–927. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [VQUVTH](#)
3. Vinevskiy E.I., Dyachkin I.I., Maslov G.G. [Machine Technologies and Complexes of Technical Means for Tobacco Production] // *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Tobacco, Mahorka and Tobacco Products*. 2009;(178):284–292. (In Russ.) EDN: [RCUEWJ](#)

4. Vinevsky E.I., Naumenko A.G., Pestova L.P. Parameters of a Device for Maintaining Constant Flow of Liquid In A Hydraulic Row Sowing Machine for Seedling Plants. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2018;(141):19–29. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-141-003>
5. Vinevsky E.I., Trubilin E.I., Naumenko A.I., Naumenko A.G., Pestova L.P. Theoretical and Experimental Substantiation of the Process Modes of Hydraulic Seeding of Seedling Crops in the Soil. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2020;(159):348–356. (In Russ., abstract in Eng.) <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-159-024>
6. Vinevsky E.I., Pestova L.P., Naumenko A.G. [Theoretical and Experimental Basis of the Process of Row Sowing of Seeds by Hydraulic Method]. *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Tobacco, Mahorka and Tobacco Products*. 2019;(182):234–244. (In Russ.) EDN: **WLTVQT**
7. Lazarenko Ya.C., Tseplyaev A.N. [Theoretical Determination of the Speed of Seed Movement in a Hydropneumatic Sowing Machine]. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2013;(4):232–236. (In Russ.) Available at: <https://volgau.com/izvestiya> (accessed 01.09.2023).
8. Tseplyaev A.N., Lazarenko Ya.C. [Sowing of Germinated Seeds]. *Selskiy Mechanizator*. 2012;(8):12–13. (In Russ.) EDN: **RDUFLX**
9. Truflyak E.V., Yarkin D.D., Yarkin S.S. [Seed Drill for Row Seeding]. Patent 2,530,497 Russian Federation. 2014 October 10. (In Russ.)
10. Truflyak E.V., Kurchenko N.Y., Yarkin D.S. Study of Vegetable Crops Hydroseeding With the Application of Electroactivated Water. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;(96):66–79. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: **TYPFDX**
11. Truflyak E.V., Vinevsky E.I., Kurchenko N.Y., Skorobogachenko I.C. Sowing of Vegetable Crops and Tobacco Hydraulically Using Electro-Activated Water. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2015;(1):10–13. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: **THYNER**
12. Yavorsky V.V., Ivanenko V.P., Yavorskaya V.V. [Manual Single-Row Hydraulic Seeder]. Patent 2,287,924 Russian Federation. 2006 November 26. (In Russ.) Available at: <https://www.freepatent.ru/patents/2287924> (accessed 01.09.2023).
13. Alexandryan K.V., Gasparyan A.A., Melikyan K.G., Grigoryan S.A. [Hydroseeder]. Patent 1,026,679 USSR. 1983 July 07. (In Russ.) Available at: <https://patenton.ru/patent/SU1026679A1> (accessed 01.09.2023).
14. Radnaev D.N., Prokopyev S.N., Abiduev A.A. [Hydropneumatic Seeding Device]. Patent 2,536,932 Russian Federation. 2014 Desember 27. (In Russ.) Available at: <https://www.freepatent.ru/patents/2536932> (accessed 01.09.2023).
15. Podolko H.M., Kraskovskiy V.N. [Hydraulic Seeder]. Patent 2,028,744 Russian Federation. 1995 February 20. (In Russ.) Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2028744C1> (accessed 01.09.2023).
16. Abein V.G., Karpunin V.V., Tseplyaev A.N., Abezin D.A., Shaprov M.N., Saldaev A.M. [Seeding Apparatus]. Patent 2,275,784 Russian Federation. 2006 May 10. (In Russ.) Available at: <https://www.freepatent.ru/patents/2275784> (accessed 01.09.2023).
17. Tseplyaev A.N., Lazarenko Y.S., Kharlashin A.V. [Disk-Hair Sowing Machine for Sowing Germinated Seeds of Vegetable Crops]. Patent 113,449 Russian Federation. 2012 February 20. (In Russ.) Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU113449U1_20120220.pdf (accessed 01.09.2023).
18. Kondratyev V.L., Karlovsky B.F., Sambursky G.A. [Nozzle for Distribution of Film-Forming Emulsions]. Patent 3263 Republic of Belarus. 2000 March 30. (In Russ.) Available at: <https://bypatents.com/4-3263-nasadok-dlya-raspredeleniya-plenkoobrazuyushhih-emulsijj.html> (accessed 01.09.2023).
19. Bansal P. Parametric Analysis & Design Structure of Hydraulic Seed System. *International Journal for Multidisciplinary Research*. 2023;5(3):7. Available at: <https://clck.ru/3Ampun> (accessed 01.09.2023).
20. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of Seed Agitation in the Fluid of a Hydropneumatic Precision Seeder. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020;5(1):36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212517>
21. Shandong Y. Experimental Research on Hydro-Jet Seed Device. *2011 International Conference on New Technology of Agricultural*. 2011:207–211. <https://doi.org/10.1109/ICAIE.2011.5943785>
22. Parsakhoo A., Jajouzadeh M., Motlagh A.R. Effect of Hydroseeding on Grass Yield and Water use Efficiency. *Journal of Forest Science*. 2018;(64):157–163. <https://doi.org/10.17221/2/2018-JFS>

Об авторах:

Труфляк Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса, руководитель центра прогнозирования и мониторинга в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации Кубанского государственного аграрного университета (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>, Researcher ID: D-1301-2018, trufljak@mail.ru

Скоробогаченко Иван Сергеевич, преподаватель-исследователь Кубанского государственного аграрного университета (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9293-6200>, ivan-sk2008@yandex.ru

Коновалов Владимир Иванович, доцент кафедры процессов и машин в агробизнесе Кубанского государственного аграрного университета (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2740-2010>, konovalov.v.i@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Е. В. Труфляк – общее руководство исследованием, участие во всех этапах эксперимента, обработка и анализ данных.

И. С. Скоробогаченко – обзор литературы, участие в экспериментальных исследованиях.

В. И. Коновалов – теоретические исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 26.01.2024; поступила после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 20.02.2024

About the authors:

Evgeny V. Trufljak, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Operation and Technical Service, Head of the Center for Forecasting and Monitoring in the Field of Precision Agriculture, Automation and Robotization of the Kuban State Agrarian University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>, Researcher ID: D-1301-2018, trufljak@mail.ru

Ivan S. Skorobogachenko, Research Teacher, Kuban State Agrarian University (13 Kalinina St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9293-6200>, ivan-sk2008@yandex.ru

Vladimir I. Kononov, Associate Professor, Department of Processes and Machines in Agribusiness, Kuban State Agrarian University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2740-2010>, konovalov.v.i@mail.ru

Authors contribution:

E. V. Trufljak – general management of the study, participation in all stages of the experiment, data processing and analysis.

I. S. Skorobogachenko – literature review, participation in experimental studies.

V. I. Kononov – theoretical research.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 26.01.2024; revised 08.02.2024; accepted 20.02.2024