

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

Владислав Викторович Карпов¹
Vyacheslav Anatol'evich Gulevskiy²

¹Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Подготовка корнеплодов к скармливанию улучшает их поедаемость и усвояемость, увеличивает продуктивность животных, сокращает расход кормов. Именно поэтому подготовке кормовых корнеплодов к скармливанию в хозяйствах должно уделяться самое пристальное внимание. Обычно для этих целей используют корnekлубнемойки со значительным потреблением воды. Авторами разработана щеточная машина для механической очистки кормовых корнеплодов от загрязнений без использования воды, с рабочими органами в форме гофрощеточных барабанов, усовершенствованной конструкции. В гофрощеточном очистителе кормовых корнеплодов основу конструкции щеточных барабанов составляют опорные диски с эллиптическими утолщениями на них. Опорные диски устанавливаются с определенным шагом по длине барабана, между ними шарнирно закрепляется гофрированный щеточный ворс. Благодаря такой конструкции барабанов корнеплоды практически всех типоразмеров и массы в процессе очистки обрабатываются щеточным ворсом и не проваливаются. За счет дополнительного динамического воздействия опорных дисков с утолщениями и трения кормовых корнеплодов о гофрощеточный ворс обеспечивается более активный динамический контакт кормовых корнеплодов с рабочими органами по сравнению с существующими механическими сепараторами щеточного типа. Сепарация отделенной с поверхности корнеплодов почвы через зазоры между щеточными барабанами происходит более качественно. Проведенные эксперименты показали, что использование гофрощеточного очистителя с усовершенствованной конструкцией рабочих органов снижает потери кормовых корнеплодов при очистке на 3–10% в сравнении с известными щеточными очистителями с рабочими органами комбинированного типа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: потери, кормовые корнеплоды, опорные диски, рабочие органы, гофрощеточный очиститель.

REDUCTION IN LOSSES OF FEEDING ROOT CROPS IN THE OPERATING VOLUME OF CORRUGATED BRUSH CLEANER

Vladislav V. Karpov¹
Vyacheslav A. Gulevsky²

¹Luhansk Taras Shevchenko National University

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Staple root crops preparation for feeding improves palatability and digestibility, increases the productivity of animals, and reduces feed consumption. That's why greater focus should be placed on preparation of fodder roots for feeding in farms. Usually for these purposes in different farms and agricultural enterprises specialists use various root washing machines with significant water consumption. The authors have developed brushing machine for mechanical treatment of staple root crops from impurities without the use of water, the working bodies of which are made in the form of corrugated brushing cylinder. In corrugated brush cleaner of feeding root crops brushing cylinder is designed on the basis of mounting disks with elliptical thickening. The mounting discs are set in steps along the length of the cylinder, and between mounting discs corrugated brushing bristles are pivotally hinged. By this arrangement of the cylinder root crops of almost all dimension size and weight are treated with brushing bristles in the cleaning process and do not sink. Due to the additional dynamic effect of the mounting disks with elliptical thickening and roots friction on corrugated brushing bristles there arises better dynamic contact of root crops with working elements in comparison with the existing mechanical brushing separators. The quality of removing of the soil separated from the surface of the root crops through the gaps between the brushing cylinders is better. The experiments have shown that the use of corrugated brush cleaner with the improved design of working elements reduces the loss of roots during cleaning by 3-10% in comparison with the existing brushing cleaners with working bodies of the combined type.

KEYWORDS: losses, feeding root crops, mounting disks, working bodies, corrugated brush cleaner.

В Российской Федерации кормовые корнеклубнеплоды являются неотъемлемой частью кормовых рационов для большинства сельскохозяйственных животных. Доля кормовой свеклы как молокогонного корма в суточном рационе коров может достигать 1–1,5 кг на каждый килограмм молока, но не более 40 кг в сутки, а сахарной свеклы – 0,5–0,8 кг, но не более 14 кг. Однако запасы кормовых корнеклубнеплодов на ферме, как правило, ограничены [6, 8].

