
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

**Владислав Викторович Карпов¹
Вячеслав Анатольевич Гулевский²**

¹Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Механические повреждения кормовых корнеплодов зависят от способа и сроков уборки и эффективности технологии послеуборочной доработки при подготовке корнеплодов к хранению или скармливанию сельскохозяйственным животным. Механически поврежденные кормовые корнеплоды хуже хранятся, начинают прорастать в конце февраля – начале марта, тогда как здоровые неповрежденные хорошо сохраняются до конца апреля. Наличие на корнеплодах углублений, трещин и корешков затрудняет очистку, для чего требуются рабочие органы с интенсивным воздействием на труднодоступные места. Однако следствием интенсификации процесса механической очистки является увеличение числа наружных и внутренних повреждений корнеплодов. В разработанном авторами гофрощеточном очистителе рабочие элементы имеют защитные демпфирующие покрытия с более высокими по сравнению с аналогичными устройствами амортизирующими свойствами. Это способствует снижению повреждений кормовых корнеплодов при их очистке от загрязнений. Проведено исследование повреждаемости корнеплодов кормовой и сахарной свеклы рабочими органами гофрощеточного очистителя, определен характер повреждений корнеплодов в рабочем объеме очистителя и построен график изменения повреждаемости корнеплодов по длине тракта очистки. Значительные наружные и внутренние повреждения у корнеплодов кормовой и сахарной свеклы по окончании их обработки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя не наблюдались. Проведенные эксперименты показали, что применение гофрощеточного очистителя снижает травмирование корнеплодов на 5–10% в сравнении с другими щеточными очистителями комбинированного типа благодаря использованию щеточного ворса, имеющего криволинейную форму и обладающего высокими демпфирующими свойствами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: повреждаемость, кормовые корнеплоды, гофрощеточный очиститель, рабочие органы, наружные и внутренние повреждения.

CASE STUDIES ON FEEDING ROOT CROPS DAMAGES BY WORKING ELEMENTS 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

Mechanical damages of feeding root crops depend on harvesting techniques and time, as well as on the efficiency of additional modifications of post-harvesting technology at root crops preparation for storage or feeding to farm animals. Mechanically broken root crops are kept badly, start to sprout prematurely at the end of February – at the beginning of March, whereas healthy intact ones keep quite well to the end of April. The presence of depressions, cracks and rootlets on beet roots makes the process of cleaning more difficult, thus working elements with intensive impact on hard-to-reach spots are required. However, an increase in number of external and internal damages of beet roots is a consequence of an intensification of the process of mechanical cleaning. In the corrugated brush cleaner developed by the authors working elements have specially designed form and are supplied with protective damping coating with higher cushioning properties as compared to similar devices. Such design promotes significant decline in damages of feeding root crops at their cleaning from dirtiness. The authors undertook a study on mode and degree of damages of root crops of fodder and sugar beet by working elements of corrugated brush cleaner, they plotted changes of damages of beet roots versus path length of the proposed cleaner. Significant external and internal damages of root crops of fodder and sugar beet upon completion their cleaning in the service volume of

corrugated brush cleaner weren't observed. The experiments showed that corrugated brush cleaner usage reduces mechanical damages of root crops by 5–10%, in comparison with other brush cleaners of the combined type due to brush pile of the curvilinear form with high damping properties.

KEYWORDS: damages, feeding root crops, corrugated brush cleaner, working elements, external and internal damages.

Введение

После комбайновой уборки кормовых корнеплодов и буртовом или траншейном хранении на обработку в кормоприготовительные цеха или на хранение в стационарные хранилища поступают корнеклубнеплоды, имеющие повышенную загрязненность органическими и минеральными примесями и значительные поверхностные повреждения, полученные ими от рабочих органов свеклоуборочной техники.

