

УДК 631.356

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159

А.С. Дорохов

А.В. Сибирёв ✉

М.А. Мосяков

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ sibirev2011@yandex.ru

Поступила в редакцию:

12.03.2024

Одобрена после рецензирования:

02.06.2024

Принята к публикации:

17.06.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159

Alexey S. Dorokhov

Alexey V. Sibirev ✉

Maxim A. Mosyakov

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ sibirev2011@yandex.ru

Received by the editorial office:

12.03.2024

Accepted in revised:

02.06.2024

Accepted for publication:

17.06.2024

Методика и результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки сахарной свеклы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Важной задачей, которая ставится перед производителями, является максимально быстрое извлечение корнеплода из почвы и сокращение сроков уборочной кампании сахарной свеклы. В погоне за производительностью машин производители техники пренебрегают качеством уборанной продукции, не в полной мере обеспечивается выполнение агротехнических требований, таких как допустимая общая загрязненность корнеплодов, — не более 10%, в том числе растительной массой — не более 2%. Из вышесказанного следует, что с повышением производительности уборочных машин необходимо повышать и производительность сепарирующих устройств, так как на сахарные заводы вместе с сахарной свеклой поступает большое количество почвенных примесей. Разработанная система позволяет очистительным устройствам обеспечить технологический процесс работы в условиях оптимальной влажности при уборке сахарной свеклы $W = 18\text{--}22\%$ при повышении данного показателя до $25\text{--}27\%$. При этом повышается очистительная способность сепарирующей системы в зависимости от влажности и механического состава почвы за счет снижения залипания почвой просветов сепарирующей поверхности.

Методы. Проведение эмпирических исследований обусловлено необходимостью в подтверждении полученных теоретических зависимостей, их корреляции с показателями качества работы разрабатываемой сепарирующей системы свеклоуборочного комбайна в полевых условиях.

Результаты. В результате проведенных исследований установлено, что изменение частоты вращения сепарирующей звезды в сторону увеличения приводит к снижению полноты сепарации в среднем на 1,6%. Определены интервалы варьирования полноты сепарации от 96,2 до 96,8%, что обусловлено процессами подсыхания почвенных примесей на поверхности прутков очистительной звезды от теплоты отработавших газов силовой установки.

Ключевые слова: свеклоуборочный комбайн, сахарная свекла, сепарирующая система, методика лабораторно-полевых исследований

Для цитирования: Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. Методика и результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки сахарной свеклы. *Аграрная наука*. 2024; 384(7): 154–159.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159>

© Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А.

Method and results of laboratory and field studies of a separating system with thermal energy of cleaning a machine for sugar beet harvesting

ABSTRACT

Relevance. An important task set for producers is to extract root crops from the soil as quickly as possible and reduce harvesting time. In pursuit of machine productivity, equipment manufacturers neglect the quality of the harvested products; compliance with agrotechnical requirements is not fully ensured, such as the permissible total contamination of root crops — no more than 10%, including plant matter — no more than 2%. From the above it follows that with an increase in the productivity of harvesting machines, it is necessary to increase the productivity of separating devices, since a large amount of soil impurities enters sugar factories along with sugar beets. The developed system allows cleaning devices to ensure the technological process of working in conditions of optimal humidity when harvesting sugar beets $W = 18\text{--}22\%$, with this indicator increasing to $25\text{--}27\%$. At the same time, the cleaning ability of the separating system increases depending on the humidity and mechanical composition of the soil by reducing the sticking of soil into the gaps of the separating surface.

Methods. Conducting empirical studies is due to the need to confirm the theoretical dependencies obtained, their correlation with the performance indicators of the developed separation system of the beet harvester in the field.

Results. As a result of the conducted research, it was found that an increase in the rotational frequency of the separating star leads to a decrease in the completeness of separation by an average of 1.6%. The separation completeness ranges from 96.2 to 96.8% have been determined, which is due to the drying processes of soil impurities on the surface of the cleaning star rods from the heat of the exhaust gases of the power plant.

Key words: beet harvester, sugar beet, separation system with thermal cleaning energy, laboratory and field research methods

For citation: Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Mosyakov M.A. Method and results of laboratory and field studies of a separating system with thermal energy of cleaning a machine for sugar beet harvesting. *Agrarian science*. 2024; 384(7): 154–159 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-154-159>

© Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Mosyakov M.A.

