

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕПАРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОЧИСТКЕ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Дорохов Алексей Семенович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН

Аксенов Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Машинные технологии в овощеводстве»

Сибирёв Алексей Викторович, доктор технических наук, старший научный сотрудник «Машинные технологии в овощеводстве»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5,

Тел. 8 (499)-174-89-11

E – mail: sibirev2011@yandex.ru

Ключевые слова: экспериментальные исследования, корнеплоды, сахарная свекла, отработавшие газы, система сепарации

Важнейшей проблемой при реализации технологии производства сельскохозяйственных культур является уменьшение затрат труда, энергии и ресурсосбережение с одновременным повышением урожайности возделываемых культур и, как следствие, снижение себестоимости продукции, что невозможно обеспечить без определения и последующего снижения энергетических затрат на выполнение операций производства сельскохозяйственной продукции. Для повышения показателей качества уборки корнеплодов сахарной свеклы в условиях повышенной влажности предлагается использовать в конструкции комбайна сепарирующую систему, обеспечивающую энергетическую эффективность работы при возможности одновременного выполнения операций подкапывания, сепарации корнеплодов от почвенных и растительных примесей с одновременным обдуванием сепарирующей поверхности горячими выхлопными газами силовой установки уборочной машины. Целью исследования является обеспечение возможности повышения качества сепарации корнеплодов сахарной свеклы в условиях повышенной влажности использованием в сепарирующей системе уборочной машины обдува рабочей поверхности очистительных устройств отработавшими газами силовой установки самоходного уборочного комбайна. В качестве объекта исследований принята сепарирующая система уборочного комбайна, представленная очистительной звездой с установленными дефлекторами обдува рабочей поверхности отработавшими газами силовой установки. Представлена методика проведения поисковых исследований сепарирующей системы по определению показателей качества уборки. Результаты проведенных поисковых исследований свидетельствуют о перспективности дальнейших теоретических и экспериментальных работ предлагаемой сепарирующей системы по совершенствованию отдельных элементов ее конструкции.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодыми учеными и аспирантами – СП-1004.2021.1.

Введение

Снижение себестоимости производства при одновременном повышении качества товарной продукции являются основополагающими критериями эффективного ведения сельского хозяйства товаропроизводителями различных форм собственности.

Обеспечить выполнение вышеуказанных направлений сельскохозяйственного производства невозможно без современных высокопроизводительных машин и оборудования, технологический процесс работы которых базируется на передовых научных исследованиях, синтезе прикладной и фундаментальной научной деятельности по инновационным технологиям возделывания и уборки сельскохозяйственных

культур [1 - 3].

Определяющим параметром уменьшения приведенных затрат на производство товарной продукции в агропромышленном секторе является повышение производительности машинно-технологических комплексов, что наиболее отчетливо прослеживается в картофелеводстве и овощеводстве [4 - 7].

Причем, что касается отдельных технологических процессов производства овощной продукции, то наиболее энергоемким является процесс уборки лука, чеснока и корнеплодов с подземным плодоношением, так как извлечение их из почвы обусловлено большими энергетическими затратами на привод подкапывающих и сепарирующих рабочих органов [8 - 11].