В соответствии с ГОСТ 28736-90 [1] общее количество поврежденных корнеплодов (кормовая, полусахарная и сахарная свекла, брюква, морковь, турнепс, выращенные в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и предназначенные на корм сельскохозяйственным животным) должно составлять не более 15%, в том числе сильноповрежденных (более $\frac{1}{3}$ части корнеплода) – не более 8%. Поверхностные повреждения корнеплодов могут составлять при благоприятных условиях уборки от 120 до 2000 см², при неблагоприятных – до 5000 см²/100 корнеплодов, причем отдельные рабочие процессы по-разному влияют на повреждения.

Механически поврежденные кормовые корнеплоды хуже хранятся, быстрее проходят период покоя и начинают прорастать в конце февраля – начале марта, тогда как здоровые неповрежденные хорошо сохраняются до конца апреля [4]. При первичной послеуборочной обработке кормовых корнеплодов практически невозможно полностью удалить как свободные, так и связанные с поверхностями корнеплодов примеси почвы. Мелкие частицы почвы налипают на корнеплоды, остаются в углублениях, впадинах и межкорешковом пространстве и их общее количество после обработки может достигать 3,5% и более [2, 3]. В соответствии с ГОСТ 28736-90 [1] общая загрязненность корнеплодов не должна превышать 10%, в том числе массовая доля механической примеси (земля, камни) – не более 3%. Для корнеплодов, предназначенных на хранение, массовая доля влажных растительных остатков должна составлять не более 7%.

Использование в стационарных хранилищах, в хранилищах животноводческих ферм или непосредственно на фермах устройств для механической безводной очистки кормовых корнеплодов от примесей при подготовке их к скармливанию сельскохозяйственным животным позволяет значительно снизить затраты на единицу обрабатываемой продукции, так как отпадает необходимость в пресной воде, в системе канализации, отстойниках и специально отапливаемых помещениях. Однако рабочие органы большинства известных механических очистителей (шнековые, роликовые, кулачковые, барабанные и др.) не обеспечивают требуемого зоотехническими нормами качества очистки при отделении почвы, связанной с поверхностями корнеплодов [5, 6], а также в значительной степени травмируют обрабатываемые корнеплоды. Наличие на корнеплодах углублений, трещин и корешков затрудняет очистку, для чего требуются рабочие органы с интенсивным воздействием на труднодоступные места. Однако следствием интенсификации процесса механической очистки является увеличение числа повреждений корнеплодов, зачастую весьма тяжелых.

Методика эксперимента

Целью настоящей работы является исследование повреждаемости корнеплодов кормовой и сахарной свеклы рабочими органами гофрощеточного очистителя. Под рабочими органами очистителя следует понимать четыре гофрощеточных вращающихся барабана и направляющую заслонку между ними (рис. 1), установленные в рабочем объеме очистителя с возможностью наклона их к горизонту на угол $\gamma = 0\text{--}15^\circ$.

Для определения характера повреждений корнеплодов кормовой и сахарной свеклы рабочими органами очистителя в процессе их обработки и изучения повреждаемости корнеплодов по длине тракта очистки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя были проведены экспериментальные исследования в лаборатории сепарации сыпучих материалов Луганского национального университета имени Тараса Шевченко.

В исследованиях использовались корнеплоды сахарной свеклы сорта Юбилейный и корнеплоды кормовой свеклы сорта Эккендорфский желтый после ручной уборки урожая 2017 года. Выкопанные вручную корнеплоды сахарной и кормовой свеклы взвешивались и доставлялись к месту проведения опытов. Время между выкапыванием корнеплодов и проведением опытов не превышало 1 часа.

Результаты и их обсуждение

Эффективность использования кормовых корнеплодов в рационах сельскохозяйственных животных определяется качеством их подготовки к скармливанию. В свою очередь, качество и лежкоспособность кормовых корнеплодов определяются наличием органических и минеральных примесей в ворохе корнеклубнеплодов и степенью их повреждения рабочими органами машин при уборке и послеуборочной доработке.

Механические повреждения кормовых корнеплодов зависят от способа и сроков уборки, зрелости корнеклубнеплодов, эффективности технологии послеуборочной доработки, а также от влажности и температуры почвы и наличия комков и камней в грядках.

При уборке кормовых корнеплодов копателями суммарные механические повреждения клубней в зависимости от условий составляют от 5–6 до 10–12%, а комбайнами – от 12–14 до 20–25% [4, 9]. Степень механических повреждений корнеклубнеплодов зависит также от состояния почвы: чем выше ее влажность и ниже температура, тем больше повреждений. Это часто бывает при поздних сроках уборки: суммарные повреждения корнеклубнеплодов во время уборки при температуре 20°C составляют 10%, при 12°C – 21%, при 4°C – 37%, при 1°C – 48% [4, 10].

При послеуборочной доработке, очистке и подготовке к хранению степень механического воздействия на обрабатываемые кормовые корнеплоды или клубни определяется кинематическими и геометрическими параметрами рабочих органов машин и их отдельных элементов, т. е. линейными и окружными скоростями движения рабочих элементов, ускорениями при движении или вращении, подбрасывании или встряхивании, величиной и видами перепадов в рабочем объеме очистителей, временем действия, размерами и кривизной элементов рабочих поверхностей, жесткостью их поверхности, а также прочностью покровных тканей корнеклубнеплодов, их массой, размерами и формой [7]. Например, в известном транспортерно-щеточном отделителе клубней картофеля от примесей (автор В.М. Фурлетов) имеются перепады высот в расположении рабочих элементов – из-за падений корнеклубнеплоды приобретают поверхностные и внутренние повреждения [9].

Основу конструкции барабанно-щеточного очистителя корнеплодов (авторы В.И. Сыроватка, А.В. Дервиш) составляет прутковый металлический грохот и размещенная в нем и вращающаяся с противовращением цилиндрическая щетка, выполненная из капрона или кардной проволоки – в данном устройстве травмирование корнеплодов происходит из-за контакта с металлическими необрезиненными прутками грохота и щеточным ворсом из кардной проволоки [10].

В рабочем объеме разработанного авторами гофрощеточного очистителя процесс очистки и сепарации кормовых корнеплодов от примесей протекает следующим образом (рис. 1).

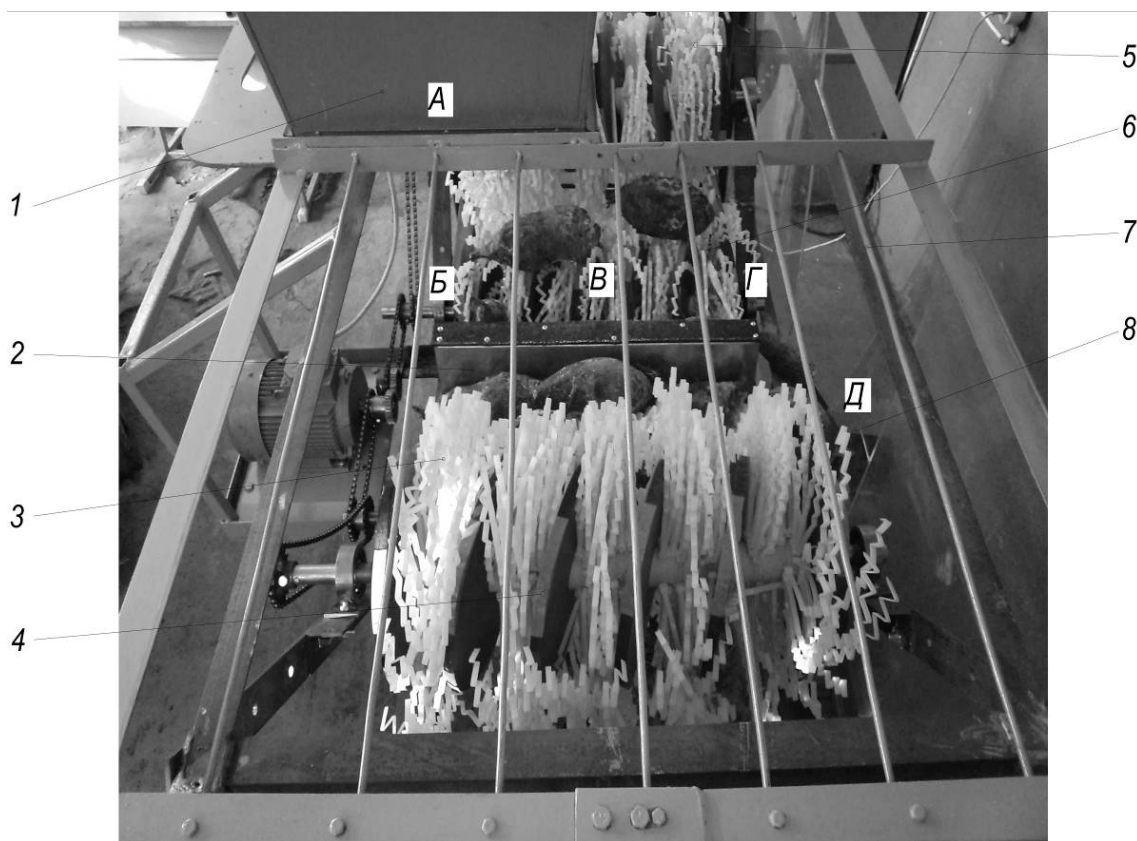


Рис. 1. Рабочие органы гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов:
 1 – загрузочный бункер с заслонкой; 2 – направляющая заслонка; 3 – щеточный ворс криволинейной формы пильчатого профиля; 4 – опорный диск с эллиптическими утолщениями; 5 – верхний гофрощеточный барабан; 6 – нижний гофрощеточный барабан; 7 – прутковые отражатели; 8 – выгрузной лоток; А – подача корнеплодов «бункер – заслонка»; Б – начало тракта очистки «нижний барабан – заслонка – верхний барабан – отражатели»; В – середина тракта очистки; Г – конец тракта очистки; Д – выгрузка продукта «выгрузной лоток – тара»

Перед началом работы устанавливаем требуемое сечение рабочего объема очистителя на входе и выходе, а также направление и частоту вращения гофрощеточных барабанов (поз. 5 и 6). Регулированием направляющей заслонки (поз. 2) устанавливаем необходимую величину зазора между барабанами. Подаваемый на очистку ворох корнеклубнеплодов через загрузочный бункер (поз. 1) попадает в рабочий объем очистителя на вращающиеся наклонные гофрощеточные барабаны с дисками и заслонки. На валы гофрощеточных барабанов на определенном расстоянии друг от друга насажены опорные диски (поз. 4) с дополнительными эллиптическими утолщениями. В пространствах между дисками на подвесной системе шарнирно закреплен щеточный ворс (поз. 3), состоящий из набора гофрированных полосок криволинейной формы пильчатого профиля. Внутри рабочего объема, встречаясь с барабанами, вращающимися с определенной частотой и направлением, корнеклубнеплоды изменяют направление своего вращения и начинают совершать циклическое движение: вначале перемещаются по поверхностям центральных (нижних) барабанов, далее подхватываются боковыми (верхними) гофрощеточными барабанами и поднимаются на некоторый угол до отражателей (поз. 7), а затем скатываются вниз, интенсивно перетираясь друг с другом.

Вращающиеся диски с эллиптическими утолщениями создают дополнительное динамическое воздействие на корнеклубнеплоды, перемещая их в радиальном направлении. За счет ударов дисков с утолщениями и трения корнеклубнеплодов о вращающиеся гофрированные полоски криволинейной формы пильчатого профиля, опорные диски и

направляющую заслонку обеспечивается активный динамический контакт корнеклубнеплодов с барабанами, благодаря чему связанная с корнеклубнеплодами почва переходит в разряд свободной и вместе с другими загрязнениями просеивается через зазоры между гофрощеточными барабанами. Сужение рабочего объема очистителя на выходе тормозит скорость продвижения корнеклубнеплодов, что увеличивает степень поджата гофрированных полосок к очищаемым поверхностям, создавая лучшие условия для эффективной очистки различных по размерам, форме и степени загрязнения корнеклубнеплодов. Очищенные корнеклубнеплоды скатываются по выгрузному лотку (поз. 8) и далее подаются или в транспортное средство для перевозки к месту хранения, или на транспортер для подачи в измельчитель – смеситель кормов. Отделенная же почва, камни и растительные остатки просеиваются вниз и попадают на нижний выгрузной транспортер при-месе-й.

Проведенные экспериментальные исследования различных конструкций рабочих органов гофрощеточного очистителя [5–7] показали, что нормируемая остаточная загрязненность корнеплодов кормовой свеклы (при влажности связанной почвы $W = 10\text{--}18\%$ и начальной загрязненности связанными почвенными примесями $\delta_n = 1,2\text{--}10\%$) после механической очистки на гофрощеточном очистителе составила $\delta_{oct} = 1\text{--}1,1\%$; для корнеплодов сахарной свеклы при $W = 3\text{--}30\%$ и $\delta_n = 2,5\text{--}15\%$ остаточная загрязненность составила $\delta_{oct} = 2,81\text{--}3,2\%$, что соответствует зоотехническим требованиям к подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным.

При подготовке к последующему хранению или к скармливанию сельскохозяйственным животным кормовые корнеклубнеплоды получают наружные и внутренние повреждения. Из наружных учитываются обдир кожуры, ссадины до 3 мм, вырывы мякоти до 5 мм, более 5 мм, трещины длиной до 20 мм, более 20 мм, разрезы и раздавливания корнеплодов и клубней [3, 8]. К внутренним повреждениям корнеплодов и клубней относят потемнение мякоти глубиной до 3 мм, от 3 до 5 мм, от 5 до 10 мм и более 10 мм. Внутренние повреждения кормовых корнеклубнеплодов определялись нами по прошествии 10 дней после их обработки на гофрощеточном очистителе.

Степень механических повреждений кормовых корнеклубнеплодов, обрабатываемых в рабочем объеме гофрощеточного очистителя, можно снизить рациональным обоснованием режимных, кинематических и отдельных геометрических параметров элементов рабочих органов очистителя, а также применением в разработанном устройстве рабочих элементов, непосредственно контактирующих с обрабатываемым материалом, с более высокими амортизирующими свойствами и имеющих защитные покрытия из новых материалов.

Длина тракта очистки (путь прохождения очищаемых кормовых корнеклубнеплодов) в рабочем объеме гофрощеточного очистителя условно поделена на стадии (рис. 1):

A – подача корнеплодов «бункер – заслонка»;

B – начало тракта очистки «нижний барабан – заслонка – верхний барабан – отражатели»;

B – середина тракта очистки;

Г – конец тракта очистки;

Д – выгрузка продукта «выгрузной лоток – тара».

Стадии *A* и *Д* характеризуются большим перепадом по высоте между загрузочным бункером и нижележащими гофрощеточными барабанами и выгрузным лотком и тарой, приводящим к наружным повреждениям корнеклубнеплодов. Стадии *B*, *B* и *Г* характеризуются многократным изменением направления движения кормовых корнеплодов, интенсивным динамическим воздействием со стороны опорных дисков с утолщениями и гофрощеточным ворсом криволинейной формы пильчатого профиля – это приводит к внутренним повреждениям корнеклубнеплодов (рис. 2).

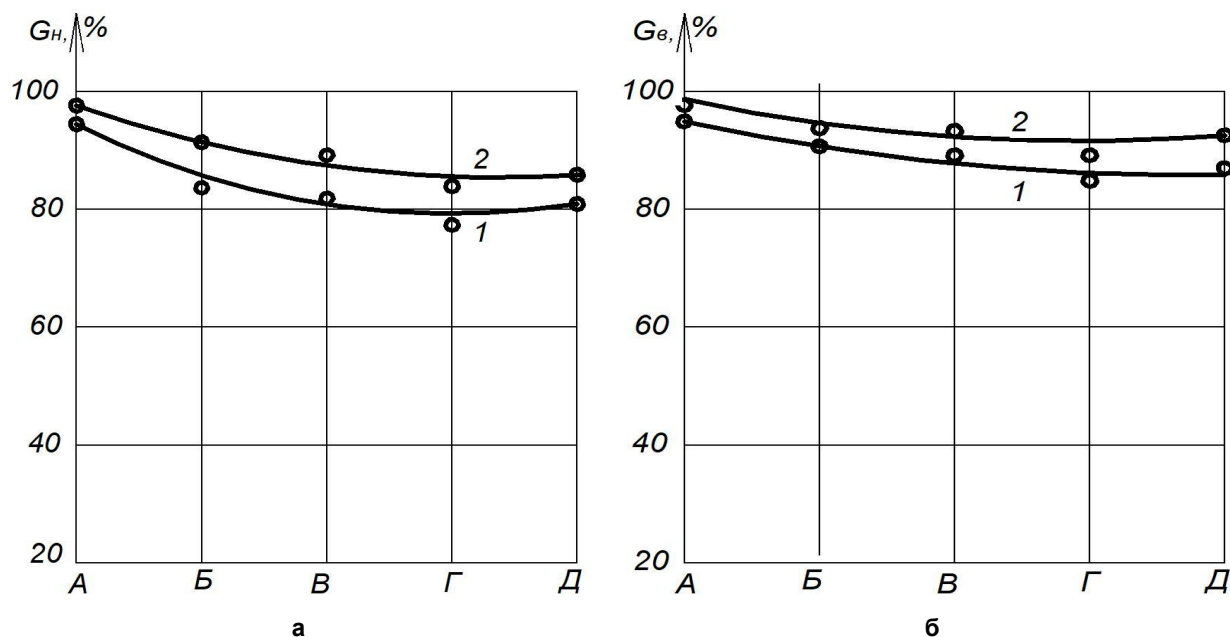


Рис. 2. Снижение веса корнеплодов кормовой и сахарной свеклы без наружных повреждений (а) и без внутренних повреждений (б): 1 – корнеплоды кормовой свеклы; 2 – корнеплоды сахарной свеклы

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что больших наружных повреждений (трещины длиной 20 мм и более, вырывы глубиной от 5 мм и более, разрезы и раздавливания корнеплодов) в процессе обработки корнеплодов в рабочем объеме гофрощеточного очистителя не наблюдалось.

Наружные повреждения в виде содранной кожуры с менее $\frac{1}{4}$ поверхности корнеплода, ссадины до 3–5 мм и обламывание хвостиков корнеплодов кормовой и сахарной свеклы имеют место в основном на стадиях А и Д тракта очистки (рис. 1). Стадии А и Д характеризуются большим перепадом по высоте между загрузочным бункером и нижележащими гофрощеточными барабанами и выгрузным лотком и тарой соответственно.

Больших внутренних повреждений (потемнение мякоти на глубину от 5 мм и более, повреждения в виде содранной кожуры с более чем $\frac{1}{4}$ поверхности корнеплода) практически не наблюдалось. Внутренние повреждения в виде потемнения мякоти на глубину до 5 мм корнеплоды кормовой и сахарной свеклы получают на стадиях Б, В и Г тракта очистки (рис. 1). Внутренние повреждения корнеплодов учитывались после хранения не менее 10 дней.

Выводы

1. Существующие щеточные устройства комбинированного типа для очистки и отделения кормовых корнеплодов от примесей не могут качественно обрабатывать корни без одновременного их травмирования из-за соударений или значительного трения их об элементы рабочих органов и перепадов по высоте, имеющих в их конструкции.

2. Предложенная конструкция гофрощеточного очистителя, обладая рядом преимуществ (обрезиненные рабочие поверхности, использование рабочих элементов с высокими демпфирующими свойствами), является более перспективной как по эффективности очистки, так и по отсутствию больших наружных и внутренних повреждений у корнеплодов в сравнении с существующими аналогичными устройствами.

3. Снижение веса корнеплодов кормовой и сахарной свеклы без наружных повреждений по окончании их обработки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя составило соответственно 70 и 79% и без внутренних повреждений – 78 и 83%. Наиболее характерными из возникающих наружных повреждений являются повреждения в виде содранной кожуры с менее $\frac{1}{4}$ поверхности корнеплода, ссадины до 3–5 мм и обламывание хвостиков корнеплодов кормовой и сахарной свеклы, из возникающих внутренних – повреждения в виде потемнения мякоти на глубину до 5 мм.

4. Выявлены рациональные параметры и режимы работы очистителя, снижающие процент поврежденных корнеплодов, а именно: угловая скорость вращения гофрощеточных барабанов $\omega = 16,186 \text{ с}^{-1}$, их диаметр $D = 0,42168 \text{ м}$ и длина $L = 0,80019 \text{ м}$, высота эллиптических утолщений на опорных дисках $h = 0,01507 \text{ м}$.

6. Применение гофрощеточного очистителя снижает травмирование корнеплодов на 5–10% в сравнении с другими щеточными очистителями комбинированного типа благодаря использованию щеточного ворса, имеющего криволинейную форму и обладающего высокими демпфирующими свойствами.

Библиографический список

1. ГОСТ 28736-90. Корнеплоды кормовые. Технические условия (1990). Межгосударственный стандарт. – Москва : Стандартинформ, 1991. – 6 с.
2. Дикарев Ю.А. Сухая очистка корнеплодов / Ю.А. Дикарев, Б.В. Кононов, Ч.Е. Агданов // Степные просторы. – 1987. – № 12. – С. 36.
3. Жистин Е.А. Исследование механической повреждаемости клубней картофеля на маятниковом копре / Е.А. Жистин, К.С. Козюра // Всесоюзный НИИ механизации сельского хозяйства. Науч.-техн. бюллетень. – Москва : Изд-во ВНИИМСХ, 1984. – Вып. 57. – С. 20–22.
4. Зейрук В.Н. Как снизить потери картофеля при уборке и хранении / В.Н. Зейрук, К.А. Пшеченков // Картофель и овощи. – 2001. – № 4. – С. 6–11.
5. 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.
6. Карпов В.В. Влияние загрязненности и влажности почвенных примесей на эффективность очистки кормовых корнеплодов / В.В. Карпов, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (54). – С. 82–87.
7. Колчин Н.Н. Сохранение качества картофеля и овощей при их послеуборочной обработке / Н.Н. Колчин // Научные основы хранения и переработки плодовоовощной продукции и картофеля. – Москва : ВО «Агропромиздат», 1987. – С. 9–17.
8. Красниченко А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин : в 2-х т. Т. 2 / А.В. Красниченко. – Москва : Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной лит-ры, 1961. – 863 с.
9. Сыроватка В.И. Энергетические и геометрические параметры барабанно-щеточного очистителя корнеплодов / В.И. Сыроватка, А.В. Дервиш // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1972. – № 9. – С. 42–45.
10. Фурлетов В.М. Транспортно-щеточные отделители клубней картофеля от примесей / В.М. Фурлетов // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 1. – С. 19–21.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Владислав Викторович Карпов – старший преподаватель 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», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-18-68, e-mail: main@srd.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 23.07.2018

Дата принятия к печати 12.08.2018

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Vladislav V. Karpov – Senior Lecturer, the Dept. of Health & Safety, Labor Protection and Civil Defense, Luhansk Taras Shevchenko National University, Peoples' Republic of Lugansk, Lugansk, 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, tel. 8(473) 253-18-68, e-mail: main@srd.vsau.ru.

Received July 23, 2018

Accepted August 12, 2018