Введение/Introduction

Сахарная свекла имеет большое народно-хозяйственное значение. Это одна из немногих технических культур, которая полностью идет на переработку. В процессе свеклосахарного производства из перерабатываемых корнеплодов образуются большие объемы побочных продуктов и отходов, которые являются ценным сырьем для многих отраслей легкой промышленности. Велика и кормовая ценность сахарной свеклы. Известны высокие кормовые качества свекловичной ботвы, жома, мелассы.

Повышения урожайности и сахаристости сахарной свеклы можно достичь за счет: размещения ее в благоприятных регионах возделывания; повышения качества посевного материала и сортосмены, применения энергоресурсосберегающих технологий, высокопроизводительных машин [1, 2], применения влаго- и гумусосберегающих способов обработки почвы и новых агроприемов, высокоэффективных удобрений и способов их внесения, а также экономичных систем орошения.

Немаловажную роль в увеличении урожайности свеклы играют сроки и полнота уборки [3, 4]. Уборку корнеплодов большинство хозяйств начинают в I–II декаде сентября, длительность уборочного процесса составляет от 15 до 45 дней, поэтому без учета влияния временных критериев практически невозможно внедрение новых научно обоснованных конструктивно-технологических решений [5–7].

Технологический процесс уборки корнеплодов предполагает использование очистительных устройств сепарации различного исполнения в зависимости от физико-механических и размерно-массовых характеристик товарной продукции [8, 9]. Однако известные очистительные устройства сепарации [10] обеспечивают технологический процесс работы в условиях оптимальной влажности при уборке $W = 18–22\%$, при повышении данного показателя до $25–27\%$ рабочая поверхность сепарирующих устройств обволакивается почвенным слоем и технологический процесс работы ухудшается или прекращается. В связи с этим необходимо обеспечить, чтобы устройства сепарации совместно с интенсификаторами сочетали положительные аспекты отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду, что позволит выполнять технологический процесс очистки товарной продукции в условиях повышенной влажности почвы.

Цель исследований — обоснование возможности применения сепарирующей системы с интенсификацией обдува рабочей поверхности теплотой отработавших газов на уборке корнеплодов сахарной свеклы при обеспечении качественной сепарации товарной продукции от почвенно-растительных примесей.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные исследования разработаны в агроинженерном центре ВИМ сепарирующей системы с интенсификацией обдува рабочей поверхности теплотой отработавших газов¹, смонтированной на свеклоуборочном комбайне Holmer Terra Dos T3 (HOLMER Maschinenbau GmbH, Германия), выполнялись в Пензенской области на производственной площадке ООО «Красная Горка» в 2022 году в осенний период (сентябрь — ноябрь) на уборке сахарной

свеклы сорта Петровский в соответствии со СТО АИСТ 8.7-2013².

Качество работы сепарирующей системы свеклоуборочного комбайна оценивалось по величине повреждений и полноте сепарации корнеплодов сахарной свеклы от механических примесей.

Методика проведения исследований осуществлялась при различных соотношениях тепловой подачи воздуха [11]. Требуемую влажность почвы при проведении экспериментальных исследований обеспечивали гидравлическим воздействием на почву неньютоновской жидкости на всей площади учетной деланки (длина 100 м) до фиксируемого значения необходимого соответствия интервалу в абсолютных значениях $W = 25–27\%$.

Далее прогревали двигатель самоходного комбайна Holmer Terra Dos T3 (Holmer Maschinenbau GmbH, Германия) до рабочей температуры $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последовательным включением функционирующих элементов — от приемно-подкапывающей части до последних ступеней очистки комбайна — с установленными значениями технологических параметров: частоты вращения сепарирующей звезды в соответствии с планом проведения эксперимента при номинальной частоте вращения колнчатого вала двигателя.

Подачу сепарируемой массы сахарной свеклы ($4–6\text{ кг/с}$) регулировали, изменяя рабочую скорость комбайна в пределах $5–9\text{ км/ч}$ (табл. 1) [12].

При проведении экспериментальных исследований определяли влияние частоты вращения сепарирующей звезды и расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором на полноту сепарации корнеплодов сахарной свеклы.