Кормовые корнеклубнеплоды, поступающие на животноводческие фермы, в технологические линии кормоцехов или на мобильные кормоприготовительные агрегаты, всегда загрязнены землей, песком, разными посторонними примесями и представляют собой неоднородную массу в виде вороха [10, 11]. Они могут подаваться непосредственно с поля в период уборки или из мест хранения (бурты, траншеи, бетонные ямы, хранилища). Наиболее трудноотделимыми считаются связанные с поверхностями корнеплодов налипшие почвенные отдельности.

Исходная загрязненность корнеклубнеплодов после уборки может достигать 10–15% и более. ГОСТ 28736-90 устанавливает допустимый процент загрязненности кормовых корнеклубнеплодов после очистки – она должна быть не более 3% [2].

На крупных животноводческих комплексах и фермах сооружаются кормоцеха, в составе оборудования которых предусмотрены различные корнеклубнemойки со значительным потреблением воды.

К машинам по обработке кормовых корнеплодов предъявляют следующие требования [6, 10]:

- высокое качество очистки продуктов при относительно малом расходе энергии;
- универсальность в отношении обработки различных видов и сортов кормовых корнеплодов;
- отсутствие потерь и порчи продукта рабочими органами машин и т. д.

Отличительной особенностью и несомненным преимуществом большинства механических очистителей со щеточными рабочими органами является то, что наряду с разделением корнеклубнеплодного вороха на отдельные компоненты (сепарированием) по разнице масс, плотности, размерам и коэффициентам трения они позволяют также посредством щеточных элементов копировать поверхности корнеклубнеплодов и очищать самую трудноотделимую фракцию – налипшие на них почвенные отдельности и остатки ботвы.

Общим недостатком механических очистителей щеточного типа при разделении корнеклубнеплодного вороха по разнице масс, плотности и размерам является малая жесткость щеточного ворса и, как следствие, определенный процент неправильно отделившейся основной фракции, т. е. потери (утраты) части корнеклубнеплодов в процессе очистки на очистительном устройстве. Учитывая вышеизложенное, авторы провели исследование с целью анализа причин потерь кормовых корнеплодов при очистке в рабочем объеме гофрошеточного очистителя. В круг задач исследования входило определение факторов, влияющих на неправильное разделение корнеклубнеплодного вороха, а также поиск технического решения, позволяющего снизить процент потерь корнеплодов в процессе их очистки или исключить их вовсе.

Авторами разработана щеточная машина для механической очистки кормовых корнеплодов от загрязнений без использования воды, с рабочими органами в форме гофрошеточных барабанов (рис. 1), отвечающая большинству вышеуказанных требований [3, 4].

