

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА / TECHNOLOGIES AND MEANS OF AGRICULTURAL MECHANIZATION

УДК 631.53.04

DOI: 10.15507/2658-4123.031.202103.380-402

Оригинальная статья



Результаты лабораторных исследований просеиваемости почвы пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей и регулируемым углом наклона полотна

А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв*, А. Г. Аксенов,
М. А. Мосяков

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр
ВИМ» (г. Москва, Российская Федерация)

*sibirev2011@yandex.ru

Введение. Увеличение выхода товарной продукции с занимаемой площади вегетации как овощных корнеплодов, так и всей сельскохозяйственной продукции способствует повышению нагрузки на машинно-технологический комплекс при выполнении уборочных работ. Это обусловлено отсутствием функционирующих элементов в конструкторных машинно-технологических комплексов, определяющих качественное отделение поступающего на обработку вороха. Цель исследования – выявление участков с минимальной величиной просеивания почвы на поверхности пруткового элеватора в зависимости от угла наклона полотна, а также разработка рекомендаций и предложений по повышению полноты сепарации.

Материалы и методы. Описана методика лабораторных исследований пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна при асимметричном расположении встряхивателей, а также изложены результаты изучения просеиваемости почвы на рабочей поверхности. Использовалась методика комплексной оценки качества выполнения и стабильности технологических операций на основе количественных критериев оптимизации.

Результаты исследования. Наибольшее значение массы просеянной почвы наблюдается на участке затухания длины волны рабочей ветви пруткового элеватора 1 020 мм от воздействия эллиптического встряхивателя при угле наклона полотна 5 град.

Обсуждение и заключение. Прутковый элеватор с асимметричным расположением встряхивателей и регулируемым углом наклона полотна пруткового элеватора повышает просеивание почвы по всей длине полотна на 10 %, а следовательно, увеличивает полноту сепарации корнеплодов от почвенных примесей.

Ключевые слова: прутковый элеватор, встряхиватель, угол наклона, подача вороха, поступательная скорость движения, качество сепарации, почвенные примеси

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., 2021



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

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (СП-1004.2021.1).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Результаты лабораторных исследований просеиваемости почвы пружкового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей и регулируемым углом наклона полотна / А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков. – DOI 10.15507/2658-4123.031.202103.380-402 // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 3. – С. 380–402.

Original article

Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle

A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev*, A. G. Aksenov, M. A. Mosyakov
Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)

*sibirev2011@yandex.ru

Introduction. An increase in crop production from the growing area of both vegetable root crops and all agricultural products results in grows of the load on the machine-technology complex when harvesting. The reason is that in the structure of machine-technological complexes there are not devices providing the qualitative screening of the heap incoming for processing. The purpose of the study is to identify the areas with the minimum value of soil screening on the rod elevator surface depending on the elevator apron angle and to develop recommendations and proposals for improving the separation quality.

Materials and Methods. The article describes the methodology and results of laboratory studies of rod elevators with an asymmetric arrangement of web agitators and an adjustable elevator apron angle to determine the soil screening quality on its surface. We used the method of comprehensive assessment of the quality and stability of technological operations based on quantitative optimization criteria.

Results. The highest value of the screened soil weight is at the wavelength attenuation section of the rod elevator working branch 1,020 mm cause by action of the elliptical web agitator at an elevation angle of 5 gon.

Discussion and Conclusion. The rod elevator with asymmetric arrangement of web agitators and adjustable elevator apron angle increases the soil screening quality along the entire length of the elevator apron by 10 %, and therefore increases the completeness of separation of root crops from soil impurities.

Keywords: rod elevator, web agitator, elevation angle, heap, forward speed, screening quality, soil impurities

Funding: The study was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation (SP-1004.2021.1).

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

For citation: Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(3):380-402. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.380-402>

Введение

Современные исследования машинного производства корнеплодов и лука не в полной мере решает проблему

наличия почвенных и растительных примесей при закладке товарной продукции на хранение [1–4]. Конструктивное исполнение сепарирующих

поверхностей машин для уборки корнеплодов и лука с различными видами интенсификаторов повышает качество уборки механических примесей в товарной продукции [5–7]. Однако использование данных рабочих органов приводит к повышению травмируемости овощной продукции, что происходит из-за отсутствия функционирующих элементов в конструкции машинно-технологических комплексов, определяющих качественное отделение поступающего на обработку вороха [8–11].

Данное обстоятельство обусловлено сильным развитием плужной подошвы при производстве корнеклубнеплодов, выраженным плотным горизонтом, что препятствует проникновению воды вглубь почвы, а также затрудняет развитие корнеклубнеплодов [12–15].

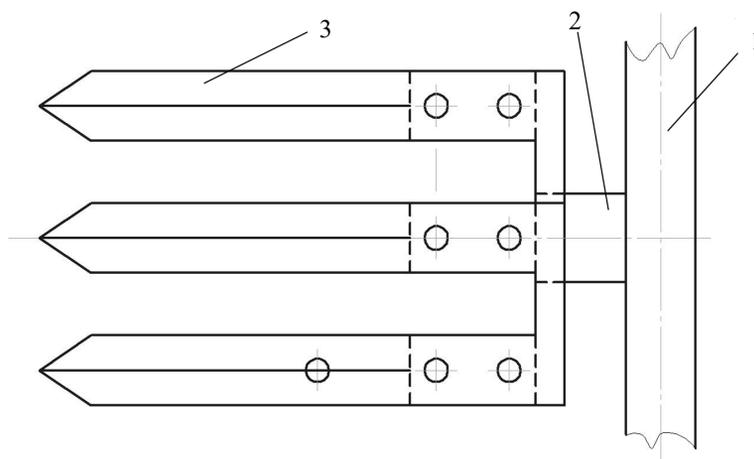
Плотность почвы зависит от гранулометрического и минерального состава, структуры и содержания гумуса, поэтому исключить образование плотных почвенных слоев, формирующих почвенные комки при взаимодействии

с корнеизвлекающими устройствами, не представляется возможным. Необходимо обеспечить разработку машин и технологий, способствующих отделению механических примесей на функционирующих элементах машинно-технологических комплексов для уборки овощных корнеклубнеплодов [16–19].

Цель исследования – выявление участков с минимальной величиной просеивания почвы на поверхности пруткового элеватора в зависимости от угла наклона полотна, а также разработка рекомендаций и предложений по повышению полноты сепарации.

Обзор литературы

Для снижения вероятности попадания на устройства для очистки уборочных машин почвенных примесей совместно с товарной продукцией сконструированы рабочие органы для извлечения корнеплодов из почвы. К основным признакам данных устройств следует отнести наличие рабочей поверхности, выполненной в виде прутковой поверхности (рис. 1), что способствует предварительной сепарации на этапе извлечения [20; 21].



Р и с. 1. Общий вид подкапывающего лемеха с прутковой поверхностью:
1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – элемент подкапывающий

F i g. 1. General view of a burrowing share with a rod surface:
1 – frame; 2 – bracket; 3 – dripping element

Следует отметить, что данное конструктивное исполнение подкапывающего рабочего органа не в полной мере способствует уменьшению примесей на этапе извлечения корнеплодов из почвы [22; 23].

В настоящее время сепарирующие поверхности машин для уборки корнеплодов и лука разрабатываются с различными видами интенсификаторов, обеспечивающих повышение качества уборки [24–27].

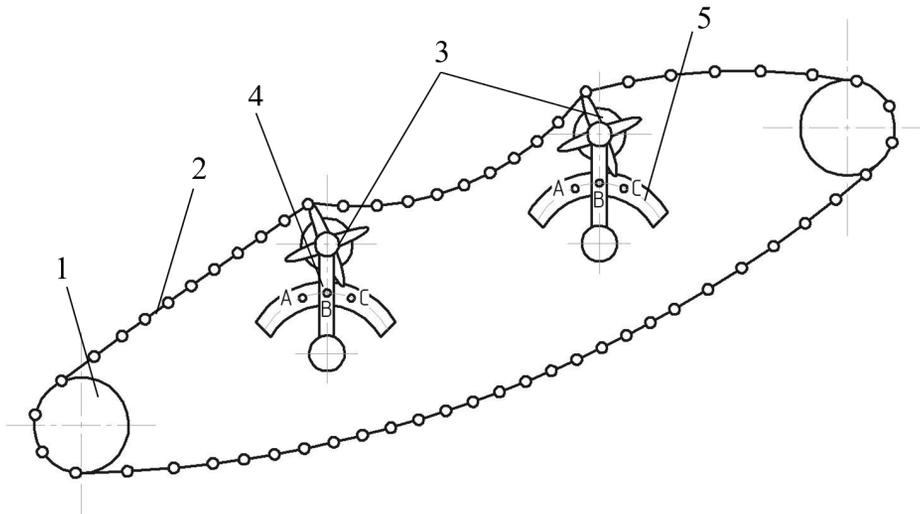
Сепарирующая поверхность пруткового элеватора выполнена с возможностью изменения амплитуды колебания полотна пруткового элеватора 2 перемещением рычага регулировки амплитуды 4 по направляющей 5 (рис. 2) для интенсификации процесса сепарации вороха корнеплодов и лука [5; 28–30]

Основным назначением механизма изменения амплитуды колебания полотна пруткового элеватора 2 при влиянии на рабочую поверхность трехплечикового встряхивателя 3 является интенсивное воздействие на

обрабатываемый ворох почвенно-растительных примесей. Его наличие обусловлено отрицательным инерционным воздействием от силы тяжести, что может травмировать товарную продукцию.