Перед проведением операции извлечения корнеплодов сахарной свеклы выполнялась оценка влажности почвенного слоя на глубине залегания корнеплодов с использованием влагомера для почвы — модель 46908 (TR di Turoni & c. Snc., Италия), общий вид которого представлен на рисунке 1.

Определению влажности почвы предшествовало выполнение работ по градуировке прибора согласно

Таблица 1. Технические параметры свеклоуборочного комбайна Holmer Terra Dos T3

Table 1. Technical parameters of the beet harvester Holmer Terra Dos T3

Наименование показателя	Значение показателя
Фирма, страна производитель	Holmer Maschinenbau GmbH, Германия
Марка машины	Holmer Terra Dos T-3
Тип движителя	самоходный колесный
Номинальная мощность двигателя, л. с.	489
Число убираемых рядков, шт.	6
Общий путь чистки свеклы, м	12
Производительность, га/ч	2,5
Ширина междурядий, см	45–50
Рабочая скорость движения, км/ч	0–32
Объем бункера, м ³	28
Ширина выгрузного транспортера, м	1,85
Объем топливного бака, л	1150
Габаритные размеры, мм	12 600 × 3900 × 5730
Радиус разворота, мм	8100
Масса, кг	23 500

¹ Дорохов А.С., Сибирев, Аксенов А.Г. и др. Патент RU 2754037 С1. Сепарирующая система с тепловой энергией очистки. Опубликовано 25.08.2021.

² СТО АИСТ 8.7-2013 Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей.

следующей последовательности действий, а именно: выбор места определения влажности почвы с последующим заглублением не более 15 см и выполнением процесса прессования почвы в радиусе не более 30 см для повышения электропроводимости почвы [13]. Определение показателей качества работы разработанной сепарирующей системы выполнялось при предварительном извлечении корнеплодов сахарной свеклы из почвы для определения их размерно-массовых характеристик, а также характеристик почвы, агрофон которой соответствовал профилированной поверхности прямоугольной формы среднесуглинистого чернозема [14, 15].

Обработка экспериментальных исследований выполнялась методами математической обработки и статистического анализа результатов исследований, многофакторного анализа, применением лицензионных математических программных пакетов для ПЭВМ Microsoft Excel, Statistica 6.0 и Math CAD 2011 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунках 1, 2, представлены разработанная сепарирующая система, смонтированная на свеклоуборочном комбайне Holmer Terra Dos T3, и ее общий вид.

Выбор требуемого значения исследуемого параметра разрабатываемой сепарирующей системы определялся при проведении лабораторных исследований с соблюдением условий неизменности постоянного значения других параметров очистительного устройства.

Проведению лабораторно-полевых исследований предшествовало формирование равномерных технологических параметров на установившемся режиме работы сепарирующей системы с обдувом рабочей поверхности отработавших газов силовой установки свеклоуборочного комбайна.

Частота вращения очистительной звезды (рис. 3) изменялась в пределах от 15,0 до 25,0 с интервалом варьирования 5,0 с варьированием расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором. Оценка качества работы экспериментальной сепарирующей системы выполнялась при безостановочном движении комбайна для уборки сахарной свеклы с последующим сбором массы почвенных примесей с поверхности брезента, расположенного под рабочим органом очистки.

При этом определялся фракционный состав вороха³, в котором учитывались корнеплоды, свободная почва и почва, связанная с корнеплодами. Проведение исследований комбайна для уборки сахарной свеклы в условиях повышенной влажности почвы выполнялось при синхронизации взаимосвязанных устройств разработанной сепарирующей системы, обеспечивающих распределение тепловых потоков по рабочей поверхности очистительной звезды. Определение величины максимальной полноты сепарации выполнялось в установленном интервале значений от 100 до 160 мм с шагом варьирования 30 мм расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором на качество сепарации корнеплодов сахарной свеклы.

Результаты полученных исследований представлены в виде графической зависимости (рис. 3), отражающей закономерность изменения полноты сепарации v_c , % от частоты вращения при постоянном значении расстояния.