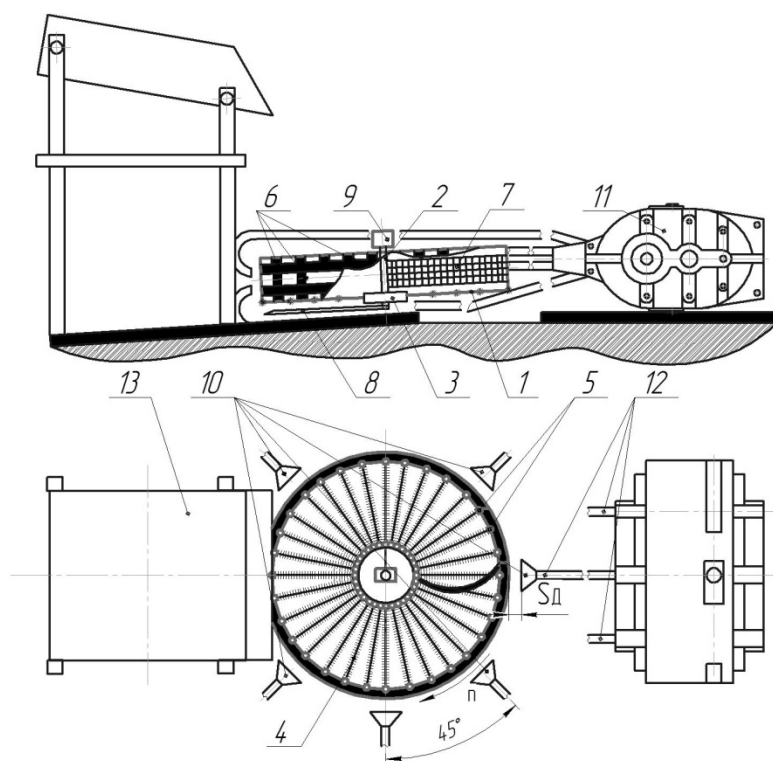


Рис. 1 – Очистительная звезда сепарирующей системы комбайна Holmer Terra Dos T3 (обозначения в тексте)

Таблица 1

Показатели теплового баланса дизельного двигателя [12]

Составляющие баланса	Q_v , Дж/с	q , %
Теплота, эквивалентная эффективной работе	50900	29,2
Потери теплоты		
в систему охлаждения	53601	30,8
с отработавшими газами	51960	29,8
из-за неполноты сгорания	9334	5,4
Остаточный член	8372	4,8
Общее количество теплоты	174167	100

Материалы и методы исследований

С целью снижения травмирования корнеклубнеплодов и повышения качества очистки от механических и растительных примесей нами разработана сепарирующая система (рис. 1).

Сепарирующая система представляет собой очистительную звезду 1, вращающуюся в вертикальной плоскости вокруг оси 2, закрепленной на ступице 3, с диаметрально расположенными по рабочей поверхности прутками 4, установленными на шарнирном сочленении 5, кольцевое решетчатое резинотехническое ограждение 6, решетчатый щиток 7, чистик 8, гидронасос 9, дефлекторы 10 и систему воздуховодов 11 для подсушивания частиц почвы, обдуваемых отработавшими газами силовой

установки 12. В качестве алгоритма работы системы заложено примерное равенство потерь теплоты, выделяемой с отработавшими газами, и количеством теплоты, эквивалентной эффективной работе (табл. 1).

Сепарирующая система работает следующим образом. Очищаемые корнеплоды направляются подающим устройством на рабочую поверхность очистительной звезды 1. Под действием центробежных сил ворох корнеплодов рассредотачивается по поверхности сепарирующего диска. При этом почвенные примеси скатываются к кромке сепарирующего диска вследствие установки последнего под углом скатывания почвенных примесей к вертикальной плоскости. В результате поворота счесывающих спиц 4 относительно шарниров 5 почвенные примеси отделяются от корнеплодов и проваливаются вниз на поверхность почвы.

Растительные примеси остаются на ворсе счесывающих спиц 4 и вследствие поворота на шарнирах удаляются чистиком 8.

При этом корнеплоды транспортируются к зоне отводящего транспортера посредством решетчатого щитка 7, а почвенные примеси отслаиваются от сепарирующего диска 1 при обдуве выхлопными газами силовой установки 11 через дефлекторы 10 и систему воздуховодов 11 в результате подсухания и уменьшения сил сцепления с рабочей поверхностью сепарирующего диска 1.

С целью определения полученных теоретическим путем показателей качества работы машины для уборки корнеклубнеплодов с экспериментальной системой очистки (рис. 2) проведены поисковые исследования сепарирующей системы.

Поисковые исследования сепарирующей системы проводили на полях ООО «Красная горка» Пензенской области в 2020 году на уборке сахарной свеклы сорта «Петровский» в соответствии с СТО АИСТ 8.7-2013 «Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей».

При разработке и испытаниях функционирующих элементов различных динамических систем, к числу которых следует также отнести

машинно-технологический комплекс, представленный самоходным свеклоборочным комбайном Holmer Terra Dos T3 (рис. 3), необходимо учитывать характеристики материала, поступающего для обработки. В связи с этим контролировали физико-механические свойства почвы. Также были определены показатели качества очистки корнеплодов сахарной свеклы.

Методика проведения исследований заключалась в следующем. Под рабочей поверхностью сепарирующей звезды 1 устанавливали лоток сбора примесей 13 (рис. 1).

Пробу почвы с определенной массой и влажностью укладывали на поверхность сепарирующей звезды 1.

Требуемую влажность почвы обеспечивали гидравлическим воздействием воды на сепарируемый почвенный слой с последующим определением влажности.