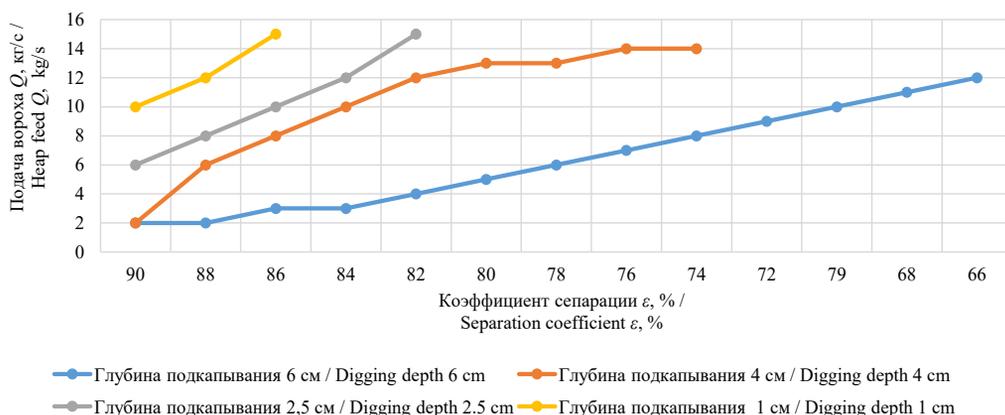
Одним из лимитирующих факторов, способствующих повышению качества уборки корнеклубнеплодов и лука, является несовершенство конструкции рабочих органов, что подтверждают результаты исследований технологического процесса подкапывания клубнеплодного вороха [6], свидетельствующие о снижении полноты очистки при повышении подачи вороха на сепарирующие устройства уборочной машины при увеличении глубины подкапывания и поступательной скорости движения (рис. 3).

Полученные А. А. Сорокиным эмпирические зависимости направлены на проектирование щелевых рабочих органов, определяющих качественные показатели очистки без устройств, интенсифицирующих процесс сепарации [7].



Р и с. 2. Общий вид сепарирующего пруткового элеватора: 1 – реверсивный резиновый ролик; 2 – полотно прутковое; 3 – встряхиватель; 4 – рычаг регулировки амплитуды; 5 – направляющая

F i g. 2. Separating chain digger: 1 – reversing rubber wheel; 2 – separation sieve; 3 – web agitators; 4 – front adjustment rubber wheel; 5 – guide



Р и с. 3. График зависимости коэффициента сепарации ε от подачи вороха Q :
1, 2, 3, 4 – глубина подкапывания 6,0, 4,0, 2,5, 1,0 см

Fig. 3. Dependence plot of the separation coefficient ε on the supply of the heap Q :
1, 2, 3, 4 – digging depth 6.0, 4.0, 2.5, 1.0 cm

Следовательно, проектирование, разработка и изготовление устройств первичной и вторичной очистки с установленными интенсификаторами сепарации современных машин для уборки корнеклубнеплодов на основании ранее полученных исследований не представляются возможными.

Для качественной уборки товарной продукции в современных условиях производства, в соответствии с агротехническими требованиями, необходимо не только дополнительное оснащение сепарирующих рабочих органов различными типами устройств, интенсифицирующими процесс очистки, но и определение закономерностей процесса сепарации при проектировании функционирующих элементов очистки. [5].

Данное обстоятельство связано с неудовлетворительным процессом просеивания почвенных примесей на наиболее распространенном рабочем органе первичной сепарации – прутковом элеваторе [6].

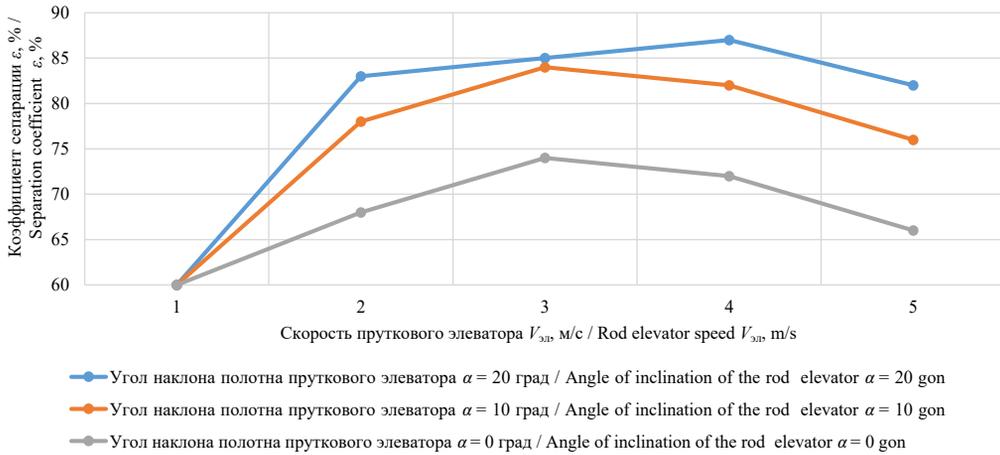
В ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» разработан сепарирующий прутковый элеватор с асимметричным расположением

встряхивателей, обеспечивающий повышение качества очистки при снижении повреждений корнеклубнеплодов, конструктивное исполнение которого было представлено ранее [5; 6].

Известно, что сепарирующая способность пруткового элеватора зависит от угла наклона α и скорости движения элеватора $V_{эл}$ (рис. 4).

Определено, что повышение коэффициента сепарации ε до предельного положительного значения определяется при пропорциональной зависимости увеличения поступательной скорости $V_{эл}$ движения очистительного устройства с целевой рабочей поверхностью до предельного значения, достижение которого приводит к ухудшению вышеназванного показателя качества уборки.

При этом наиболее предпочтительным интервалом поступательной скорости движения сепарирующих устройств машин для уборки корнеклубнеплодов и лука является значение 2,0–2,5 м/с, при исключении неравномерности распределения вороха по рабочей поверхности очистительного рабочего органа.



Р и с. 4. График зависимости коэффициента сепарации пруткового элеватора ε от угла наклона пруткового элеватора α и поступательной скорости движения $V_{эл}$

F i g. 4. The dependence of the separation coefficient of the rod elevator ε on the angle of inclination of the rod elevator α and travel speed $V_{эл}$

Высокие технологические показатели машинной уборки корнеклубнеплодов и лука приводят к снижению качества технологического процесса. Следовательно, необходимы исследования по выявлению участков с минимальной величиной просеивания почвы на поверхности пруткового элеватора в зависимости от угла наклона полотна, а также разработка рекомендаций и предложений по их повышению.

Результаты исследования позволяют разработать очистительные функционирующие элементы машинно-технологических комплексов для уборки корнеклубнеплодов и лука при известных величинах просеиваемости почвы по длине и ширине рабочего органа с щелевой поверхностью в установленных значениях подачи вороха на обработку.

Материалы и методы

Определение закономерности процесса очистки на представленных выше функционирующих элементах уборочных машин производилось на лабораторной установке (рис. 5) [6; 24].

Technologies and means of agricultural mechanization

Под верхней рабочей ветвью щелевого функционирующего элемента 3 установлены интенсификаторы сепарации, представляющие собой эллиптический встряхиватель 4 и поддерживающий ролик 5 с вариантом изменения расположения по длине полотна щелевого функционирующего элемента 3 по раме 1 на стойках встряхивателей 12 с закреплением соединительного раме 13 на раме 1.

Для определения массового и фракционного состава почвы на сходе с щелевого функционирующего элемента 3 в конструкции лабораторного стенда предусмотрен брезент сепарированной продукции 6 для сбора примесей.

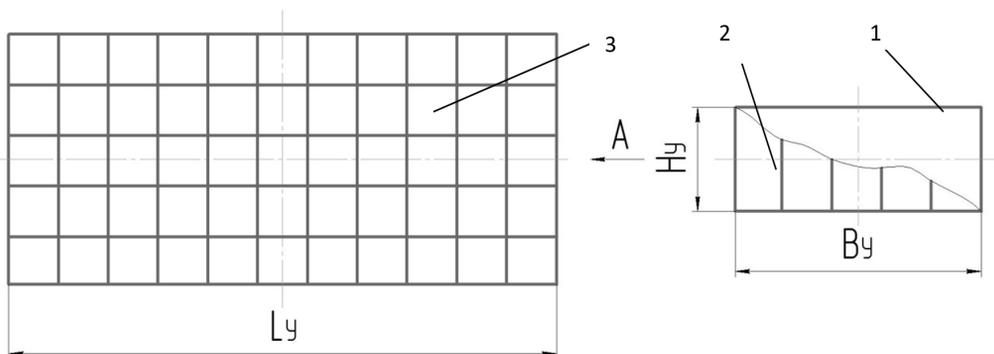
Изменение угла наклона щелевого функционирующего элемента 3 осуществлялось перемещением стоек 11 по раме 1 фиксированием болтовым соединением.

Для определения количества просеянной почвы через щелевой функционирующий элемент 3 под его поверхностью установлено устройство сбора примесей 15, схема которого представлена на рисунке 6.



Р и с. 5. Общий вид лабораторной установки для определения влияния технологических параметров сепарирующего пруткового элеватора на качественные показатели сепарации вороха лука-севка: 1 – рама; 2 – емкость для предварительного размещения вороха; 3 – щелевой функционирующий элемент; 4 – эллиптический встряхиватель; 5 – поддерживающий ролик; 6 – брезент сепарированной продукции; 7 – электродвигатель; 8 – редуктор одноступенчатый; 9 – преобразователь частотный; 10 – передача цепная; 11 – стойки опорные; 12 – стойки встряхивателей; 13 – кронштейн соединительный; 14 – плита опорная; 15 – устройство сбора примесей [1; 5]

Fig. 5. Laboratory installation for determining the impact of the process parameters of the separating rod elevator on the quality of onion set heap separation: 1 – frame; 2 – container for preliminary heap placement; 3 – chain digger; 4 – elliptical web agitator; 5 – supporting roller; 6 – tarpaulin of separated products; 7 – electric motor; 8 – single-stage gearbox; 9 – frequency converter; 10 – chain transmission; 11 – support posts; 12 – web agitator posts; 13 – connecting bracket; 14 – support plate; 15 – impurity collector



Р и с. 6. Устройство сбора примесей: 1 – лоток металлический; 2 – перегородка; 3 – ячейка
 Fig. 6. General view of the impurity collector: 1 – metal tray; 2 – partition; 3 – cell

Устройство для сбора примесей (рис. 6) представляет из себя металлический лоток 1 длиной $L_y = 2\ 040$ мм и шириной $B_y = 1\ 020$ мм. Данные показатели превышают соответствующие величины пруткового элеватора.

Поверхность металлического лотка 1 разделена по длине и ширине перегородками 2, образующими ячейки 3 с высотой H_y и размерами $170 \times 170 \times 100$ мм. Каждая ячейка для определения места просеивания почвы по поверхности пруткового элеватора имеет свой порядковый номер.

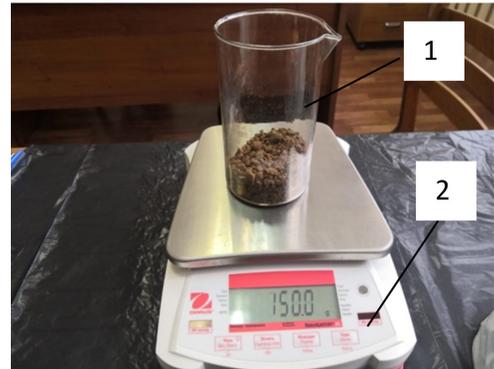
Исследования по определению закономерности процесса сепарации почвенных примесей на прутковом элеваторе с асимметричным расположением встряхивателей проводились при минимальной подаче вороха лука-севка $Q_{\text{вп}} = 10$ кг/с [9]. Достижение предельного значения подачи $Q_{\text{вп}} = 30$ кг/с выполнялось с интервалом варьирования в 10 кг/с при изменении поступательной скорости движения функционирующего элемента $V_{\text{эл}}$ с щелевой рабочей поверхностью. Серия экспериментов проводилась при изменении межосевого расстояния S_1 между пассивным эллиптическим встряхивателем 4 и поддерживающим роликом 5 (рис. 5) при установленных режимных и технологических параметрах для исследуемого значения подачи вороха $Q_{\text{вп}} = 10, 20, 30$ кг/с [1; 9].

Методика проведения исследований заключалась в следующем. Проба почвы с определенным весом и влажностью укладывалась на поверхность емкости 2 для предварительного размещения вороха. Требуемая влажность почвы создавалась гидравлическим воздействием с последующей выдержкой по времени для получения верхнего значения искомой влажности почвы. Под щелевым функционирующим элементом 3 устанавливалось устройство для сбора примесей 15.

Оптимальные значения поступательной скорости движения пруткового элеватора $V_{\text{эл}}$ и межосевого расстояния между пассивным эллиптическим встряхивателем 4 и поддерживающим роликом 5 S_1 установили в соответствии с результатами проведенных лабораторных исследований.

Выполнялась требуемая синхронная работа частотного преобразователя 9 и электродвигателя 7. Проба почвенных примесей подавалась при равномерном движении сепарирующего рабочего органа 3 из емкости для предварительного размещения вороха 2. Электродвигатель 7 отключали после прохождения почвенных примесей через сепарирующую поверхность пруткового элеватора 2 при исследуемом значении подачи почвенных примесей $Q_{\text{вп}}$.

Далее из каждой ячейки устройства для сбора примесей 15 извлекалась почва и взвешивалась на весах модели МК-15.2-A21 (рис. 7).



Р и с. 7. Весы электронные настольные МК-15.2-A21: 1 – колба стеклянная; 2 – весы электронные настольные

F i g. 7. Electronic desktop scales МК-15.2-A21: 1 – a glass bulb; 2 – electronic table scales

По результатам взвешивания просеянной почвы, изъятой из каждой ячейки устройства для сбора примесей и прошедшей через щелевые отверстия пруткового элеватора, определялась зависимость массы просеянных почвенных примесей $K_{\text{пр}}$ по длине $L_{\text{эл}}$ и ширине $B_{\text{эл}}$ пруткового элеватора:

$$\begin{aligned} f(K_{\text{пр}}) &= Q_{\text{вп}}, V_{\text{эл}} = \text{const}; \\ S_1 &= \text{const}; \alpha = \text{const}. \end{aligned} \quad (2)$$

Кроме того, определялся коэффициент сепарации почвенных примесей K_c на прутковом элеваторе с асимметричным расположением встряхивателей по его длине $L_{эл}$ и ширине $B_{эл}$:

$$K_c = (m_{пр} / m_{пост}) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $m_{пр}$ – масса просеянных почвенных примесей (в устройстве сбора примесей), кг; $m_{пост}$ – масса поступивших почвенных примесей, кг.

Результаты исследования

Результаты проведенных исследований заносились в журнал наблюдений и представлены в таблицах 1–8.

Графическое отображение результатов исследований по определению закономерности сепарации почвенных примесей представлены на рисунках 8–15.

Используя представленные графические зависимости, можно определить массу просеянных почвенных примесей через щелевые отверстия пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при изменении подачи почвенных примесей $Q_{вп}$ с постоянными значениями технологических параметров $V_{эл} = \text{const}$; $S_1 = \text{const}$; $\alpha = \text{const}$.

Для этого после определения соответствующего участка по длине пруткового элеватора необходимо провести параллельно оси ординат прямую до пересечения с графиком.

По оси абсцисс указана изменяемая длина пруткового элеватора, по оси ординат – масса просеянных почвенных примесей.

Представленные графические зависимости показывают, что интенсивность просеивания почвы на прутковом элеваторе с асимметричным расположением встряхивателей обеспечивается при увеличении подачи почвенных примесей от 10 до 30 кг/с. Данное обстоятельство объясняется тем, что

при перемещении массы почвенных примесей по поверхности пруткового элеватора происходит процесс расклинивания крупными частицами промежутков в почвенной массе. Так как в почвенной навеске большей массы имеется содержание крупных частиц, то и процесс просеивания происходит более интенсивно при увеличении подачи примесей на поверхность пруткового элеватора, в отличие от навески меньшей массы. Максимальное значение массы $K_{пр}$ просеянной почвы, вне зависимости от значения подачи почвенных примесей, наблюдается на участке затухания длины волны рабочей ветви пруткового элеватора, что обусловлено воздействием эллиптического встряхивателя на соответствующей длине пруткового элеватора $L_{эл} = 1\,020$ мм.

При дальнейшем продвижении почвенной массы по длине пруткового элеватора происходит снижение интенсивности процесса просеивания почвенных примесей в результате затухания длины волны рабочей ветви пруткового элеватора от воздействия эллиптического встряхивателя.

Обсуждение и заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что основная масса почвенных примесей просеивается на участке расположения встряхивателей, формирующих длину волны встряхивания, которая при проведении исследований устанавливалась в интервале значений $S_1 = 0,2–0,4$ м.

Полученные результаты исследований позволят обеспечить интенсификацию процесса сепарации корнеклубнеплодов и луковиц от почвенных примесей с помощью оптимального расположения встряхивателей по длине пруткового элеватора при известных значениях максимальной просеиваемости почвенных примесей.

Таблица 1
Table 1

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей $K_{пр}$ по поверхности пруткового элеватора при $Q_{бн} = 10$ кг/с, $V_{зт} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities $K_{пр}$ along the rod elevator surface at $Q_{бн} = 10$ kg/s, $V_{зт} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зт}$, мм / Chain Digger Width $B_{зт}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зт}$, мм / Chain Digger Length $L_{зт}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,03	0,04	0,13	0,15	0,13	0,16	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,08
340	0,05	0,07	0,15	0,18	0,15	0,17	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
510	0,06	0,07	0,24	0,25	0,32	0,28	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12
680	0,07	0,08	0,26	0,28	0,33	0,29	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09
850	0,06	0,08	0,25	0,27	0,33	0,29	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
1 020	0,05	0,06	0,18	0,20	0,21	0,20	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07
												9,93

Таблица 2
Table 2

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей $K_{пр}$ по поверхности пруткового элеватора при $Q_{бн} = 20$ кг/с, $V_{зт} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities $K_{пр}$ along the rod elevator surface at $Q_{бн} = 20$ kg/s, $V_{зт} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зт}$, мм / Chain Digger Width $B_{зт}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зт}$, мм / Chain Digger Length $L_{зт}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,08	0,11	0,23	0,35	0,43	0,36	0,09	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
340	0,08	0,10	0,23	0,36	0,42	0,37	0,12	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09
510	0,11	0,15	0,38	0,59	0,68	0,64	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,15
680	0,11	0,15	0,41	0,64	0,71	0,75	0,30	0,27	0,24	0,22	0,21	0,17
850	0,12	0,14	0,48	0,57	0,68	0,69	0,28	0,26	0,21	0,19	0,18	0,16
1 020	0,11	0,15	0,38	0,43	0,52	0,54	0,24	0,23	0,21	0,22	0,13	0,12
												19,68

Таблица 3
Table 3

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей K_{np} по поверхности
 пруткового элеватора при $Q_{вн} = 30$ кг/с, $V_{зп} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град
 Results of research to determine the weight of screened soil impurities K_{np} along the rod elevator surface
 at $Q_{вн} = 30$ kg/s, $V_{зп} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зп}$, мм / Chain digger width $B_{зп}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зп}$, мм / Chain digger length $L_{зп}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,09	0,11	0,46	0,57	0,68	0,75	0,21	0,18	0,15	0,11	0,12	0,10
340	0,09	0,12	0,58	0,65	0,71	0,84	0,28	0,25	0,22	0,15	0,14	0,12
510	0,11	0,12	0,71	0,78	0,83	0,93	0,31	0,27	0,24	0,17	0,16	0,15
680	0,11	0,15	0,78	0,88	0,97	0,92	0,46	0,39	0,38	0,36	0,32	0,26
850	0,10	0,14	0,79	0,87	0,94	0,92	0,45	0,37	0,35	0,33	0,32	0,28
1 020	0,10	0,11	0,76	0,79	0,88	0,96	0,31	0,28	0,23	0,16	0,15	0,13

 Таблица 4
Table 4

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей K_{np} по поверхности
 пруткового элеватора при $Q_{вн} = 10$ кг/с, $V_{зп} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град
 Results of research to determine the weight of screened soil impurities K_{np} along the rod elevator surface
 at $Q_{вн} = 10$ kg/s, $V_{зп} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зп}$, мм / Chain Digger Width $B_{зп}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зп}$, мм / Chain digger length $L_{зп}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,03	0,05	0,14	0,27	0,21	0,23	0,04	0,07	0,08	0,07	0,11	0,05
340	0,04	0,03	0,18	0,33	0,25	0,26	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03
510	0,06	0,06	0,20	0,30	0,38	0,31	0,11	0,09	0,10	0,09	0,10	0,07
680	0,03	0,03	0,22	0,27	0,41	0,37	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,04
850	0,02	0,05	0,18	0,42	0,38	0,41	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,05
1 020	0,03	0,07	0,15	0,41	0,47	0,43	0,10	0,08	0,06	0,08	0,07	0,06



Таблица 5
Table 5

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей K_{np} по поверхности пруткового элеватора при $Q_{вн} = 20$ кг/с, $V_{зп} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities K_{np} along the rod elevator surface at $Q_{вн} = 20$ kg/s, $V_{зп} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зп}$, мм / Chain Digger Width $B_{зп}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зп}$, мм / Chain digger length $L_{зп}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,07	0,08	0,21	0,38	0,47	0,41	0,08	0,09	0,10	0,11	0,10	0,08
340	0,06	0,09	0,23	0,41	0,44	0,40	0,14	0,11	0,09	0,10	0,08	0,07
510	0,09	0,12	0,31	0,64	0,73	0,68	0,35	0,28	0,21	0,18	0,15	0,12
680	0,10	0,10	0,34	0,68	0,75	0,77	0,38	0,30	0,24	0,22	0,18	0,12
850	0,10	0,10	0,43	0,70	0,73	0,76	0,32	0,34	0,27	0,21	0,23	0,14
1 020	0,10	0,12	0,33	0,52	0,58	0,60	0,26	0,25	0,28	0,25	0,18	0,10

Таблица 6
Table 6

Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей K_{np} по поверхности пруткового элеватора при $Q_{вн} = 30$ кг/с, $V_{зп} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities K_{np} along the rod elevator surface at $Q_{вн} = 30$ kg/s, $V_{зп} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{зп}$, мм / Chain Digger Width $B_{зп}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{зп}$, мм / Chain Digger Length $L_{зп}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,05	0,08	0,24	0,58	0,72	0,78	0,36	0,28	0,23	0,24	0,18	0,20
340	0,06	0,11	0,34	0,69	0,77	0,89	0,38	0,31	0,29	0,25	0,19	0,19
510	0,15	0,16	0,37	0,82	0,87	0,98	0,37	0,33	0,31	0,25	0,18	0,21
680	0,18	0,21	0,42	0,91	0,92	0,92	0,46	0,41	0,41	0,40	0,38	0,36
850	0,12	0,16	0,42	0,93	0,96	0,95	0,53	0,42	0,44	0,43	0,42	0,34
1 020	0,14	0,16	0,45	0,89	0,90	0,92	0,38	0,31	0,27	0,19	0,18	0,15

Таблица 7
Table 7

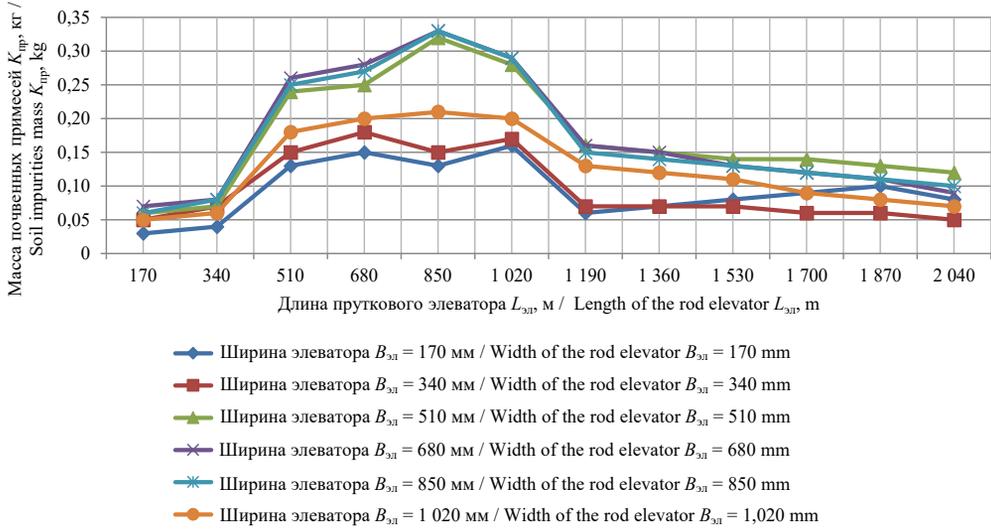
Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей $K_{пр}$ по поверхности пруткового элеватора при $Q_{вн} = 10$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 20$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities $K_{пр}$ along the rod elevator surface at $Q_{вн} = 10$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 20$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{эл}$, мм / Chain Digger Width $B_{эл}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{эл}$, мм / Chain Digger Length $L_{эл}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,05	0,07	0,19	0,18	0,18	0,16	0,14	0,14	0,11	0,09	0,09	0,07
340	0,05	0,07	0,20	0,24	0,22	0,21	0,18	0,19	0,17	0,11	0,11	0,10
510	0,06	0,06	0,18	0,25	0,26	0,25	0,16	0,15	0,15	0,12	0,12	0,11
680	0,06	0,07	0,19	0,25	0,25	0,26	0,17	0,17	0,15	0,11	0,11	0,09
850	0,05	0,05	0,18	0,32	0,33	0,35	0,18	0,16	0,14	0,12	0,13	0,08
1 020	0,05	0,08	0,17	0,23	0,26	0,25	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11	0,11

 Таблица 8
Table 8

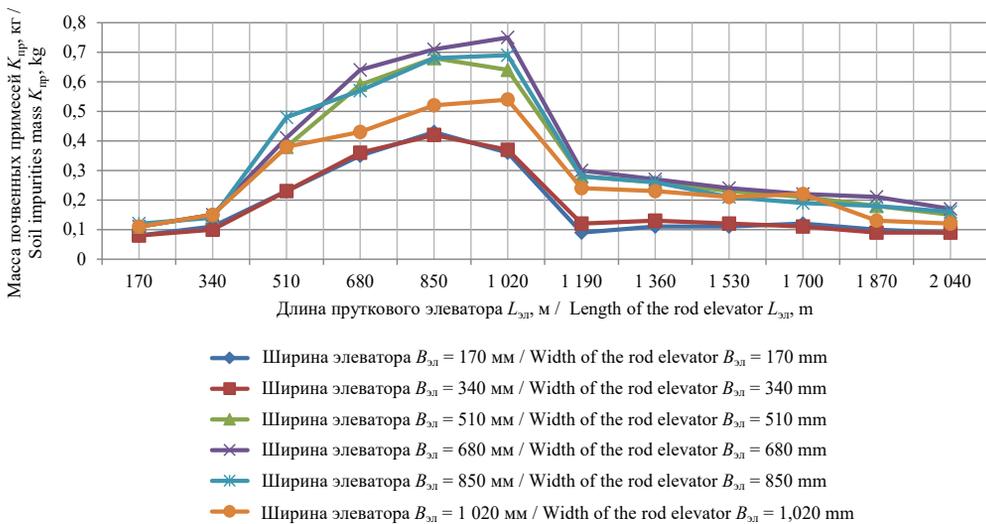
Результаты исследований по определению массы просеянных почвенных примесей $K_{пр}$ по поверхности пруткового элеватора при $Q_{вн} = 20$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 20$ град
Results of research to determine the weight of screened soil impurities $K_{пр}$ along the rod elevator surface at $Q_{вн} = 20$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 20$ gon

Ширина пруткового элеватора $B_{эл}$, мм / Chain Digger Width $B_{эл}$, mm	Длина пруткового элеватора $L_{эл}$, мм / Chain Digger Length $L_{эл}$, mm										Итого, кг / Total, kg	
	170	340	510	680	850	1 020	1 190	1 360	1 530	1 700		1 870
170	0,09	0,07	0,23	0,48	0,32	0,36	0,32	0,28	0,11	0,12	0,11	0,11
340	0,10	0,08	0,26	0,48	0,34	0,38	0,39	0,28	0,12	0,12	0,11	0,11
510	0,10	0,13	0,26	0,42	0,36	0,47	0,46	0,31	0,19	0,15	0,13	0,12
680	0,09	0,14	0,35	0,55	0,48	0,47	0,41	0,38	0,20	0,21	0,14	0,15
850	0,08	0,14	0,46	0,56	0,58	0,48	0,46	0,40	0,26	0,22	0,20	0,12
1 020	0,08	0,15	0,38	0,57	0,54	0,44	0,48	0,36	0,28	0,22	0,18	0,14



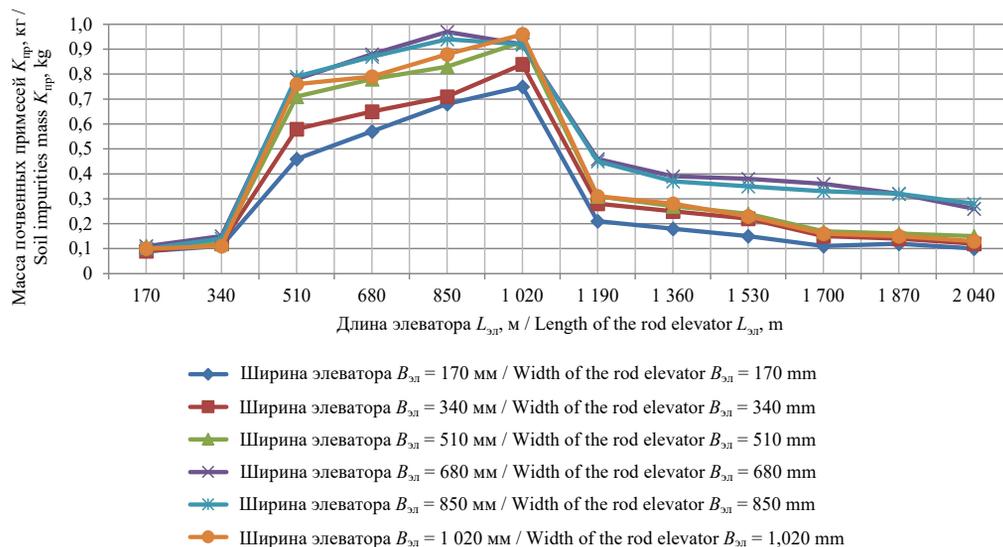
Р и с. 8. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вп} = 10$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град

F i g. 8. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric arrangement of web agitators at $Q_{вп} = 10$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon



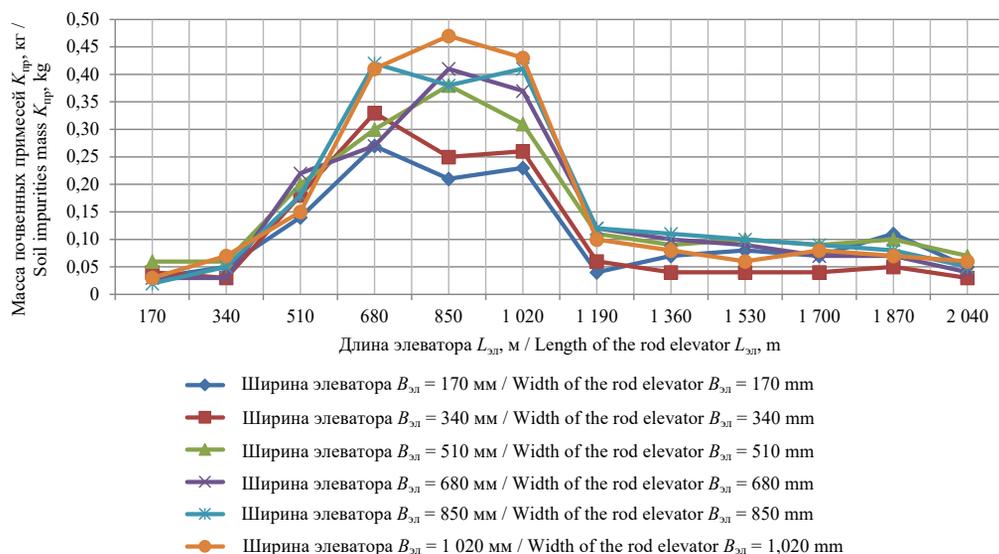
Р и с. 9. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вп} = 20$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град

F i g. 9. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with asymmetric arrangement of web agitators at $Q_{вп} = 20$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon



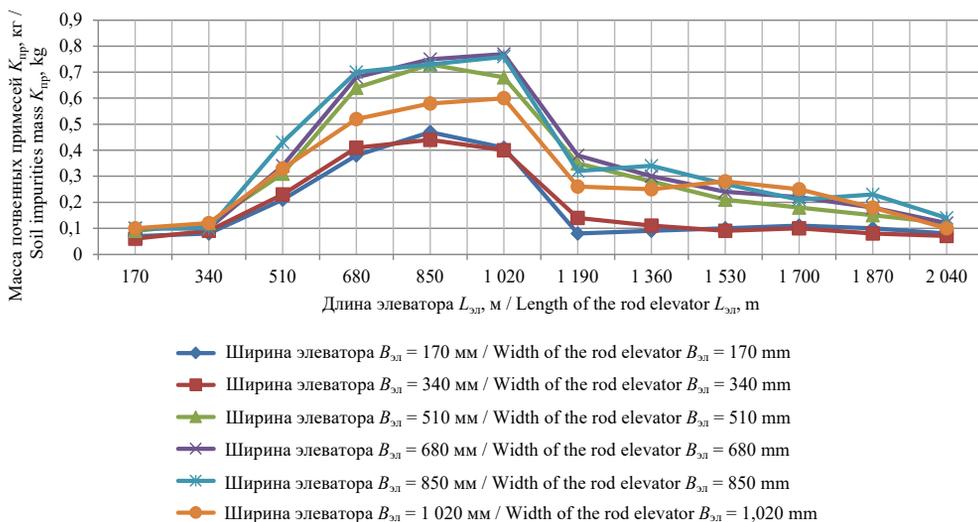
Р и с. 10. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{\text{вн}} = 30$ кг/с, $V_{\text{эл}} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 10$ град

F i g. 10. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{\text{вн}} = 30$ kg/s, $V_{\text{эл}} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 10$ gon



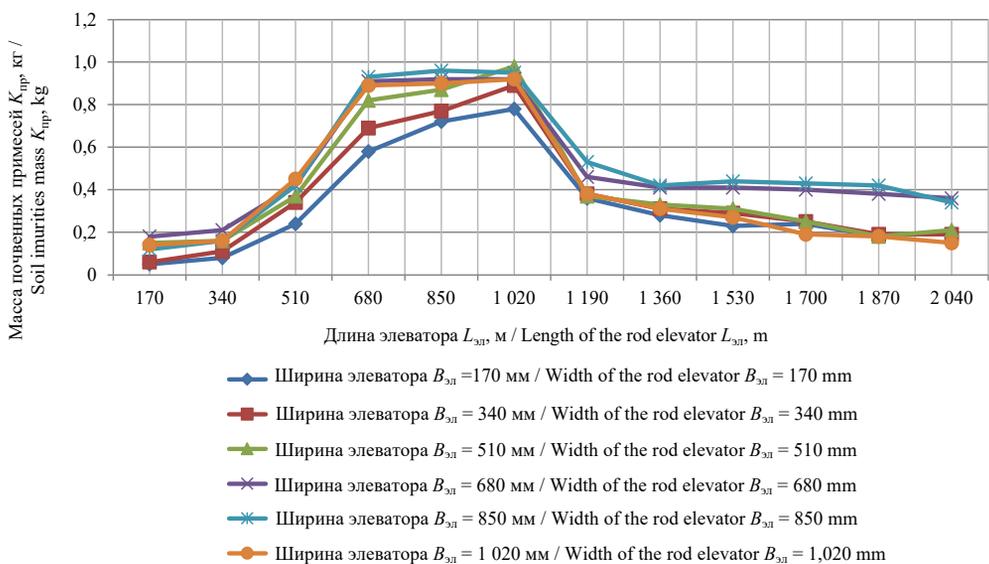
Р и с. 11. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{\text{вн}} = 10$ кг/с, $V_{\text{эл}} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град

F i g. 11. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{\text{вн}} = 10$ kg/s, $V_{\text{эл}} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon



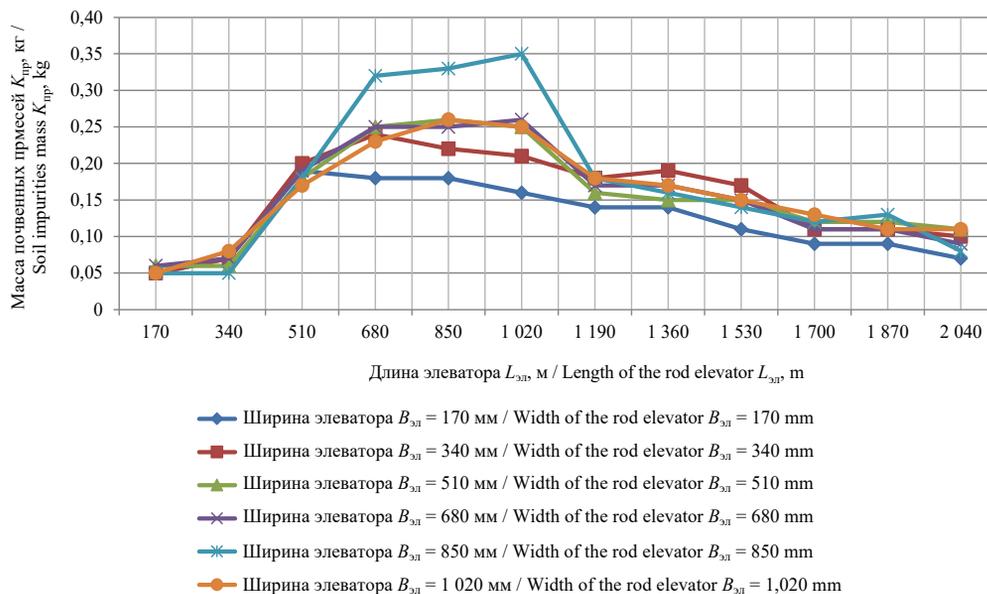
Р и с. 12. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вн} = 20$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град

F i g. 12. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{вн} = 20$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon



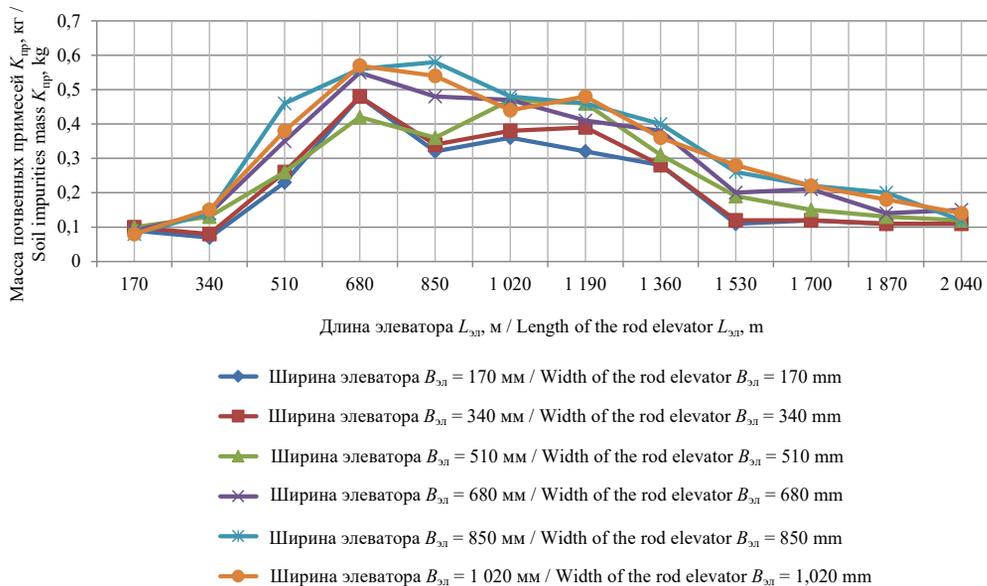
Р и с. 13. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вн} = 30$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 15$ град

F i g. 13. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{вн} = 30$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 15$ gon



Р и с. 14. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вн} = 10$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 20$ град

F i g. 14. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{вн} = 10$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 20$ gon



Р и с. 15. Зависимость просеивания почвы по длине и ширине пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей при $Q_{вн} = 20$ кг/с, $V_{эл} = 1,6$ м/с, $S_1 = 0,4$ м, $\alpha = 20$ град

F i g. 15. Dependence of soil screening along the length and width of the rod elevator with an asymmetric web agitator arrangement at $Q_{вн} = 20$ kg/s, $V_{эл} = 1.6$ m/s, $S_1 = 0.4$ m, $\alpha = 20$ gon



Приведенные данные указывают на высокую интенсивность процесса просеивания почвы на участке пруткового элеватора с оптимальным расположением встряхивателей. Затронутая проблема нуждается в разработке и станет объектом дальнейших исследований коллектива авторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Сибирёв, А. В.** Обоснование конструктивных и технологических параметров сепарирующего пруткового транспортера с асимметричным расположением встряхивателей / А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2018. – № 4. – С. 15–20. – URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2018-04.pdf/download/vmgau-02-2018-04.pdf> (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
2. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger / T. Asghar, A. Ghafoor, A. Munir [et al.] // Asian Journal of Science and Technology. – 2014. – Vol. 5, Issue 7. – Pp. 389–394. – URL: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (дата обращения: 18.12.2020).
3. **Akdemir, B.** Mechanized Panting and Harvesting of Onion / B. Akdemir, P. Ulger, S. Arin // Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America. – 1993. – Vol. 24, Issue 4. – Pp. 23–26. – URL: https://www.researchgate.net/publication/289056030_Mechanized_panting_and_harvesting_of_onion (дата обращения: 18.12.2020).
4. **Sibirev, A. V.** Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator / A. V. Sibirev, A. G. Aksenov, M. A. Mosyakov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 13, Issue 23. – Pp. 10086–10091. – URL: https://www.researchgate.net/publication/329752893_Experimental_laboratory_research_of_separation_intensity_of_onion_set_heaps_on_rod_elevator (дата обращения: 18.12.2020).
5. **Сибирёв, А. В.** Результаты экспериментальных исследований сепарации вороха лука-севка на прутковом элеваторе с асимметрично установленными встряхивателями / А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201901.091-107 // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 1. – С. 91–107. – Рез. англ.
6. **Дорохов, А. С.** Результаты полевых исследований машины для уборки лука-севка, оснащенной прутковым элеватором с асимметричным расположением встряхивателей / А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202001.133-148 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 133–148. – Рез. англ.
7. **Pasaman, B.** The Determination of the Parameters of a Ploughshare-Rotor Potato Digger / B. Pasaman, V. Zakharchuk // ECONTECHMOD. – 2012. – no. 2. – Pp. 43–47. – URL: <http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication/98931/edition/85237/content> (дата обращения: 18.12.2020).
8. **Abd El-Rahman, M. M.** Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets / M. M. Abd El-Rahman. – DOI 10.21608/JSSAE.2011.55418 // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. – 2011. – Vol. 2, Issue 2. – Pp. 213–226.
9. **Khura, T. I C A R** Design and Development of Tractor-Drawn Onion (Allium Cepa) Harvester / T. Khura, I. Mani, A. Srivastava // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2011. – Vol. 81, Issue 6. – Pp. 528–532. – URL: https://www.researchgate.net/publication/267251851_I_C_A_R_Design_and_development_of_tractor-drawn_onion_Allium_cepa_harvester (дата обращения: 18.12.2020).
10. **Indraja, D.** A Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / D. Indraja, J. Ajkhilesh, P. Vishal [et al.] // Journal of Information and Computational Science. – 2019. – Vol. 9, Issue 12. – Pp. 333–337. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (дата обращения: 18.12.2020).
11. **Bachche, S.** Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey / S. Bachche. – DOI 10.3390/robotics4020194 // Robotics. – 2015. – Vol. 4, Issue 2. – Pp. 194–222.

12. **Dai, F.** Design and Experiment of Combined Operation Machine for Potato Harvesting and Plastic Film Pneumatic Auxiliary Collecting / F. Dai, W. Zhao, W. Sun. – DOI 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009 // Transactions of the CSAM. – 2018. – Vol. 49, Issue 3. – Pp. 104–113.
13. Stability Tests of Two-Finger Tomato Grasping for Harvesting Robots / Z. Li, P. Li, H. Yang, Y. Wang. – DOI 10.1016/j.biosystemseng.2013.07.017 // Biosystems Engineering. – 2013. – Vol. 116, Issue 2. – Pp. 163–170.
14. О взаимодействии клубненосного пласта с рабочими органами копателя / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Н. Н. Якутин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2018. – № 4 (40). – С. 161–167. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36673758> (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
15. Исследование тягового сопротивления лемеха с переменным углом наклона / Э. О. Нестерович, Н. В. Бышов, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2018. – № 1 (37). – С. 84–89. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35056434> (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
16. Модернизация копателя КСТ-1,4 / Н. В. Бышов, Н. Н. Якутин, Р. Ю. Ковешников [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2016. – № 2 (30). – С. 75–78. – URL: http://vestnik.rgatu.ru/archive/2016_2.pdf (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
17. **Bachche, S.** Modeling and Performance Testing of End-Effector for Sweet Pepper Harvesting Robot / S. Bachche, K. Oka. – DOI 10.20965/jrm.2013.p0705 // Journal of Robotics and Mechatronics. – 2013. – Vol. 25, Issue 4. – Pp. 705–717.
18. **Якутин, Н. Н.** Результаты экспериментальных исследований процесса машинной уборки картофеля усовершенствованным копателем КТН-2В / Н. Н. Якутин, Н. В. Бышов, Г. К. Рембалович // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99 (5). – С. 1052–1061. – URL: <https://clck.ru/WcRIE> (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
19. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин, В. А. Смелик, И. З. Теплинский, О. Н. Первухина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – С. 315–319. – URL: <https://clck.ru/Wcs6y> (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.
20. **Протасов, А. А.** Технология и средства механизации для двухфазной уборки лука-репки / А. А. Протасов, С. А. Макаров. – DOI 10.28983/asj.v0i10.592 // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 59–62. – Рез. англ.
21. **Kumar, D.** Performance Evaluation of Tractor Drawn Potato Digger Cum – Elevator / D. Kumar, A. Tripathi // International Journal of Agricultural Science and Research. – 2017. – Vol. 7, Issue 2. – Pp. 433–448. – URL: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-50-1490605027-55.IJASRAPR201755.pdf> (дата обращения: 18.12.2020).
22. **Massah, J.** Effect of Blade Angle and Speed of Onion Harvester on Mechanical Damage of Onion Bulbs / J. Massah, A. Lotfi, A. Arabhosseini // Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America. – 2012. – Vol. 43, Issue 3. – Pp. 60–63. – URL: https://www.researchgate.net/publication/287778155_Effect_of_Blade_Angle_and_Speed_of_Onion_Harvester_on_Mechanical_Damage_of_Onion_Bulbs (дата обращения: 18.12.2020).
23. **Jothi Shanmugam, C.** Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine / C. Jothi Shanmugam, G. Senthilkumar // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, Issue 5. – Pp. 4489–4490. – URL: http://www.arpnjournals.org/jreas/research_papers/rp_2017/jreas_0817_6236.pdf (дата обращения: 18.12.2020).
24. **Mayer, V.** Measurement of Potato Tubers Resistance against Mechanical Loading / V. Mayer, D. Vejchar, L. Pastorková. – DOI 10.17221/708-RAE // Research in Agricultural Engineering. – 2008. – Vol. 54, Issue 1. – Pp. 22–31.



25. Патент № 2638190 Российская Федерация, МПК A01 D33/00. Сепарирующий транспортер корнеклубнеуборочной машины : № 2017107814 : заявл. 10.03.2017 : опубл. 12.12.2017 / Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Колчин Н. Н., Пономарев А. Г. ; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – 8 с. – URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002638190_20171212_C1_RU?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 18.12.2020). – Рез. англ.

26. Experiment on Poke Finger Wheel Type Potato Digger / J. Wu, H. Li, W. Sun [et al.]. – DOI 10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.016 // Transactions of the CSAE. – 2011. – Vol. 27, Issue 7. – Pp. 173–177.

27. Design and Experiment on Potato Digger of Disc Ce-Grate Type / L. R. Shi, J. M. Wu, W. Y. Zhao [et al.]. – Текст : непосредственный // Transactions of the CSAE. – 2012. – Vol. 28, Issue 24. – Pp. 15–21.

28. Experiment and Analysis of Potato-Soil Separation Based on Impact Recording Technology / Z. Weil, H. Li, Y. Mao [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2019. – Vol. 12, Issue 5. – Pp. 71–80. – URL: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4573> (дата обращения: 18.12.2020).

29. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M. K. Edriss, K. A. Al-Gaadi, A. A. Hassaballa [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. – Vol. 13, Issue 2. – Pp. 163–167. – URL: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (дата обращения: 18.12.2020).

30. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables / S. Cubero, N. Aleixos, E. Moltó [et al.]. – DOI 10.1007/s11947-010-0411-8 // Food and Bioprocess Technology. – 2011. – Vol. 4. – Pp. 287–502.

Поступила 20.12.2020; одобрена после рецензирования 25.01.2021; принята к публикации 07.02.2021

Об авторах:

Дорохов Алексей Семёнович, заместитель директора по научно-организационной работе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, Researcher ID: [H-4089-2018](https://orcid.org/0000-0002-4758-3843), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, dorokhov@rgau-msha.ru

Сибирёв Алексей Викторович, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), кандидат технических наук, Researcher ID: [M-6230-2016](https://orcid.org/0000-0002-9442-2276), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, sibirev2011@yandex.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), кандидат технических наук, Researcher ID: [V-5572-2017](https://orcid.org/0000-0002-9546-7695), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, 1053vim@mail.ru

Мосяков Максим Александрович, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), кандидат технических наук, Researcher ID: [A-8482-2019](https://orcid.org/0000-0002-5151-7312), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, maks.mosyakov@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования.

А. В. Сибирёв – литературный и патентный анализ, подготовка начального варианта текста.

А. Г. Аксенов – критический анализ.

М. А. Мосяков – проведение экспериментов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Determining Design and Technological Parameters of the Separating Rod Conveyor with Assymetrical Shakers. *Vestnik FGOU VPO "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Moscow Goryachkin Agroengineering University Bulletin. 2018; (4):15-20. Available at: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2018-04.pdf/download/vmgau-02-2018-04.pdf> (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Asghar T., Ghafoor A., Munir A., et al. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger. *Asian Journal of Science and Technology*. 2014; 5(7):389-394. Available at: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
3. Akdemir B., Ulger P., Arin S. Mechanized Panting and Harvesting of Onion. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*. 1993; 24(4):23-26. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289056030_Mechanized_panting_and_harvesting_of_onion (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
4. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13(23):10086-10091. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329752893_Experimental_laboratory_research_of_separation_intensity_of_onion_set_heaps_on_rod_elevator (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
5. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. The Results of the Experimental Study of Onions Separation Using a Rod Elevator with Asymmetric Installed Burners. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(1):91-107. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201901.091-107>
6. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. The Results of Field Tests of an Onion Set Harvesting Machine Equipped with a Shaker Arrangement Asymmetrical Bar Elevator. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(1):133-148. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.133-148>
7. Pasaman B., Zakharchuk V. The Determination of the Parameters of a Ploughshare-Rotor Potato Digger. *ECONTECHMOD*. 2012; (2):43-47. Available at: <http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication/98931/edition/85237/content> (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
8. Abd El-Rahman M.M. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2011; 2(2):213-226. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21608/JSSAE.2011.55418>
9. Khura T., Mani I., Srivastava A. I C A R Design and Development of Tractor-Drawn Onion (Allium Cepa) Harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011; 81(6):528-532. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267251851_I_C_A_R_Design_and_development_of_tractor-drawn_onion_Allium_cepa_harvester (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
10. Indrāja D., Ajkhilesh J., Vishal P., et al. A Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019; 9(12):333-337. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (accessed 18.12.2020). (In Eng.)
11. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey. *Robotics*. 2015; 4(2):194-222. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics4020194>
12. Dai F., Zhao W., Sun W. Design and Experiment of Combined Operation Machine for Potato Harvesting and Plastic Film Pneumatic Auxiliary Collecting. *Transactions of the CSAM*. 2018; 49(3):104-113. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009>
13. Li Z., Li P., Yang H., Wang Y. Stability Tests of Two-Finger Tomato Grasping for Harvesting Robots. *Biosystems Engineering*. 2013; 116(2):163-170. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.017>
14. Byshov N.V., Borychev S.N., Yakutin N.N., et al. On The Interaction of the Tuber Band with the Working Bodies of the Lifter. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* = Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev.

2018; (4):161-167. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36673758> (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

15. Nesterovich E.O., Byshov N.V., Kostenko M.Yu., et al. Investigation of the Lemech Type Resistance with a Variable Tilt Angle. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* = Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2018; (1):84-89. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35056434> (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

16. Byshov N.V., Yakutin N.N., Koveshnikov R.Y., et al. Modernization of Digging Machine KST-1.4. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* = Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2016; (2):75-78. Available at: http://vestnik.rgatu.ru/archive/2016_2.pdf (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

17. Bachche S., Oka K. Modeling and Performance Testing of End-Effector for Sweet Pepper Harvesting Robot. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2013; 25(4):705-717. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.20965/jrm.2013.p0705>

18. Yakutin N.N., Byshov N.V., Rembalovich G.K. Results of Experimental Research of Improved Potato Digger KTN-2V Harvesting Process. *Politematicheskii setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2014; (99):1052-1061. Available at: <https://clck.ru/WcriE> (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

19. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., Pervukhina O.N. Choice and Justification Parameters of Ecological State in the Agroecosystem for Monitoring Technology Process Growing Agricultural Crops. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2015; (39):315-319. Available at: <https://clck.ru/Wcs6y> (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

20. Protasov A.A., Makarov S.A. Technology and Means of Mechanization for Two-Phase Harvesting of Seed Onion and Universal Harvesting Machines. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = Agrarian Scientific Journal. 2018; (10):59-62. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.v0i10.592>

21. Kumar D., Tripathi A. Performance Evaluation of Tractor Drawn Potato Digger Cum – Elevator. *International Journal of Agricultural Science and Research*. 2017; 7(2):433-448. Available at: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-50-1490605027-55.IJASRAPR201755.pdf> (accessed 18.12.2020). (In Eng.)

22. Massah J., Lotfi A., Arabhosseini A. Effect of Blade Angle and Speed of Onion Harvester on Mechanical Damage of Onion Bulbs. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*. 2012; 43(3):60-63. Available at: https://www.researchgate.net/publication/287778155_Effect_of_Blade_Angle_and_Speed_of_Onion_Harvester_on_Mechanical_Damage_of_Onion_Bulbs (accessed 18.12.2020). (In Eng.)

23. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017; 12(5):4489-4490. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0817_6236.pdf (accessed 18.12.2020). (In Eng.)

24. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of Potato Tubers Resistance against Mechanical Loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2008; 54(1):22-31. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.17221/708-RAE>

25. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Kolchin N.N., Ponomarev A.G. Separating Conveyor of Root and Tuber Crops Harvesting Machine. Patent 2,638,190 Russian Federation. 12 December 2017. 8 p. Available at: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002638190_20171212_C1_RU?page=1&rotate=0&theme=white (accessed 18.12.2020). (In Russ., abstract in Eng.)

26. Wu J., Li H., Sun W., et al. Experiment on Poke Finger Wheel Type Potato Digger. *Transactions of the CSAE*. 2011; 27(7):173-177. (In Chin.) DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.016>

27. Shi L.R., Wu J.M., Zhao W.Y., et al. Design and Experiment on Potato Digger of Disc Ce-Grate Type. *Transactions of the CSAE*. 2012; 28(24):15-21. (In Eng.)

28. Weil Z., Li H., Mao Y., et al. Experiment and Analysis of Potato-Soil Separation Based on Impact Recording Technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019; 12(5):71-80. Available at: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4573> (accessed 18.12.2020). (In Eng.)

29. Edrris M.K., Al-Gaadi K.A., Hassaballa A.A., et al. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020; 13(2):163-167. Available at: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (accessed 18.12.2020). (In Eng.)

30. Cubero S., Aleixos N., Moltó E., et al. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Food and Bioprocess Technology*. 2011; 4:287-502. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0411-8>

Submitted 20.12.2020; approved after reviewing 25.01.2021; accepted for publication 07.02.2021

About the authors:

Aleksey S. Dorokhov, Deputy Director on Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Corresponding Member of RAS, D.Sc. (Engr.), Professor, Researcher ID: H-4089-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, dorokhov@rgau-msha.ru

Alexey V. Sibirev, Senior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Cand.Sc. (Engr.), Researcher ID: M-6230-2016, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, sibirev2011@yandex.ru

Aleksandr G. Aksenov, Leading Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Cand.Sc. (Engr.), Researcher ID: V-5572-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, 1053vim@mail.ru

Maxim A. Mosyakov, Senior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Cand.Sc. (Engr.), Researcher ID: A-8482-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, maks.mosyakov@yandex.ru

Contribution of the authors:

A. S. Dorokhov – formulating the basic concept of the study.

A. V. Sibirev – literature and patent analysis, writing the draft.

A. G. Aksenov – critical analysis.

M. A. Mosyakov – experimentation.

All authors have read and approved the final manuscript.