Корреляционная связь между качественными показателями технологического процесса работы машины

Рис. 1. Общий вид свеклоуборочного комбайна Holmer Terra Dos T3, оснащенного сепарирующей системой с тепловой отработавших газов (ООО «Красная Горка»): 1 — ботвоудалитель; 2 — бункер; 3 — транспортер выгрузной; 4 — прутковый транспортер загрузки; 5 — дефлектор; 6 — воздуховод; 7 — звезды сепарирующие; 8 — корчеватель

Fig. 1. General view of the Holmer Terra Dos T3 beet harvester equipped with a separation system with exhaust gas heat ("Krasnaya Gorka" LLC): 1 — toppler; 2 — hopper; 3 — discharge conveyor; 4 — rod loading conveyor; 5 — deflector; 6 — air duct; 7 — separating stars; 8 — grubber



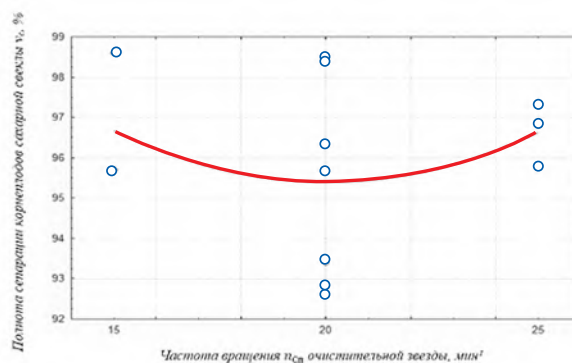
Рис. 2. Общий вид сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов двигателя свеклоуборочного комбайна Holmer Terra Dos T3 (ООО «Красная Горка»): 1 — звезда сепарирующая; 2 — дефлектор; 3 — воздуховод

Fig. 2. General view of the separation system using the exhaust heat of the engine of the Holmer Terra Dos T3 beet harvester (Krasnaya Gorka LLC): 1 — separating star; 2 — deflector; 3 — air duct



Рис. 3. Зависимость полноты сепарации v_c , % корнеплодов сахарной свеклы от частоты вращения n_{cn} очистительной звезды при $S_d = 130$ мм

Fig. 3. Dependence of the completeness of separation v_c , % of sugar beet roots on the rotational speed n_{cn} of the cleaning star at $S_d = 130$ mm



для уборки сахарной свеклы, оснащенной разработанной сепарирующей системой, выражается уравнением параболических функций (1):

$$v_c = 115,68 - 2,02 \cdot n_{cn} + 0,05 \cdot n_{cn}^2, \quad (1)$$

³ ГОСТ 33737-2016 Техника сельскохозяйственная. Машины свеклоуборочные. Методы испытаний

Анализ графической зависимости, представленной на рисунке 4, свидетельствует о том, что изменение частоты вращения сепарирующей звезды в сторону увеличения приводит к снижению полноты сепарации в среднем на 1,6% в диапазоне от 96,8 до 95,2% и соответственно повышению при кратном увеличении исследуемого технологического показателя.

Подтверждение наличия корреляционной связи между исследуемым параметром качества очистки и технологическим параметром сепарирующего устройства выполнимо при вычислении коэффициента парной корреляции исследуемых факторов согласно известному выражению (2):

$$r_{x,y} = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{\bar{x}} \cdot \bar{\bar{y}}}{\sqrt{\bar{x}^2 - (\bar{\bar{x}})^2} \cdot \sqrt{\bar{y}^2 - (\bar{\bar{y}})^2}}, \quad (2)$$

где x, y — исследуемые факторы разрабатываемой сепарирующей системы с теплотой отработавших газов, частота вращения очистительной звезды и расстояние между сепарирующей звездой и дефлектором соответственно.

Статистическая значимость коэффициента корреляции определена для уровней значимости $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$ и референсных значений 2,17 и 3,02 соответственно. Эмпирическое значение для критерия Стьюдента t_s составляет 2,78. Результаты расчетов свидетельствуют о значимости коэффициента парной корреляции полноты сепарации корнеплодов сахарной свеклы от частоты вращения очистительной звезды, равнения с критическими значениями коэффициента $t_{0,01} \geq t_r \geq t_{0,05}$, исходя из значений $3,02 > 2,78 > 2,17$.

Графическая зависимость варьирования полноты сепарации при изменении расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором отражена на рисунке 4.

Варьирование полноты сепарации от 96,2 до 96,8% при увеличении расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором от минимального до максимального значений 100 и 160 мм, соответственно, обусловлено процессами подсыхания почвенных примесей на поверхности прутков очистительной звезды от теплоты отработавших газов силовой установки.