После установления равномерной частоты вращения сепарирующей звезды 1 в соответствии с планом проведения эксперимента включали тепловую пушку 12 с программируемой температурой воздушного потока по всей рабочей поверхности при постоянной скорости потока воздуха, которые соответствовали параметрам отработавших газов при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя энергетического средства.

Для соответствия поисковых исследований процесса сепарации корнеплодов сахарной свеклы полевым условиям сепарируемую массу требуемой влажности подавали порционно, обеспечивая пропускную способность устройства $Q_{пс} = 4...6$ кг/с.

Изменение подачи $Q_{пс}$ сепарируемой массы на очистительную звезду 1 осуществляли изменением угла наклона лотка 13 (рис. 1) для предварительного размещения массы относительно горизонта, перемещая винтовой механизм. Частоту вращения очистительной звезды 1 контролировали фототахометром марки АК ИП – 9201 (диапазон измерений 0,6...25000 мин⁻¹)

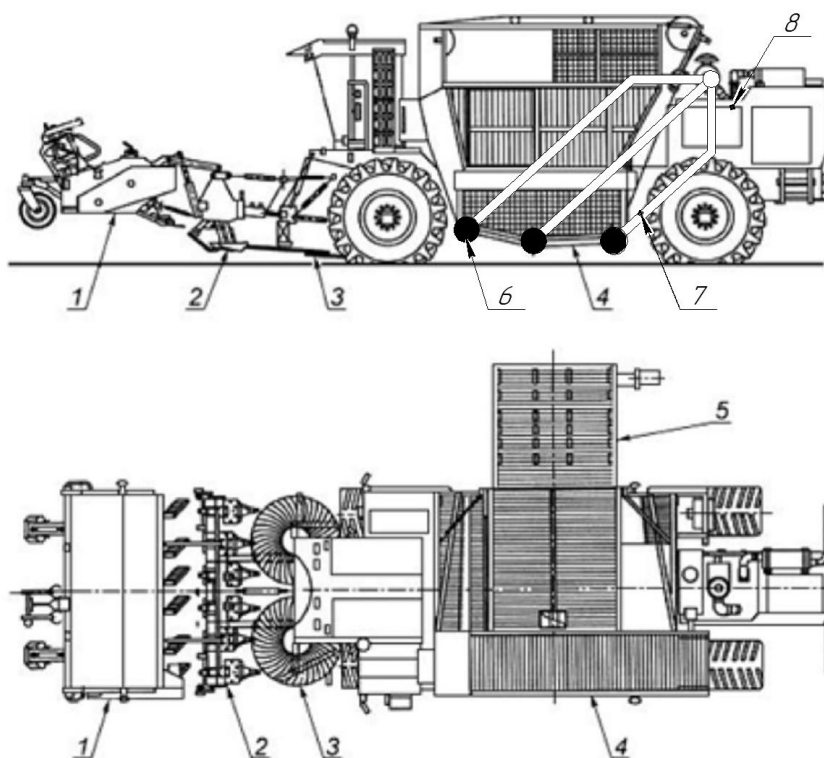


Рис. 2 – Конструктивно-технологическая схема самоходного комбайна Holmer Terra Dos T3, оснащенного сепарирующей системой:

1 – ботвоудалитель; 2 – корчеватель; 3 – звезды сепарирующие; 4 – прутковый транспортер загрузки; 5 – транспортер выгрузной; 6 – дефлектор; 7 – воздуховод; 8 – энергетическая установка



Рис. 3 – Общий вид сепарирующей системы самоходного комбайна Holmer Terra Dos T3

после создания метки на рабочей поверхности исследуемого устройства сепарации.

После проведения отсеивающего эксперимента на основании его результатов были выявлены наиболее значимые факторы, оказывающие определяющее влияние на показатели качества очистки корнеплодов в условиях повы-

Пороговые значения и диапазоны значимых факторов процесса очистки корнеплодов сепарирующей системой в условиях повышенной влажности почвы

Уровень варьирования	Варьируемые факторы		Критерий оптимизации
	частота вращения сепарирующей звезды, мин ⁻¹	расстояние между сепарирующей звездой и дефлектором, м	
	Интервал варьирования, Δx _i		полнота сепарации корнеплодов ν, %
	30,0	0,02	Интервал варьирования, Δx _i
верхний (+1)	160	0,06	γ
нижний (-1)	100	0,04	
основной (0)	130	0,02	
кодвые обозначения	x ₁	x ₂	

шенной влажности почвы [13-15]:

- частота вращения сепарирующей звезды $n_{сн}$, мин⁻¹;

- расстояние между сепарирующей звездой и дефлектором $S_{д}$, м.