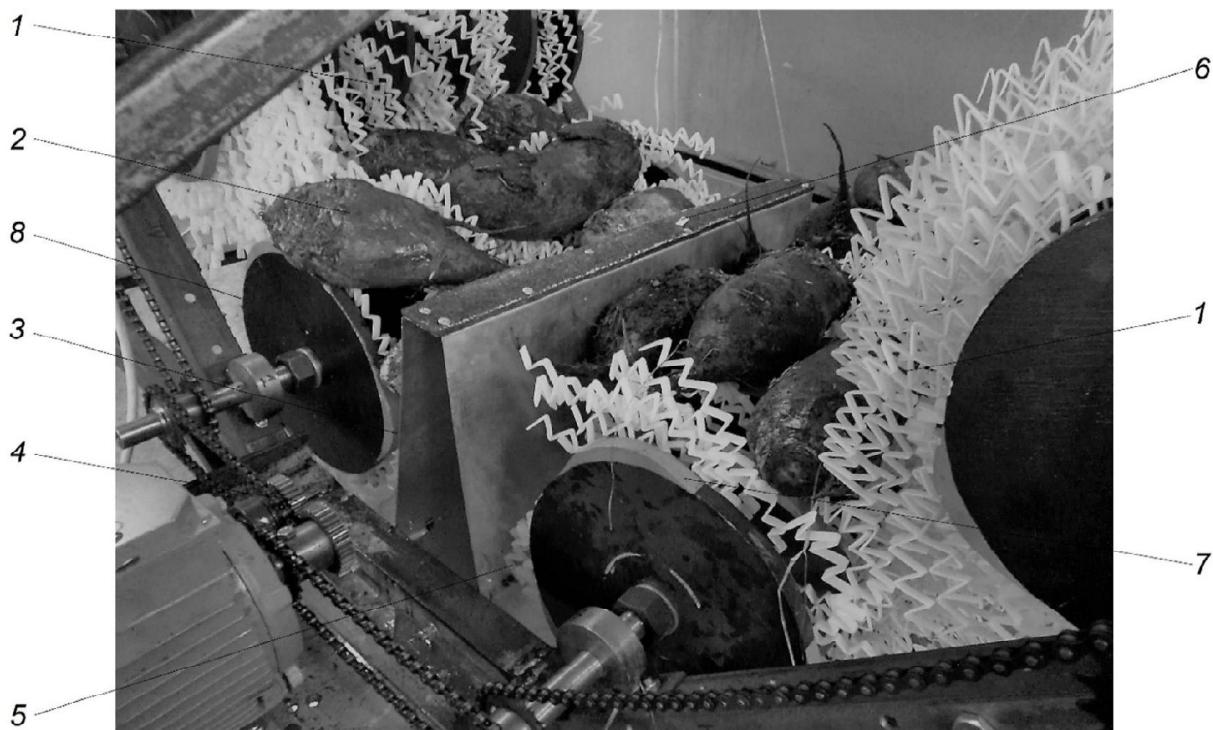


Рис. 1. Рабочий объем гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов:
 1 – верхний гофрощеточный барабан; 2 – обрабатываемые корнеплоды;
 3 – зазор между опорным диском нижнего левого (по ходу движения корнеплодов)
 гофрощеточного барабана и регулируемой заслонкой; 4 – привод; 5 – зазор между
 нижним правым гофрощеточным барабаном и регулируемой заслонкой;
 6 – регулируемая заслонка; 7 – эллиптические утолщения опорных дисков
 гофрощеточных барабанов; 8 – нижний гофрощеточный барабан

Рекомендуемая область использования разработанного авторами очистителя – в составе технологических линий кормоприготовительных цехов или непосредственно на животноводческих фермах. Основу гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов составляют попарно установленные рабочие органы в виде цилиндрических вращающихся щеточных барабанов 1, 8 и регулируемой направляющей заслонки 6 между ними (рис. 1). Щеточные барабаны установлены на подвижной раме очистителя и вместе с направляющей заслонкой между ними образуют камеру переменного сечения (рабочий объем) вдоль по направлению движения корнеплодов. Наклон подвижной рамы, вместе со щеточными барабанами и заслонкой, устанавливают в зависимости от заданной производительности очистителя и загрязненности обрабатываемых корнеплодов. Частоту вращения барабанов регулируют в зависимости от размеров, формы и степени загрязненности корнеклубнеплодного вороха. Следует также отметить, что вращение щеточных барабанов осуществляется в направлении от середины (центральной оси симметрии очистителя) к краям, что позволяет организовать два разнонаправленных контура очистки, вдоль которых послойно будут перемещаться объекты очистки, т. е. двигаться они будут по циклоиде. Это в 3–5 раз увеличивает путь их перемещения в рабочем объеме очистителя, что, несомненно, повышает общий эффект очистки [3, 4].

Перед началом работы важно установить технологические регулировки, соответствующие конкретным условиям очистки и соотношению камни – почва – корнеклубнеплоды в подаваемом на очистку ворохе. Регулированием направляющей заслонки устанавливают необходимую величину зазора между барабанами. Отделенная почва, камни, мелкий сыпучий грунт и растительные остатки просеиваются вниз сквозь гофрощеточный ворс и через технологические зазоры между барабанами и направляющей заслонкой выводятся за пределы очистителя.