Зависимость изменения показателей качества очистки корнеплодов сахарной свеклы при установившейся частоте вращения сепарирующей звезды при 20 мин⁻¹ и варьировании расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором определяется эмпирической зависимостью выражения (3).

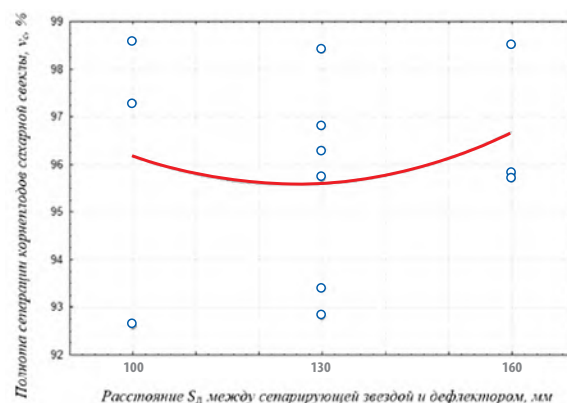
$$v_c = 110,12 - 0,23 \cdot S_d + 0,09 \cdot S_d^2, \quad (3)$$

Оценка достоверности полученных экспериментальных исследований полноты сепарации v_c , % корнеплодов сахарной свеклы от расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором и частоты вращения очистительной звезды определена коэффициентом парной корреляции, используя эмпирическое значение коэффициента Стьюдента по выражению (2).

Исходя из условий эксперимента и совпадающим с предыдущими вычислениями количеством степеней свободы, референсное значение коэффициента Стьюдента меняться не будет [11]. Однако в связи с изменением одной из переменных эмпирическое значение коэффициента Стьюдента изменилось и составляет 2,29. Исходя из сравнения с критическими

Рис. 4. Зависимость полноты сепарации v_c , % корнеплодов сахарной свеклы от расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором при 20 мин⁻¹

Fig. 4. Dependence of the completeness of separation v_s , % of sugar beet roots on the distance between the separating star and the deflector at = 20 min⁻¹



значениями коэффициента $t_{0,01} \geq t_r \geq t_{0,05}$ (или количественно $3,02 > 2,29 > 2,17$), можно отметить, что гипотеза подтверждается, и сделать вывод о статистической значимости коэффициента корреляции.

Результаты проведенных экспериментальных исследований свеклоуборочного комбайна с разработанной сепарирующей системой при интенсификации процесса очистки теплотой отработавших газов свидетельствуют о том, что полнота сепарации корнеплодов в диапазоне 97,0–97,2% обеспечивается при частоте вращения очистительной звезды 20–22 мин⁻¹ и расстоянием между сепарирующей звездой и дефлектором 130–142 мм.

Разработка, проектирование и эксплуатация сепарирующих устройств сельскохозяйственной продукции, в том числе и корнеплодов сахарной свеклы, определяются достоверностью результатов, полученных при проведении теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию режимов работы.

Следовательно, для определения закономерности изменения полноты сепарации экспериментальной сепарирующей системы свеклоуборочного комбайна выполняется построение статистического ряда варьирования искомой полноты сепарации (v_c , %), представленное выражением (4).

$$X = \begin{pmatrix} X_0 = 96,5 \\ X_1 = 96,7 \\ X_2 = 96,8 \\ X_3 = 97,0 \\ X_4 = 97,1 \\ X_5 = 97,2 \\ X_6 = 97,3 \\ X_7 = 97,4 \\ X_8 = 97,5 \\ X_9 = 97,8 \\ X_{10} = 98,0 \\ X_{11} = 98,3 \\ X_{12} = 98,4 \\ X_{13} = 98,5 \\ X_{14} = 98,8 \\ X_{15} = 99,3 \\ X_{16} = 99,4 \\ X_{17} = 99,5 \\ X_{18} = 99,6 \\ X_{19} = 99,7 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $X_0 \dots X_{19}$ — значения полноты сепарации, %.

Величина вероятности снижения сепарации (v_c , %) определяется по известной зависимости (5).

$$X_{CM} = X_0 - \frac{(X_2 - X_0)}{2} = 96,5 - \frac{(96,8 - 96,5)}{2} = 96,35\%, \quad (5)$$

Среднее значение полноты сепарации (v_c , %), определяется выражением (6).

$$X_{CP} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} X_j}{N} = 98,0\%, \quad (6)$$

где: x_j -е — значение полноты сепарации, %; N — количество значений полноты сепарации, шт.