При проведении экспериментальных исследований выбранные факторы варьировали в установленных интервалах (табл. 2).

Последовательность действий по выполнению эмпирического установления значений температуры выхлопных газов $t_{ог}$ в зависимости от нагружения силовой установки уборочной машины обеспечивается при продолжительном режиме работы и определении закономерности температуры коллектора от 0 % до 100 % максимальной мощности двигателя.

При выполнении поисковых исследований показателей качества уборки самоходного комбайна Holmer Terra Dos T3, оснащенного сепарирующей системой с тепловой энергией очистки,

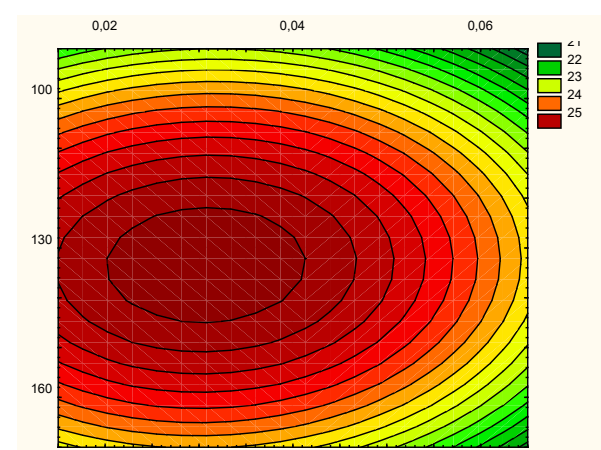


Рис. 4 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость содержания почвенных примесей в сходовом ворохе (%) от расстояния между сепарирующей звездой и дефлектором (м) и частотой вращения сепарирующей звезды (мин⁻¹)

технологические параметры устанавливались в указанном выше интервале значений.

Показателями качества работы сепарирующей системы с тепловой энергией очистки являются повреждение П и полнота очистки ν корнеплодов сахарной свеклы.

Данные исследования проводили с целью определения влияния технологических параметров ($n_{сн}$ и $S_{д}$) сепарирующей системы на содержание почвенных примесей при повышенной влажности вороха корнеплодов сахарной свеклы в лабораторных условиях.

Результаты исследований

После обработки результатов многофакторного эксперимента с использованием компьютерной программы «STATISTICA – 6.0» были получены значения функций отклика – содержание почвенных примесей в сходовом ворохе ν при варьировании факторов и получена адекватная математическая модель, описывающая данную зависимость $\nu = f(S_{д}, n_{сн})$ сепарации корнеплодов от почвенных примесей повышенной влажности в закодированном виде от выбранных факторов:

$$Y = 25,23 + 0,44x_1 + 1,31x_2 - 0,24x_1^2 - 1,28x_2^2 + 1,55x_1x_2. \quad (1)$$

Гипотезу об адекватности представленной модели проверяли статистическим анализом уравнения регрессии.

Координаты центра поверхности отклика определяли дифференцированием уравнения 1 и решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,44 - 0,48x_1 + 1,55x_2 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} = 1,31 - 2,56x_2 + 1,55x_1 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Решив систему уравнений (2), нашли координаты центра поверхности функции отклика в закодированном виде: $x_1 = 0,821$, $x_2 = 0,81$ (в рас-

кодированном виде $n_{\text{сн}} = 131,4 \text{ мин}^{-1}$, $S_{\text{д}} = 0,032 \text{ м}$).

Подставив значения x_1 и x_2 в уравнение (1), получили значение функции отклика в центре поверхности:

$$Y_5 = 24,48 \quad (3)$$

Подставив различные значения функции отклика в уравнение (1), получили уравнения контурных кривых – эллипсов. Результаты соответствующих расчетов представлены на рисунке 4.

Анализ двумерного сечения, представленного на рисунке 4, свидетельствует о том, что для снижения содержания почвенных примесей до 24...25 % в сходовом ворохе после сепарации с использованием теплоты отработавших газов необходимо обеспечить расстояние между сепарирующей звездой и дефлектором $S_{\text{д}} = 0,02...0,05 \text{ м}$ и частоту вращения сепарирующей звезды $n_{\text{сн}} = 120...140 \text{ мин}^{-1}$.

Обсуждение

Результаты экспериментальных исследований сепарирующей системы при очистке корнеклубнеплодов в условиях их уборки при повышенной влажности почвы свидетельствуют о перспективности разрабатываемой системы очистки. Это обусловлено минимальным содержанием почвенных примесей на сходе с рабочей поверхности первой очистительной звезды, входящей в сепарирующую систему уборочной машины, состоящей из трехступенчатой системы очистки на сепарирующих звездах.

Однако содержание почвенных примесей на сходе с рабочей поверхности очистительной звезды более 20 % не в полной мере отвечает требованиям полноты очистки корнеплодов (менее 8 %). Это объясняется тем, что процесс сепарации на первом этапе трехступенчатой системы очистки происходил при влажности почвы 23...25 %, но при этом наблюдалось повышение показателей качества очистки при переходе на каждую последующую ступень сепарирующей системы.

Заключение

Результаты экспериментальных поисковых исследований сепарирующей системы позволяют сделать заключение о том, что минимально возможное поступление почвенных примесей при сепарации корнеплодов сахарной свеклы в условиях повышенной влажности почвы составляет 25 % при расстоянии между сепарирующей звездой и дефлектором $S_{\text{д}} = 0,032 \text{ м}$ и частоте вращения сепарирующей звезды $n_{\text{сн}} = 131,4 \text{ мин}^{-1}$. При выполнении технологического процесса уборки в условиях повышенной влажности почвы это значительно лучше, чем в слу-

чае применения системы очистки без использования теплоты отработавших газов, качество очистки которой хуже на 8...18 % [16].

Библиографический список

1. Машинная технология производства лука : монография / Я. П. Лобачевский, П. А. Емельянов, А. Г. Аксенов, А. В. Сибирёв. – Москва : ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. – 168 с.
2. Хвостов, В. А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) / В. А. Хвостов, Э. С. Рейнгарт. – Москва, 1995. – 391 с.
3. Алдошин, Н. В. Моделирование качества выполнения механизированных работ / Н. В. Алдошин // Горячкинские чтения : сборник докладов 1-й Международной научно-практической конференции, 2013. - С. 6-13.
4. Haverkort, A. J. Potato in progress (science meets practice) / A. J. Haverkort, P. C. Struik. - Edited by : The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2005. - 366 p.
5. Mayer, V. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading / V. Mayer, D. Vejchar, L. Pastorková // Research in Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 1. - P. 22 – 31.
6. Development of Potato Harvesting Model / Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). - 2017. - Vol. 4. - P. 1567 – 1570.
7. Farhadi, R. Design and construction of rotary potato grader / R. Farhadi, N. Sakenian, P. Azizi // Bulgarian Journal of Agricultural Science. - 2012. - Vol. 2. - P. 304 – 314.
8. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition / J. Q. Lü, H. Sun, H. Dui, M. M. Peng, J. Y. Yu // Transactions of the CSAM. - 2017. - Issue number 48(11). - P. 146 – 155.
9. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J. Q. Lü, Q. Q. Shang, Y. Yang, Z. H. Li, J. C. Li, Z. Y. Liu // Transactions of the CSAM. - 2016. - Issue number 47(5). - P.106 – 114.
10. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield / R. E. Sojka, D. J. Horne, C. W. Ross, C. J. Baker // Soil and Tillage Research. - 1997. - Issue number 40 (3-4). - P. 25 – 144.
11. Ларюшин, Н. П. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука / Н. П. Ларюшин, О. Н. Кухарев, Т. А. Кирюхина // Наука в центральной России. - 2015. - № 6(18). - С. 48 – 58.
12. Колпаков, В. Е. Разработка методов и средств теплового контроля мощностных показа-

телей мобильного сельскохозяйственного агрегата : спец. 05.20.01: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колпак Валерий Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2016. – 338 с.

13. Ларюшин, А. М. Качественные показатели выкапывающего устройства лукоборочной машины / А. М. Ларюшин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 3. - С. 46 – 47.

14. Протасов, А. А. Функциональный подход к созданию лукоборочной машины / А. А. Протасов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государ-

ственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. - 2011. - № 2(47). - С. 37 – 43.

15. Ларюшин, Н. П. Энергосберегающая технология уборки лука / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2009. - № 1. - С. 55 – 56.

16. Янгазов, Р. У. Повышение качества очистки корнеплодов сахарной свеклы разработкой и обоснованием конструктивных и режимных параметров транспортирующе-очистительного устройства комбайна : спец. 05.20.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Янгазов Рамиль Усманович ; Пензенская ГСХА– Пенза, 2011. – 139 с.

RESULTS OF EXPLORATORY RESEARCH OF THE SEPARATING SYSTEM WHEN CLEANING SUGAR BEET ROOT

Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibiryov A.V.
FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy dr, 5,
Tel. 8 (499) -174-89-11
E - mail: sibirev2011@yandex.ru

Key words: experimental research, root crops, sugar beet root, exhaust gases, separation system.

The most important problem of implementation of technology for production of agricultural crops is reduction of labor costs, energy and resource saving with a simultaneous increase of cultivated crop yield and, as a consequence, a decrease of production cost, which cannot be ensured without specification and subsequent reduction of energy costs for agricultural production operations. To improve quality of sugar beet root harvesting in the conditions of high humidity, it is proposed to use a separating system in the design of the combine harvester, providing energy efficiency with possibility of simultaneous operations of digging, separating root crops from soil and plant impurities, blowing of the separating surface with hot exhaust gases from the power plant of the harvesting machine. The aim of the study is to provide the possibility of improving the quality of separation of sugar beet root in the conditions of high humidity by using blowing of the working surface of the cleaning devices with exhaust gases from the power plant of the self-propelled combine harvester. The separation system of a combine harvester was adopted as an object of the research; it is represented by a cleaning star with installed deflectors for blowing of the working surface with the exhaust gases of the power plant. A method of conducting exploratory research of the separating system to determine quality parameters of cleaning is presented. The results of the research indicate the prospects for further theoretical and experimental work of the proposed separation system to improve individual elements of its design.

Bibliography:

1. Machine technology of onion production: monograph / Ya. P. Lobachevsky, P. A. Emelyanov, A. G. Aksenov, A. V. Sibiryov. - Moscow: FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", 2016. -- 168 p.
2. Khvostov, V. A. Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation) / V. A. Khvostov, E. S. Reingart. - Moscow, 1995. -- 391 p.
3. Aldoshin, N.V. Modeling the quality of mechanized work / N.V. Aldoshin // Goryachkin's readings: collection of reports of the 1st International scientific-practical conference, 2013. - P. 6-13.
4. Haverkort, A. J. Potato in progress (science meets practice) / A. J. Haverkort, P. C. Struijk. - Edited by: The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2005. - 366 p.
5. Mayer, V. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading / V. Mayer, D. Vejchar, L. Pastorková // Research in Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 1. - P. 22 – 31.
6. Development of Potato Harvesting Model / Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). - 2017. - Vol. 4. - P. 1567 – 1570.
7. Farhadi, R. Design and construction of rotary potato grader / R. Farhadi, N. Sakenian, P. Azizi // Bulgarian Journal of Agricultural Science. - 2012. - Vol. 2. - P. 304 – 314.
8. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition / J. Q. Lü, H. Sun, H. Dui, M. M. Peng, J. Y. Yu // Transactions of the CSAM. - 2017. - Issue number 48(11). - P. 146 – 155.
9. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J. Q. Lü, Q. Q. Shang, Y. Yang, Z. H. Li, J. C. Li, Z. Y. Liu // Transactions of the CSAM. - 2016. - Issue number 47(5). - P.106 – 114.
10. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield / R. E. Sojka, D. J. Horne, C. W. Ross, C. J. Baker // Soil and Tillage Research. - 1997. - Issue number 40 (3-4). - P. 25 – 144.
11. Laryushin, N.P. Initial strategies in the design of machines for onion harvesting / N.P. Laryushin, O.N. Kukharev, T.A. Kiryukhina // Science in Central Russia. - 2015. - № 6 (18). - P. 48 - 58.
12. Kolpakov, V.E. Development of methods and means of thermal control of power parameters of a mobile agricultural unit: spec. 05.20.01: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Kolpakov Valery Evgenievich. - St. Petersburg, 2016. -- 338 p.
13. Laryushin, A. M. Qualitative parameters of the digging device of onion harvester / A. M. Laryushin // Tractors and agricultural machines. - 2008. - № 3. - P. 46 - 47.
14. Protasov, A.A. Functional approach to onion harvester development/ A.A. Protasov // VVestnik of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. - 2011. - № 2 (47). - P. 37 - 43.
15. Laryushin, N.P. Energy-saving technology of onion harvesting / N.P. Laryushin, A.M. Laryushin // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2009. - № 1. - P. 55 - 56.
16. Yangazov, R. U. Improvement of sugar beet root cleaning quality by developing and justifying the design and operating parameters of the transporting and cleaning device of the combine harvester: special. 05.20.01: dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences / Yangazov Ramil Usmanovich; Penza State Agricultural Academy - Penza, 2011. - 139 p.