

УДК 631.363.636

UDC 631.363.636

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУХОЙ ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ ШНЕКОВЫМ СЕПАРАТОРОМ

EXPERIMENTAL ASPECTS OF A COOKING PROCESS OF HIGH-QUALITY FEED GRAIN-BASED SEPARATOR

Фролов Владимир Юрьевич
д.т.н., профессор

Frolov Vladimir Yurievich
Dr.Sci.Tech., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Бычков Александр Владимирович
инженер
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Bychkov Alexander Vladimirovich
engineer
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Предложена конструктивно технологическая схема очистителя корнеплодов. Приведены теоретические и экспериментальные исследования процесса очистки корнеплодов. Обоснованы основные конструктивно-режимных параметров предлагаемого очистителя

We have offered a constructive flow sheet of a root cleaner. Theoretical and experimental studies of roots purification process have been performed. We have also substantiated the main structural and regime parameters of the proposed cleaner

Ключевые слова: КОРНЕПЛОДЫ, АНАЛИЗ, СЕПАРИРУЮЩЕЕ-ОЧИСТИТЕЛЬНЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ПОЛЕЗНАЯ МОЩНОСТЬ МЕТОДИКА, ЭКСПЕРИМЕНТ

Keywords: ROOTS, ANALYSIS, SEPARATING AND CLEANING WORKING PARTS, THEORETICAL RESEARCHES, PERFORMANCE, USEFUL POWER, EXPERIMENT

Введение

В процессе производства и приготовления кормов важное место занимает использование различных кормовых смесей с применением в качестве компонента корнеплодов. Корнеплоды повышают продуктивность животных, так как содержат много витаминов, сахара и микроэлементов. Корнеплод как кормовая культура в последнее время привлекает все большее внимание хозяйств Краснодарского края. В среднем в корнеплодах содержится 23% сухого вещества, из которых 12% составляет сахар. Использование в рационах кормление корнеплода в позволяет повысить продуктивность животных в среднем до 15% .

Одной из основных операций при подготовке корнеплодов к скармливанию является их очистка от почвы. Загрязненность корнеплодов, колеблющуюся в пределах 7...28%, можно классифицировать на группы: тяжелые примеси (камни, куски металла и т.п.), связанная почва и легкие примеси (солома, растительные остатки).

Решение данной задачи содержит в себе источник повышения продуктивности животных, повышения ресурсосбережения и может быть обеспечено за счет совершенствования существующих машин или разра-

ботки новых

Цель исследования -совершенствование процесса сухой очистки корне-плодов с разработкой ресурсосберегающего шнекового сепаратора и обоснования его конструктивно – режимных параметров.

В настоящее время существуют поточные линии послеуборочной обработки корнеплодов, которые содержат сепарирующие и сортировочные рабочие органы, что повышает металлоемкость и энергоемкость процесса послеуборочной обработки корнеплодов. В связи с этим создание рабочего органа, который бы обеспечивал отделение почвы и других примесей от клубней и их разделение на необходимые фракции, с качеством, соответствующим требованиям, является задачей актуальной и требующей своего решения.

Анализ существующих поточно-технологических линий очистки корнеплодов и технических средств показал, что они энерго- и металлоемки.

Выявлены пути совершенствования технологических средств для сухой очистки корнеплодов, в основу которых положен принцип последовательного разрушения комков при их одновременном поступательном и вращательном (вокруг своей оси) движении. Процесс очистки реализуется очистителем шнекового типа с навивкой в виде полусфер, обеспечивающим высокое качество очистки при снижении энергоемкости и затрат труда на выполнение процесса [1,2].

На основании вышеизложенного, разработан очиститель корнеплодов, который осуществляет сухую очистку корнеплодов и их сепарацию (рисунок 1). Очиститель состоит из: цепно-планчатого транспортера 1, засыпной горловины 2, двух параллельно расположенных шнеков 3 с навивкой, выполненной во встречном направлении друг к другу. Навивка представляет собой шарики 4 закрепленные на осях 5, которые перпендикулярно закреплены к горизонтальной поверхности шнеков 3 и располагаются в отверстиях выполненных в виде полусфер, при этом имеют возможность вращения вокруг своей оси, с целью предотвращения повреждения корнеплодов и более качественной очистки. Шаг витков шнеков различен, и имеет соотношение 1:1,5 шага первого шнека к шагу второго. Шнеки вра-

щуются во встречном направлении друг к другу, при соотношении частоты вращения первого шнека ко второму 1:2, что способствует эффективной очистке при вращательном движении корнеплодов вокруг своей оси в процессе перемещения последних в осевом направлении. Под шнеками 3 расположен выгрузной транспортер 6 для удаления растительных остатков и почвы в контейнер 7. Концы шнеков 8, сепарационной зоны очистителя корнеплодов конусообразные, с навивкой выполненной в виде шариков 4 и направлением навивки соответствующей навивки шнеков 8.

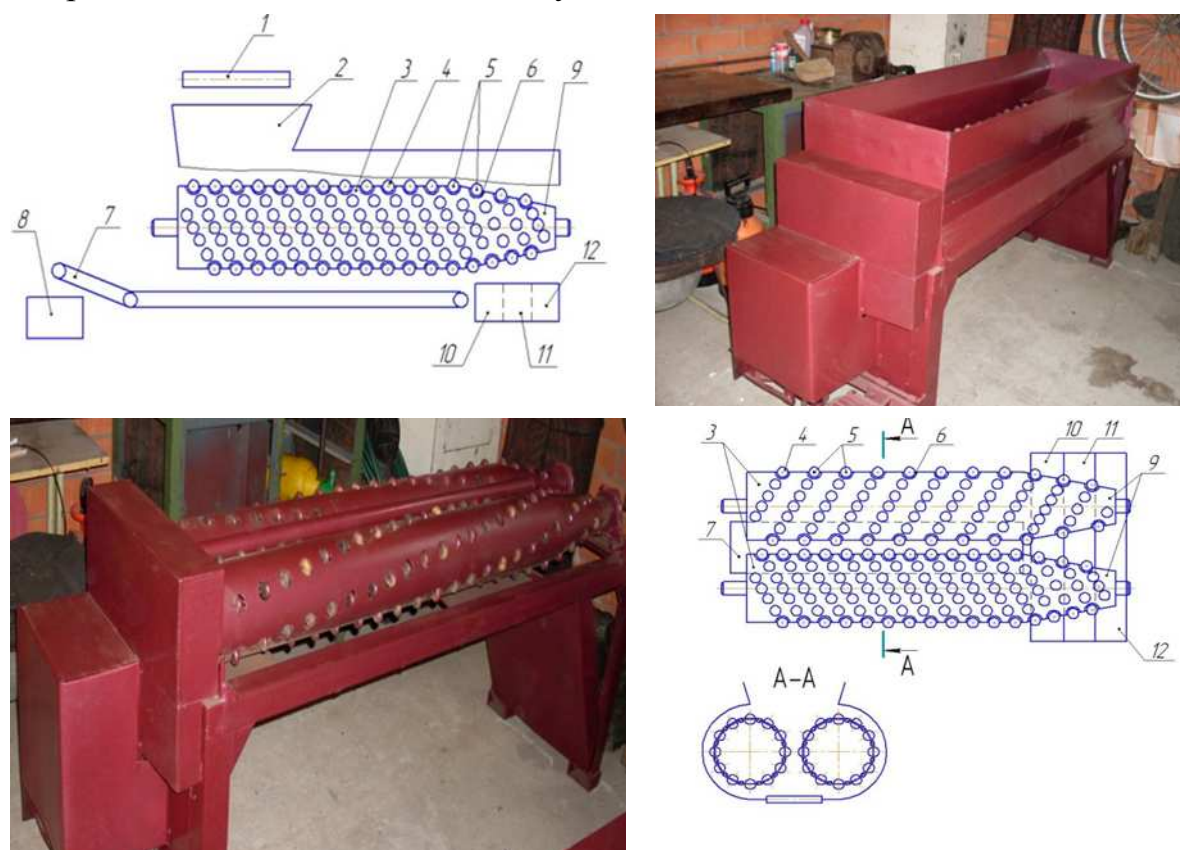


Рисунок 1 – Общий вид очистителя корнеплодов.

Под сепарационной зоной очистителя находится приемный лоток 9, который разбит на три секции для сбора корнеплодов различного размера.

Корнеплоды, с помощью цепочно-планчатого транспортёра 1 подаются в засыпную горловину 2, за счет сил гравитации. Корнеплоды, поступают на параллельно расположенные шнеки 3 с навивкой выполненной в виде шариков 4. Материал, за счет разности шага навивки и разности частоты вращения шнеков, вращаясь вокруг своей оси, перемещается в осевом направлении шнеков 3, отчищаясь от примесей. Примеси (комки зем-

ли, камни, остатки ботвы) через зазор между шнеками 3 за счет сил гравитации просыпаются на выгрузной транспортер 6 откуда удаляются за пределы очистителя. Корнеплоды, поступая в зону сепарации, выполненную в виде конусообразных шнеков 8 с шариковой навивкой 4, перемещаясь в осевом направлении шнеков, разделяются в зависимости от геометрических размеров и посредством сил гравитации попадают в сборный лоток 9 разделенный на три секции для корнеплодов мелкого, среднего и крупного размера.

Таким образом, использование предлагаемого очистителя позволит значительно снизить энергоемкость, металлоемкость процесса, осуществлять более качественную очистку корнеплодов с минимальными повреждениями а также производить их сепарацию в зависимости от размера.

В основу процесса отделения комков почвы от корнеплодов с помощью рабочего органа шнекового сепаратора положен принцип последовательного разрушения комков при их одновременном поступательном и вращательном (вокруг своей оси) движении.

При работе устройства комки почвы и корнеплоды перемещаются по удлиненной циклоиде - трохоиде, что обеспечивается вращением шнеков с различной угловой скоростью.

Для обеспечения нормальной работы устройства необходимо, чтобы выполнялось следующее условие [7]:

$$\lambda = \frac{\omega_2}{\omega_1} > 1$$

где λ –показатель кинематического режима; ω_2 – угловая скорость вращения быстроходного шнека, с^{-1} ; ω_1 –угловая скорость вращения тихоходного шнека, с^{-1} ;

Основными параметрами шнеков является диаметр $D_{ш}$, шаг винтовой линии t , высота витка и зазор между смежными шнеками. С увеличением диаметра и зазора между шнеками возрастает захватывающая способность шнеков. Эти параметры должны выбираться из условия протаскивания примесей и отсутствия защемления корнеплодов

$$\frac{d_k \cos \varphi_k - \Delta S}{1 - \cos \varphi_k} > D_{III} > \frac{d_n \cos \varphi_n - \Delta S}{1 - \cos \varphi_n},$$

где d_k и d_n – соответственно диаметр корнеклубнеплода и толщина примесей (растительные остатки, почвенные комки и др.), мм; φ_k и φ_n – соответственно угол трения по поверхности шнека корнеклубнеплода и отделяемых примесей, град; ΔS – зазор между шнеками мм.

Для эффективной сепарации почвы зазоры между смежными шнеками должны быть достаточно большими, но не более диаметра мелких корнеплодов.

Производительность очистителя можно определить по выражению;

$$Q = \frac{1}{2} (B_{ср} + \Delta S) \left(\frac{\sum_{i=1}^n l_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \right) \frac{\omega D_{ш}^2}{2t} \lambda \rho \varphi_{зап},$$

где $B_{ср}$ – средняя ширина корнеплода; l_i – длина корнеплода каждой фракции, кг; ω – частота вращения корнеплода, c^{-1} ; $D_{ш}$ – диаметр шнеков, м; t – шаг витка шнеков; λ – показатель кинематического режима; ρ – плотность корнеплодов, $кг/м^3$; $\varphi_{зап}$ – коэффициент заполнения рабочего пространства, по длине шнеков.

Полезная мощность, потребная для привода очистителя, расходуется на перемещение корнеплодов вдоль оси шнеков и на преодоление трения материала о навивку шнеков.

Мощность на перемещение корнеплодов вдоль оси шнеков определяется:

$$N_1 = \frac{\pi R (Q + 40 \pi R^2 L_{тр} \lambda \rho \rho)}{30,6 \eta}$$

где Q – производительность мойки в т/ч; R – радиус шнеков, м; ω – угловая скорость тихоходного шнека, c^{-1} ; $L_{тр}$ – длина шнеков, м; λ – показатель кинематического режима; φ – коэффициент заполнения; ρ – плотность корнеплодов $кг/м^3$; η – к.п.д. передачи (0,87).

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения материала о навивку шнека.

$$N_2 = \frac{F_k v_a}{75},$$

где F_k – сила трения груза о поверхность витка шнека, определяется по уравнению:

Мощность на привод шнеков определялась как:

$$N_0 = \frac{(N_1 + N_2) \varphi_{\text{зап}}}{\eta_{\text{п}}}.$$

где $\varphi_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения шнеков; $\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. подшипников вала шнека.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ приведены результаты экспериментальных исследований очистителя корнеплодов шнекового типа в зависимости от конструктивно - режимных параметров и дан их анализ.

В результате эксперимента наших исследований получены адекватные математические модели, которые в развернутом виде имеют вид:

– для энергоемкости:

$$N = 2265,634 + 266,7018 \lambda - 40553,155 D_{\text{ш}} - 1589,38 l - 860,652 L_{\text{мп}} + 7,5 \lambda D_{\text{ш}} + 0,125 \lambda L_{\text{мп}} + 12,5 D_{\text{ш}} l - 0,625 l L_{\text{мп}} - 59,1619 \lambda^2 + 116857,62 D_{\text{ш}}^2 + 1149,5238 l^2 + 290,2381 L_{\text{мп}}^2$$

– для степени очистки:

$$\xi = 37,3621 + 12,6885 \lambda + 1137,996 D_{\text{ш}} + 9,5833 l - 25 L_{\text{мп}} - 25 \lambda D_{\text{ш}} + 5 \lambda l - 1,25 \lambda L_{\text{мп}} - 250 D_{\text{ш}} l - 62,5 D_{\text{ш}} L_{\text{мп}} - 12,5 l L_{\text{мп}} - 2,5714 \lambda^2 - 2619,05 D_{\text{ш}}^2 + 11,9048 l^2 + 12,5 L_{\text{мп}}^2$$

– для производительности:

$$Q = -10766,546 - 1032,7 \lambda + 185133,33 D_{\text{ш}} + 6254,88 l + 3407,447 L_{\text{мп}} + 13332,5 \lambda D_{\text{ш}} + 3384,25 \lambda l + 1590,875 \lambda L_{\text{мп}} + 18287,5 D_{\text{ш}} l + 9081,25 D_{\text{ш}} L_{\text{мп}} + 2235,625 l L_{\text{мп}} + 273,8190333 \lambda^2 - 526883,33 D_{\text{ш}}^2 - 5230,714267 l^2 - 1317,2024 L_{\text{мп}}^2$$

На основе полученных уравнений построены сечения поверхностей откликов, основные из которых представлены на рисунках 2,3,4,5,6,7. [4,5]

Анализ сечений представленных на рисунках 2 и 3 показывают, что энергоемкость процесса очистки корнеплодов с увеличением l от 0,64 м. до

0,73 и $L_{тр}$ от 1,4 м. до 1,55 м. составляет $62 \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$, при этом показатель кинематического режима $\lambda=2,0$, а диаметр шнека составляет $D_{ш}=0,178\text{м}$.

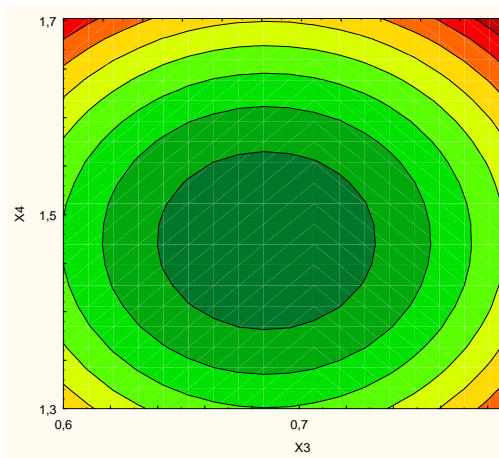


Рисунок 2 – Сечение поверхности энергоемкости на плоскость $X_3(l)X_4(L_{тр})$ при $X_1=-1$ ($\lambda = 1,5$) и $X_2=0$ ($D_{ш} = 1,8$ м)

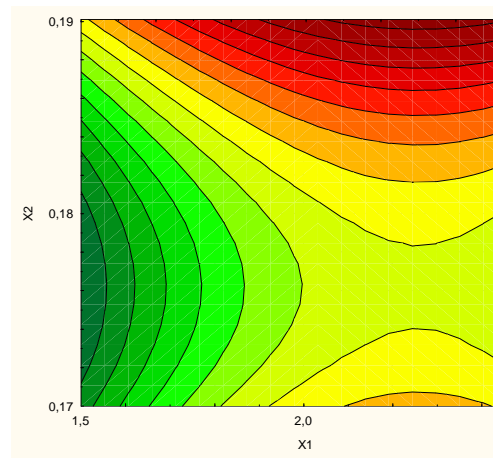


Рисунок 3 – Сечение поверхности энергоемкости на плоскость $X_1(\lambda)X_2(D_{ш})$ при $X_3=-1$ ($l = 0,6$ м) и $X_4=0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

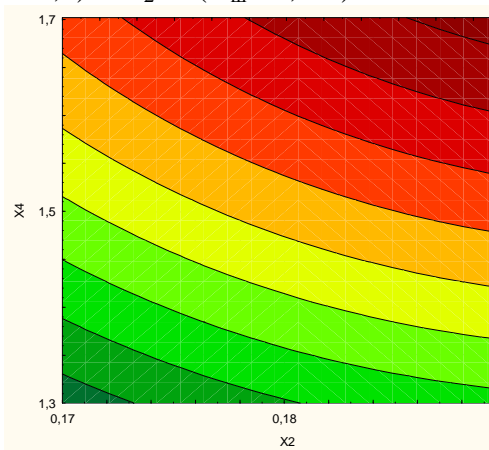


Рисунок 4 – Сечение поверхности производительности на плоскость $X_2(D_{ш})X_4(L_{тр})$ при $X_1=-1$ ($\lambda = 1,5$) и $X_3=0$ ($l = 0,7$ м)

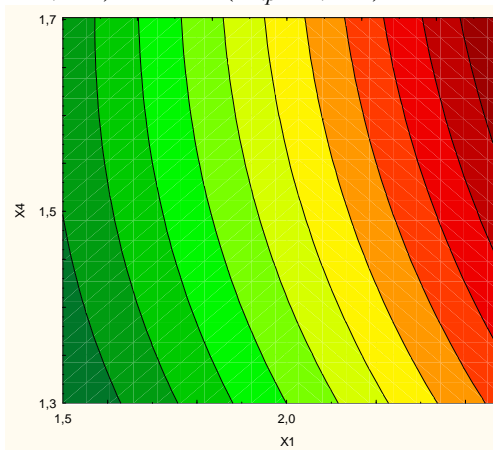


Рисунок 5 – Сечение поверхности производительности на плоскость $X_1(\lambda)X_4(L_{тр})$ при $X_2=-1$ ($D_{ш} = 0,17$ м) и $X_3=0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

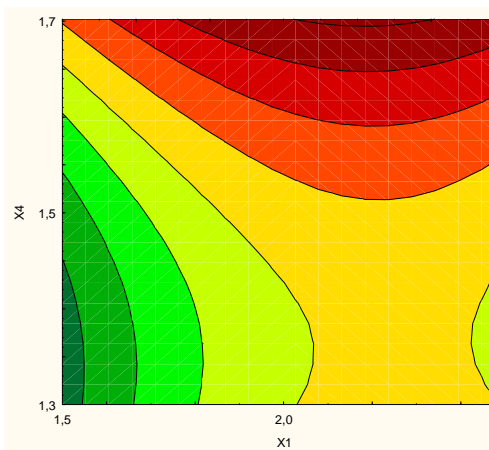


Рисунок 6 – Сечение поверхности коэффициента очистки на плоскость

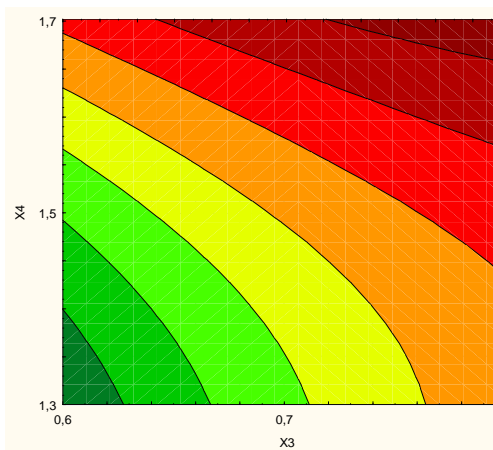


Рисунок 7 – Сечение поверхности коэффициента очистки на плоскость

- для показателя кинематического режима $\lambda = 2,2$;
- для диаметра шнеков $D_{ш} = 0,178$ м;
- для шага шнековой навивки $l = 0,68$ м;
- для длины рабочей зоны очистки $L_{TP} = 1,5$ м.

Значения критериев оптимизации при оптимальном сочетании факторов следующие:

- производительность Q от 2450 до 2500 кг/ч;
- энергоёмкость $N = 0,62 \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$;
- степень очистки $\xi = 95,3\%$.

В результате производственной проверки работоспособности очистителя корнеплодов в хозяйствах Краснодарского края получены следующие показатели:

- пропускная способность составила от 2450 до 2500 кг/ч в зависимости от влажности почвенных примесей $W = 35 \dots 62\%$ при показателе кинематического режима $\lambda = 2,2$.

- энергоёмкость процесса составила $N_{уд} = 0,62 \dots 0,73$ Вт·ч/кг.

Реализация предложенного ресурсосберегающего технологического процесса сухой очистки корнеплодов позволяет снизить металлоёмкость в 1,2 раза, удельные затраты воды – на 0,1 л/кг и получить годовой экономический эффект 133,97 руб./т при сроке окупаемости 4,5 года.

Представляют интерес разработки КубГАУ [8, 9], которые будут также полезны в нашей дальнейшей работе. В одной из них [8] представлена методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин или технологических линий с использованием функции Харрингтона, а во второй производственный процесс рассмотрен комплексно и для его оценки использован метод оптимизации по совокупным затратам энергии, определяющим лучший вариант [9].

Использованные источники:

1. Бычков А.В. Сухая очистка корнеклубнеплодов / А.В. Бычков, В.Ю. Фролов // Сельский механизатор. – 2009. - №10 - С. 8-9.

2. Бычков А.В. Сухая очистка корнеклубнеплодов транспортным устройствам / А.В. Бычков, В.Ю. Фролов// Техника и оборудование для села. – 2011. - №1 - С. 28-29.
3. Бычков А.В. Оптимизация процесса сухой очистки корнеклубнеплодов / А.В. Бычков, В.Ю. Фролов// Техника и оборудование для села. – 2011. - №8 - С. 22.
4. Бычков А.В. Экспериментальные аспекты оптимизации процесса сухой очистки корнеклубнеплодов / А.В. Бычков, В.Ю. Фролов// Международный технико-экономический журнал. – 2011. - №3 - С. 81-85.
5. Бычков А.В. Оптимизация процесса сухой очистки корнеклубнеплодов рабочим органом шнекового типа / А.В. Бычков, В.Ю. Фролов// Труды Кубанского государственного аграрного университета, № 4 (37), 2012 с. 293-295
6. Бычков А.В. Механико – технологические предпосылки сухой очистки корнеклубнеплодов / В.Ю. Фролов, А.В. Бычков, Д.П. Сысоев// Техника и оборудование для села. – 2013. - №1 - С. 14 - 17.
7. Бычков А.В. Теоретические аспекты процесса сухой очистки корнеклубнеплодов / В.Ю. Фролов, А.В. Бычков// Труды Кубанского государственного аграрного университета, № 1 (40), 2013 с. 163-166
8. Маслов Г.Г. Методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин //Тракторы и сельхозмашины, 2009 №10 с. 31-34.
9. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Комплексное проектирование механизированных производственных процессов в растениеводстве //Учебное пособие для сельскохозяйственных высших учебных заведений – Москва , 2006. Сер. учебник.

References

1. Bychkov A.V. Suhaja ochistka korneklubneplodov / A.V. Bychkov, V.Ju. Frolov// Sel'skij mehanizator. – 2009. - №10 - S. 8-9.
2. Bychkov A.V. Suhaja ochistka korneklubneplodov transportnym ustrojstvam / A.V. Bychkov, V.Ju. Frolov// Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2011. - №1 - S. 28-29.
3. Bychkov A.V. Optimizacija processa suhoj ochistki korneklubneplodov / A.V. Bychkov, V.Ju. Frolov// Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2011. - №8 - S. 22.
4. Bychkov A.V. Jeksperimental'nye aspekty optimizacii processa suhoj ochistki korneklubneplodov / A.V. Bychkov, V.Ju. Frolov// Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomicheskij zhurnal. – 2011. - №3 - S. 81-85.
5. Bychkov A.V. Optimizacija processa suhoj ochistki korneklubneplodov rabochim organom shnekovogo tipa / A.V. Bychkov, V.Ju. Frolov// Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, № 4 (37), 2012 s. 293-295
6. Bychkov A.V. Mehaniko – tehnologicheskie predposylki suhoj ochistki korneklubneplodov / V.Ju. Frolov, A.V. Bychkov, D.P. Sysoev// Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2013. - №1 - S. 14 - 17.
7. Bychkov A.V. Teoreticheskie aspekty processa suhoj ochistki korneklubneplodov / V.Ju. Frolov, A.V. Bychkov// Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, № 1 (40), 2013 s. 163-166
8. Maslov G.G. Metodika kompleksnoj ocenki jeffektivnosti sravnivaemyh mashin //Traktory i sel'hozmashiny, 2009 №10 s. 31-34.
9. Maslov G.G., Didmanidze O.N., Cibulevskij V.V. Kompleksnoe proektirovanie mehanizirovannyh proizvodstvennyh processov v rastenievodstve //Uchebnoe posobie dlja sel'skohozjajstvennyh vysshih uchebnyh zavedenij – Moskva , 2006. Ser. uchebnik.