Среднеквадратическое отклонение полноты сепарации (v_c , %) определено по выражению (7).

$$Stdev(x) = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1} (X_{CP} - X_j)^2}{N - 1}} = 1,61, \quad (7)$$

Коэффициент вариации полноты сепарации (v_c , %) определяется частным от деления среднеквадратического отклонения полноты сепарации (7) на значение разницы между средним значением полноты сепарации (6) и величиной вероятности снижения сепарации (5) и представлен в выражении (8).

$$v = \frac{Stdev(x)}{X_{CP} - X_{CM}} = \frac{1,61}{98,0 - 96,35} = 0,971, \quad (8)$$

Дифференциальная функция нормального закона распределения определяется по выражениям (9) и (10).

$$f_{N_i} = \frac{dX}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(X_{C_i} - X_{CP})^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

где σ — среднеквадратическое отклонение полноты сепарации, %.

$$f_N = \begin{pmatrix} 0,0559 \\ 0,1528 \\ 0,2569 \\ 0,2658 \\ 0,1692 \\ 0,0663 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

Для выбора закона распределения используется критерий Пирсона χ^2 , числовые значения которого представлены выражениями (11) и (12).

$$\chi_N^2 = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(m_i/N - f_{N_i})^2}{f_{N_i}} = 0,13752, \quad (11)$$

где m_i наблюдаемая частота попадания исследуемой полноты сепарации в каждый из выбранных интервалов.

$$\chi_W^2 = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(m_i/N - f_{W_i})^2}{f_{W_i}} = 0,13536, \quad (12)$$

Определены границы доверительного интервала (L , U), внутри которого лежит с доверительной вероятностью $(100 \cdot (1 - \alpha) = 95\%)$ дисперсия нормальной случайной величины, исходя из объема выборки $N = 20$.

$$\chi_0^2 = qchisq\left(\frac{\alpha}{2}, N - 1\right) = 29,956, \quad (13)$$

где α — это вероятность ошибки первого рода.

$$\chi_1^2 = qchisq\left(1 - \frac{\alpha}{2}, N - 1\right) = 67,821, \quad (14)$$

$$L = \frac{(N - 1) \cdot Stdev(x)}{\chi_1^2} = 1,43, \quad (15)$$

$$U = \frac{(N - 1) \cdot Stdev(x)}{\chi_0^2} = 3,237, \quad (16)$$

Определена закономерность изменения полноты сепарации экспериментальной сепарирующей системы свеклоуборочного комбайна построением статистического ряда в диапазоне 97,0–97,2% при частоте вращения очистительной звезды 20–22 мин⁻¹ и расстоянием между сепарирующей звездой и дефлектором 130–142 мм, выполнено определение коэффициента вариации полноты сепарации при значении величины однородности 0,971, установлена дифференциальная функция нормального закона распределения полноты сепарации при значении критерия Пирсона 0,137.

Выводы/Conclusions

При проведении экспериментальных исследований разработанной системы очистки с теплотой отработавших газов силовой установки свеклоуборочного комбайна установлено, что изменение частоты вращения сепарирующей звезды в сторону увеличения приводит к снижению полноты сепарации в среднем на 1,6% в диапазоне от 96,8 до 95,2 и соизмеримому повышению при кратном увеличении исследуемого технологического показателя. Определены интервалы варьирования полноты сепарации от 96,2 до 96,8% при увеличении расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором от минимального до максимального значений 100 мм и 160 мм соответственно, что обусловлено процессами подсыхания почвенных примесей на поверхности прутков очистительной звезды от теплоты отработавших газов силовой установки.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. *Техника и оборудование для села*. 2023; 3: 2–12. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-2-11>
2. Ülger P., Akdemir B., Arin S. Mechanized Planting and Harvesting of Onion. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 1993; 24(4): 23–26.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and Technical Achievements of Agricultural Engineering Organizations in the Context of Digital Transformation of Agriculture. *Machinery and equipment for rural area*. 2023; 3: 2–12 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-2-11>
2. Ülger P., Akdemir B., Arin S. Mechanized Planting and Harvesting of Onion. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 1993; 24(4): 23–26.