Размерно-массовые характеристики кормовых корнеплодов варьируют в очень широких пределах даже одного сорта (например, диаметр корнеплодов кормовой свеклы сорта Эккендорфский желтый после их ручной уборки в 2018 г. в самой широкой части колебался от 0,03 до 0,15 м, а масса корнеплодов составляла от 0,01 до 4,0 кг и более). Это приводит к тому, что более легкие корнеплоды, совершая сложное движение, перемещаются щеткой, одновременно очищаясь, по направлению к выгрузному лотку, а корнеплоды с большей массой прогибают щетину щетки настолько, что могут провалиться через образовавшийся зазор между направляющей заслонкой и щеточным барабаном. При этом снижается полнота отделения корнеплодов и эффективность очистки и разделения вороха в целом. Для большинства известных щеточных очистителей ситуация аналогичная. Например, в щеточном устройстве для отделения камней комбайна «Люни» (Германия) используются две пары вращающихся навстречу друг другу цилиндрических щеток, установленных с определенным зазором между собой. Из-за ошибок в разделении вороха, сложности точного регулирования зазора между щетками в мобильной машине и нерассортированности потока камней и клубней, поступающих в рабочий орган, потери клубней по массе составили от 2,9 до 31,7% [9]. В известном отделителе корnekлубнеплодов от камней и комков транспортерно-щеточного типа (авторы Б.И. Максимов, А.И. Кожеурова) в зависимости от состава массы, поступающей на отделитель, и режимов работы установки ошибка отделения корnekлубнеплодов составила от 12 до 23% [5].

С целью минимизации потерь корнеплодов средней и крупной фракции в процессе очистки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя авторы усовершенствовали конструкцию щеточных барабанов, основа которых дополнена прорезиненными опорными дисками с эллиптическими утолщениями на них. Опорные диски устанавливаются с определенным шагом по длине барабана, между ними шарнирно закрепляется гофрированный щеточный ворс (рис. 1). Благодаря такой конструкции барабанов корнеплоды практически всех типоразмеров и массы в процессе очистки обрабатываются щеточным ворсом и не проваливаются.

Дополнительные динамическое воздействие опорных дисков с эллиптическими утолщениями на них и трение кормовых корнеплодов о гофрощеточный ворс, диски и обрезиненную направляющую заслонку обеспечивают более активный контакт кормовых корnekлубнеплодов с рабочими органами очистителя. За счет этого связанная с кормовыми корнеплодами почва более полно переходит в разряд свободной и вместе с другими загрязнениями просеивается в технологические зазоры между щеточными барабанами и направляющей заслонкой.

Для определения значимых факторов, влияющих на величину потерь корнеплодов в процессе их очистки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя, были проведены соответствующие эксперименты. Выбранные для исследования факторы и интервалы их варьирования [1, 5] представлены в таблице 1.

Таблица 1. Выбранные для исследования факторы и интервалы их варьирования

| Наименование факторов | Обозначение факторов | Единицы измерения | Интервалы варьирования |
|---|----------------------|-------------------|------------------------|
| Частота вращения гофрощеточных барабанов | X1 | с^{-1} | 10,46–20,93 |
| Диаметр гофрощеточных барабанов | X2 | м | 0,4–0,6 |
| Длина очистителя | X3 | м | 0,5–1,5 |
| Высота эллиптических утолщений на опорных дисках | X4 | м | 0–0,02 |
| Зазор между нижними гофрощеточными барабанами и заслонкой | X5 | м | 0–0,05 |
| Угол наклона очистителя к горизонту | X6 | °град | 6–12 |
| Угол подъема верхних гофрощеточных барабанов | X7 | °град | 30–60 |

Матрица планирования отсеивающих экспериментов, построенная перед проведением опытов, представлена в таблице 2.

Таблица 2. Планирование отсеивающих экспериментов в среде Statistica

| План п/п | План 2 [”] (7-4) Матрица планирования отсеивающих экспериментов. sta | | | | | | | |
|-------------|---|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | Y3 |
| 1 | 10,46 | 0,4 | 0,5 | 0,02 | 0,05 | 12,00 | 30,00 | 3,433 |
| 2 | 20,93 | 0,4 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 60,00 | 1,987 |
| 3 | 10,46 | 0,6 | 0,5 | 0,00 | 0,05 | 6,00 | 60,00 | 8,134 |
| 4 | 20,93 | 0,6 | 0,5 | 0,02 | 0,00 | 6,00 | 30,00 | 4,855 |
| 5 | 10,46 | 0,4 | 1,5 | 0,02 | 0,00 | 6,00 | 60,00 | 6,249 |
| 6 | 20,93 | 0,4 | 1,5 | 0,00 | 0,05 | 6,00 | 30,00 | 8,752 |
| 7 | 10,46 | 0,6 | 1,5 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 30,00 | 6,981 |
| 8 | 20,93 | 0,6 | 1,5 | 0,02 | 0,05 | 12,00 | 60,00 | 7,192 |

При проведении опытов использовалась кормовая свекла сорта Эккендорфский желтый после ручной уборки в 2018 г. Общая начальная загрязненность почвенными примесями составила 9–13%, влажность связанных примесей – 14–16%, загрязненность растительными примесями – до 3%.

Функция потерь корнеплодов при очистке Y3 в таблице 2 является средним значением из четырех повторностей при реализации матрицы планирования отсеивающих экспериментов. Для проведения отсеивающих экспериментов и выделения существенных эффектов факторов были выбраны насыщенные планы Плакетта и Бермана, вся информация в которых используется для оценки параметров, не оставляя степеней свободы для оценки эффекта ошибок дисперсионного анализа. Выбранные планы представляют собой двухуровневые планы, образованные методом циклических сдвигов, в которых число опытов равно числу исследуемых эффектов [1], что позволяет оценить изменчивость случайных эффектов и тестиовать оценки параметров на статистическую значимость.

Полученные экспериментальные данные в отсеивающих экспериментах обрабатывались с помощью прикладной программы STATISTICA версия 6.1. Результаты обработки экспериментальных данных для зависимой переменной Y3 (потери корнеплодов при очистке, %) представлены в виде диаграммы эффектов факторов (рис. 2).

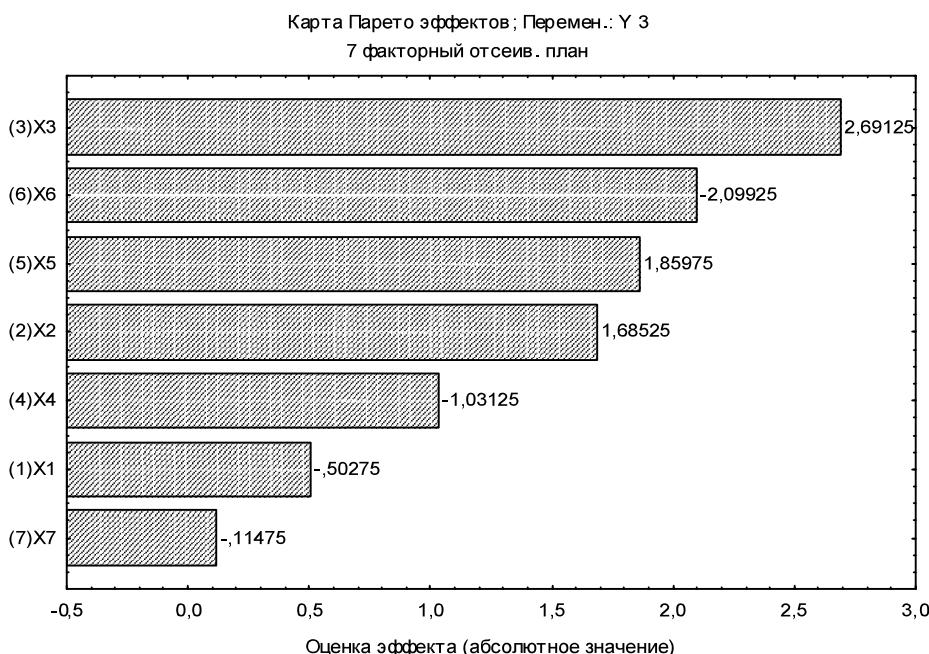


Рис. 2. Диаграмма эффектов факторов, влияющих на потери корнеплодов при очистке Y3, %

Результаты экспериментов показали, что на величину потерь корнеплодов при очистке Y_3 в наибольшей степени влияют длина гофрощеточных барабанов (X_3), угол наклона очистителя к горизонту (X_6), зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой (X_5) и диаметр гофрощеточных барабанов (X_2) (рис. 2). Факторы X_1 и X_7 (соответственно частота вращения гофрощеточных барабанов и угол подъема боковых барабанов) существенного влияния на величину потерь не оказывают.

Экспериментальные исследования также показали, что на всех режимах работы устройства при увеличении зазора между щеточными барабанами и заслонкой, наряду с повышением количества отделяемых свободных примесей (камни, комки, мелкий грунт, черешки ботвы), довольно интенсивно возрастает количество неправильно отделившихся (провалившихся) корнеплодов, т. е. возрастают потери очищаемых корнеплодов (рис. 3).

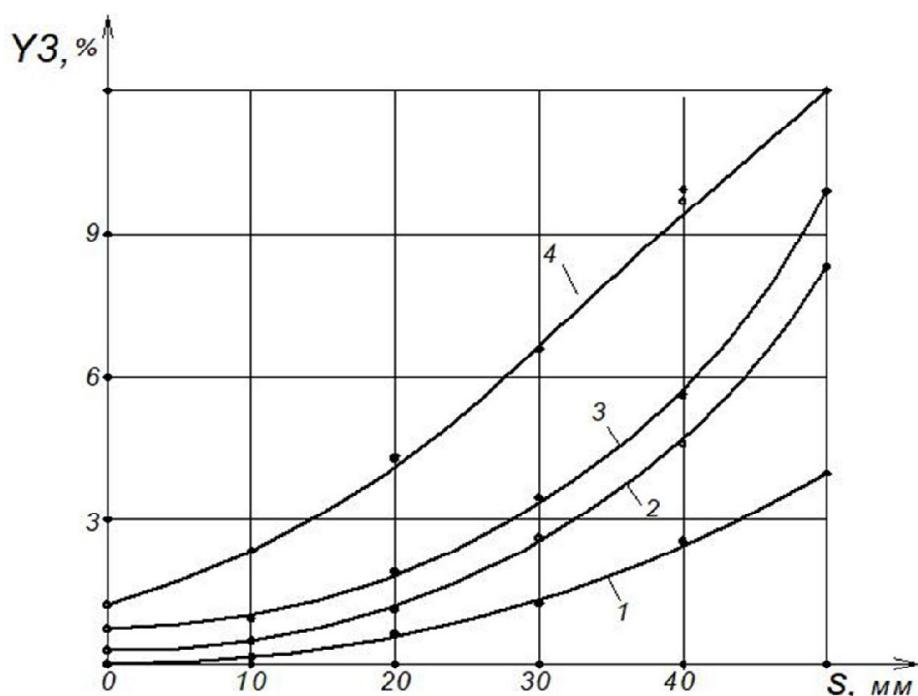


Рис. 3. Зависимость потерь корнеплодов Y_3 при очистке от величины зазора S :

- 1 – $\gamma = 10^\circ$, $\omega = 20,93 \text{ c}^{-1}$; 2 – $\gamma = 6^\circ$, $\omega = 20,93 \text{ c}^{-1}$;
- 3 – $\gamma = 10^\circ$, $\omega = 10,46 \text{ c}^{-1}$; 4 – $\gamma = 6^\circ$, $\omega = 10,46 \text{ c}^{-1}$

Необходимо также отметить, что показатель эффективности очистки с ростом зазора между гофрощеточными барабанами и регулируемой заслонкой меняется незначительно, изменения диаметра опорных дисков и шага их размещения по длине гофрощеточных барабанов также незначительно влияют на эффективность очистки корнеплодов от налипших примесей. Однако с увеличением диаметра опорных дисков с 200 до 300 мм и уменьшением шага их размещения на валах барабанов со 160 до 80 мм потери корнеплодов средней и крупной фракции при очистке уменьшаются на 3–10%.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что рациональная величина зазора между гофрощеточными барабанами и заслонкой не должна превышать 30 мм, количество эллиптических утолщений на одном опорном диске – не более 4 шт., диаметр опорных дисков – не более 300 мм, высота эллиптических утолщений на диске – не более 20 мм, шаг размещения опорных дисков по длине барабана – не более 80–100 мм.

Выводы

1. При разделении корнеклубнеплодного вороха по разнице масс, плотности и размерам существующие устройства щеточного типа не могут полностью отделить кормовые корнеклубнеплоды от камней, комков почвы и других примесей из-за малой жесткости щеточного ворса, следствием чего является определенный процент неправильно отделившейся основной фракции, т. е. потеря части корнеклубнеплодов в процессе очистки на очистительном устройстве.

2. Предлагаемая авторами конструкция щеточных барабанов очистителя, основу которых составляют прорезиненные опорные диски, между которыми шарнирно закреплен гофрированный щеточный ворс, имеет преимущества в сравнении с существующими аналогичными устройствами, так как корнеплоды практически всех типо-размеров и массы в процессе очистки более тщательно обрабатываются щеточным ворсом и при этом не проваливаются в технологические зазоры.

3. Вращающиеся опорные диски с эллиптическими утолщениями создают дополнительное динамическое воздействие на обрабатываемые корнеплоды, перемещая их в радиальном направлении. За счет дополнительного динамического воздействия дисков с утолщениями и трения кормовых корнеплодов о гофрошеточный ворс, диски и обрезиненную направляющую заслонку, обеспечивается более активный (по сравнению с существующими механическими сепараторами щеточного типа) динамический контакт кормовых корнеплодов с рабочими органами, благодаря чему связанная с корнеклубнеплодами почва полнее переходит в разряд свободной и вместе с другими загрязнениями просеивается через зазоры между щеточными барабанами.

4. Выявлены рациональные конструктивные параметры щеточных барабанов, снижающие процент потерь кормовых корнеплодов при обработке в рабочем объеме гофрошеточного очистителя, а именно:

- величина зазора между гофрошеточными барабанами и заслонкой – не более 30 мм;
- диаметр опорных дисков – не более 300 мм;
- шаг их размещения по длине барабана – не более 80–100 мм;
- количество эллиптических утолщений на одном опорном диске – не более 4 шт.;
- высота эллиптических утолщений на диске – не более 20 мм.

5. Проведенные эксперименты показали, что использование гофрошеточного очистителя с усовершенствованной конструкцией рабочих органов снижает потери кормовых корнеплодов при очистке на 3–10% в сравнении с известными щеточными очистителями с рабочими органами комбинированного типа вследствие дополнительного динамического воздействия на кормовые корнеплоды средней и крупной фракции.

Библиографический список

1. Адлер Ю.И. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.И. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.
2. ГОСТ 28736-90. Корнеплоды кормовые. Технические условия. – Введ. 1991-05-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.
3. Карпов В.В. Анализ взаимодействия рабочих органов гофрощеточных барабанов очистителя кормовых корнеплодов с объектами очистки / В.В. Карпов, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (53). – С. 121–128.
4. Карпов В.В. Исследование повреждаемости кормовых корнеплодов рабочими органами гофрощеточного очистителя / В.В. Карпов, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 3 (58). – С. 91–97.
5. Максимов Б.И. Исследование процесса отделения клубней картофеля от камней и почвенных комков на отделителе транспортерно-щеточного типа / Б.И. Максимов, А.И. Кажеурова // Труды ВИСХОМ. – Москва : ВИСХОМ, 1972. – Т. 73. – С. 19–38.
6. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба и др. – Москва : Машиностроение, 1999. – С. 262–265.
7. Найданов С.А. Исследование процесса сухой очистки корней сахарной свеклы / С.А. Найданов, В.А. Пучков // Сборник научных трудов ВИМ. – Москва : Изд-во ВИМ, 1983. – Т. 98. – С. 8–29.
8. Новым технологиям – современные машины : науч.-практ. руководство / В.А. Корчагин и др. – Самара : Самарский НИИСХ; ООО «Сызраньсельмаш», 2007. – 108 с.
9. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – Москва : Машиностроение, 1984. – С. 205–213.
10. Федоренко И.Я. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве / И.Я. Федоренко, В.В. Садов. – Москва : Лань, 2012. – 304 с.
11. Фролов В. Машины и технологии в молочном животноводстве : учебник для вузов / В. Фролов, Д. Сысоев, С. Сидоренко. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 308 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владислав Викторович Карпов – доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, охраны труда и гражданской защиты ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», ЛНР, г. Луганск, e-mail: vip_belyy@mail.ru.

Вячеслав Анатольевич Гулевский – доктор технических наук, профессор кафедры математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@srd.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 01.04.2019

Дата принятия к печати 10.05.2019

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladislav V. Karpov, Docent, the Dept. of Health & Safety, Labor Protection and Civil Defense, Luhansk Taras Shevchenko National University, Luhansk Peoples' Republic, Luhansk, e-mail: vip_belyy@mail.ru.

Vyacheslav A. Gulevsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@srd.vsau.ru.

Received April 01, 2019

Accepted May 10, 2019