3. Pasaman B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger. *Econtechmod*. 2012; 1(2): 43–47.
4. 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.
5. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator apparatus. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13(23): 10086–10091.
6. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. *Техника и оборудование для села*. 2023; 4: 2–5. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-2-5>
7. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценц Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019; 3: 40–45. <https://www.elibrary.ru/rldcho>
8. Янгазов Р.У. Повышение качества очистки корнеплодов сахарной свеклы разработкой и обоснованием конструктивных и режимных параметров транспортирующе-очистительного устройства комбайна. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пенза. 2011; 18. <https://www.elibrary.ru/qhnyrh>
9. Алдошин Н.В., Дидманидзе Р.Н. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ. *Международный технико-экономический журнал*. 2013; 5: 67–70. <https://www.elibrary.ru/rmxjqj>
10. Максимов П.Л. Новые универсальные корнеуборочные машины. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2003; 4: 17–19. <https://www.elibrary.ru/rvrrjd>
11. Федоренко В.Ф., Трубицын Н.В. Современные информационные технологии при испытаниях сельскохозяйственной техники. *Научный аналитический обзор*. Правдинский: Росинформагротех. 2015; 140. ISBN 978-5-7367-1115-4
12. Бондаренко Е.В., Подольская Е.Е., Таркинский В.Е. Комплекс современных машин для уборки сахарной свеклы. *АгроФорум*. 2022; 4: 16–19. <https://doi.org/10.24412/cl-34984-2022-4-16-19>
13. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey. *Robotics*. 2015; 4(2): 194–222. <https://doi.org/10.3390/robotics4020194>
14. Лобачевский Я.П., Ценц Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 4–12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>
15. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве. *Техника и оборудование для села*. 2022; 3: 2–9. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-3-2-9>

ОБ АВТОРАХ

Алексей Семенович Дорохов

главный научный сотрудник, доктор технических наук, академик РАН
 dorokhov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Алексей Викторович Сибирев

главный научный сотрудник, доктор технических наук
 sibirev2011@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

Максим Александрович Мосяков

старший научный сотрудник, кандидат технических наук
 Maks.Mosyakov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

3. Pasaman B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger. *Econtechmod*. 2012; 1(2): 43–47.

4. 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.

5. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator apparatus. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13(23): 10086–10091.

6. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and Technical Achievements of Agricultural Engineering Organizations in the Context of Digital Transformation of Agriculture. *Machinery and equipment for rural area*. 2023; 4: 2–5 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-2-5>

7. Lobachevsky Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Digitization aspects of the system of technologies and machines. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2019; 3: 40–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rldcho>

8. Yangazov R.U. Improving the quality of cleaning of sugar beet roots by developing and justifying the design and operational parameters of the transport and cleaning device of the combine. Abstract of PhD (Engineering) Thesis. Penza. 2011; 18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qhnyrh>

9. Aldoshin N.V., Didmanidze R.N. The strategies of qualitative execution of the mechanized works. *International technical and economic journal*. 2013; 5: 67–70 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rmxjqj>

10. Maksimov P.L. New versatile root-and-tuber-harvesting machines. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2003; 4: 17–19 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rvrrjd>

11. Fedorenko V.F., Trubitsyn N.V. Modern information technologies in testing agricultural machinery. *Scientific analytical review*. Pravdinsky: Rosinformagrotech. 2015; 140 (in Russian). ISBN 978-5-7367-1115-4

12. Bondarenko E.V., Podolskaya E.E., Tarkivsky V.E. A set of modern machines for harvesting sugar beets. *AgroForum*. 2022; 4: 16–19 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/cl-34984-2022-4-16-19>

13. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey. *Robotics*. 2015; 4(2): 194–222. <https://doi.org/10.3390/robotics4020194>

14. Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of Forming Machine and Technology Systems for Integrated Mechanization and Automation of Technological Processes in Crop Production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(4): 4–12 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>

15. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Shogenov Yu.Kh. The Results of Scientific Research of Agro-engineering Scientific Organizations on the Development of Digital Systems in Agriculture. *Machinery and equipment for rural area*. 2022; 3: 2–9 (in Russian). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-3-2-9>

ABOUT THE AUTHORS

Alexey Semenovich Dorokhov

Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences
 dorokhov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Alexey Viktorovich Sibirev

Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences
 nikolaj-panfyorov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Maxim Alexandrovich Mosyakov

Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences
 Maks.Mosyakov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
 5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia