Старовойтова Оксана Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir2@mail.ru.

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Манохина Александра Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: alexman80@list.ru.

Author credentials

Affiliations

Starovoitov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Korshunov Aleksandr – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir1@mail.ru.

Starovoitova Oksana – Full Doctor of Agricultural Sciences, Leading researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Balabanov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Manokhina Alexandra – Full Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: alexman80@list.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 28.05.2021

УДК 636.085

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-47-56

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ШНЕКЕ

¹Брусенков Алексей Владимирович

¹Капустин Василий Петрович

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. Известно, что эффективная работа шнекового транспортёра корнеклубнемойки состоит из трёх неразрывно связанных и согласованных между собой основных процессов: загрузки, транспортирования и выгрузки. Процесс загрузки определяет количественные и качественные показатели транспортёра, в котором происходят весьма сложные взаимодействия винтовой поверхности транспортирующего органа и корнеплодов. Процесс транспортирования заключается в непрерывном воздействии винтовой поверхности на перемещаемые корнеплоды, основным параметром которого является скорость осевого перемещения, а процесс выгрузки влияет на перемещение корнеплодов внутри кожуха транспортера. На основании анализа результатов проведённых различными авторами многочисленных теоретических и экспериментальных исследований по вопросу транспортирования кормов было установлено, что правильно рассчитать параметры и режимы выгрузных шнеков по существующим формулам не удаётся (ошибка составляет 20...60%) и необходимые значения подбирают опытным путем. Это объясняется ещё и тем, что при расчёте конструктивно-режимных параметров (производительности, мощности и других),

вместо скоростей транспортируемого корма определяют скорости самого шнека. Кроме того, проектирование шнеков осуществляется с применением эмпирических рекомендаций и допущений, недостаточно обоснованных теоретическими исследованиями. Нами были получены уравнения движения корнеплодов, а также проведено теоретическое исследование скорости подъёма корнеплодов в вертикальном шнеке с учётом различных факторов, влияющих на процесс транспортирования. Полученные рекомендации позволят обоснованно подойти к выбору и расчёту оптимальных конструктивно-режимных параметров вертикального шнека (диаметра, шага, скорости подъёма корнеплодов, выяснения действительного характера их движения) с целью обеспечения его максимальной производительности.

Ключевые слова: корнеплоды, вертикальный шнек, процесс транспортирования, винтовая поверхность, корнеклубнемойка, производительность.

PHYSICAL MODEL OF THE MOVEMENT OF ROOT CROPS IN A VERTICAL AUGER

¹*Brusenkov Alexey*

¹*Kapustin Vasilii*

²*FSBEI HE "Tambov state technical university"*

Abstract: It is known that the effective operation of the screw conveyor of the root-dredger consists of three inextricably linked and coordinated main processes: loading, transportation and unloading. The loading process determines the quantitative and qualitative parameters of the conveyor, in which there are very complex interactions of the helical surface of the transporting body and root crops. The transportation process consists in the continuous action of the helical surface on the transported root crops, the main parameter of which is the speed of axial movement, and the unloading process affects the movement of root crops inside the conveyor casing. Based on the analysis of the results of numerous theoretical and experimental studies conducted by various authors on the issue of feed transportation, it was found that it is not possible to correctly calculate the parameters and modes of unloading augers according to existing formulas (the error is 20...60%) and the necessary values are selected experimentally. This is also explained by the fact that when calculating the design and operating parameters (productivity, power, and others), instead of the speeds of the transported feed, the speeds of the auger itself are determined. In addition, the design of augers is carried out using empirical recommendations and assumptions that are not sufficiently justified by theoretical studies. We have obtained the equations of motion of root crops, as well as conducted a theoretical study of the rate of lifting of root crops in a vertical screw, taking into account various factors affecting the transportation process. The recommendations obtained will allow a reasonable approach to the selection and calculation of the optimal design and operating parameters of the vertical screw (diameter, pitch, lifting speed of root crops, finding out the actual nature of their movement) in order to ensure its maximum performance.

Keywords: root crops, vertical auger, transportation process, screw surface, root tuberization, productivity.

Введение. В отечественном и зарубежном сельскохозяйственном производстве всё большее распространение получают шнековые (винтовые) транспортёры, которые соответствуют современным зоотехническим требованиям. Их использование достаточно разнообразно – в сельскохозяйственных машинах, при механизации кормоприготовления, при транспортировании навоза, зернофуражных продуктов, корнеклубнеплодов и других грузов [1, 2, 3].

Для приготовления корнеклубнеплодов используют корнеклубнемойки, корнерезки, измельчители, смесители-запарники и кормоприготовительные агрегаты [4, 5]. Отделение загрязнений от потока кормового продукта в них выполняют специальные устройства различного конструктивного исполнения. Наиболее успешно этот процесс протекает в воде, где тяжелые примеси, имеющие удельную массу значительно большую, чем у корнеплодов, полностью оседают на дно ванны, а продукт выводится из устройства. Эффективность работы шнекового транспортёра прежде всего зависит от степени загрязнения корнеплодов, которая может достигать 30 % в зависимости от почвенно-климатических условий [6, 7].

Результаты и их обсуждение. Для влажной очистки корнеплодов на животноводческих фермах применяются корнеклубнейки со шнековым транспортирующим органом (ИКМ-5, ИКМ-5М, ИКМ-Ф-10), в которых поток корнеклубнейков перемещается вертикально снизу вверх независимо от его физико-механических свойств и расположения внутри кожуха [8,9].

Так как процесс транспортирования представляет собой сложный для математического описания процесс, то считаем необходимым исследовать движение одного корнеплода, а затем распространить полученные результаты на весь поток, учитывая все факторы – геометрические и кинематические параметры транспортирующего органа и физико-механические свойства корнеплодов.

$\bar{G}$ – вес корнеплода; $\frac{G\bar{V}_L^2}{gr}$ – центробежная сила; $\bar{G}_K$ – сила Кориолиса;

$\bar{N}_B$ – сила трения скольжения корнеплода по шнеку;

$\bar{F}_L$ – сила трения, преодолеваемая корнеплодом при подъеме

Рисунок 1 – Силы, действующие на корнеплод при его подъёме

Подъем корнеплода в вертикальном шнеке будет происходить в том случае, когда сила трения, вызванная действующей на него центробежной силой $\left(\frac{G\bar{V}_L^2}{gr}\right)$, оказывается настолько большой,

что притормаживает корнеплод в совместном вращении со шнеком, то есть заставляет его проскальзывать по шнеку, преодолевая силу трения о винт ($\mu_s G \cos \alpha$) и составляющую силы тяжести, направленную вдоль винтовой поверхности вниз (рисунок 1). Нагляднее это можно показать на развернутой плоскости шнека (рисунок 2).

Примем для упрощения дальнейших формул массу (m) корнеплода равной единице, то есть $m = \frac{G}{g} = 1$, и следовательно, вес корнеплода $G = g$.

Рисунок 2 – Силы, действующие в плоскости (рисунок 1) на корнеплод при его подъёме

Тогда, если α – угол подъема винтовой линии на радиусе (r) точки соприкосновения корнеплода с винтовой поверхностью и μ_s – коэффициент трения скольжения между корнеплодом и винтом, то будем иметь на винтовой поверхности, согласно рисунку 3, две не зависящие от скорости шнека силы – $G \sin \alpha$ и $\mu_s G \cos \alpha$, из которых первая является составляющей силы тяжести, а вторая – силой трения, вызванной составляющей силы тяжести. Так как обе силы препятствуют движению корнеплода вверх, то они направлены в одну сторону.

G – вес корнеплода; $G \sin \alpha$ – составляющая силы веса; $\bar{G}_k$ – сила Кориолиса;
 $\mu_s G \cos \alpha$ – сила трения, вызванная составляющей силы веса ($G \cos \alpha$);
 $\bar{F}_L$ – сила трения, преодолеваемая корнеплодом при подъеме

Рисунок 3 – Силы, действующие на корнеплод и не зависящие от скорости шнека

При совместном вращении корнеплода и шнека с наибольшей скоростью (U_o), при которой корнеплод ещё не проскальзывает по шнеку (так называемая «критическая скорость»), на него действует центробежная сила $\left(\frac{U_o^2}{r} \right)$. Она создает при угле внутреннего трения корма

$\varphi_L = \arctg \mu_L$, где μ_L – коэффициент внутреннего трения корнеплодов, силу трения $F_o = \frac{U_o^2}{r} \mu_L$, находящуюся в плоскости вращения. Принимая во внимание тот факт, что в работающих на производстве шнеках, часть корма обычно попадает в зазор между шнеком и кожухом, крошится,

налипает на стенку кожуха и корм при движении трется о как бы «налипший» слой того же корма, мы пользуемся в формуле для силы трения (F_o) коэффициентом внутреннего трения корма. Сила

(F_o) дает приложенные к корнеплоду вдоль винтовой линии составляющие $\left(\frac{U_o^2}{r} \mu_L \cos \alpha\right)$ и $\left(\frac{U_o^2}{r} \mu_L \mu_S \sin \alpha\right)$ (рисунок 4).

Рисунок 4 – Действие на корнеплод трения, вызванного центробежной силой при движении совместно с винтовой поверхностью

Из условия равновесия корма, то есть равенства нулю алгебраической суммы сил, действующих на корнеплод вдоль винтовой линии, согласно рисунков 3 и 4, имеем:

$$g(\sin \alpha + \mu_S \cos \alpha) = \frac{U_o^2}{r} \mu_L (\cos \alpha - \mu_S \sin \alpha) \quad (1)$$

Разделив это уравнение на $(\sin \alpha)$ и заменив в нём коэффициент трения скольжения корнеплода по шнеку (μ_S) углом трения (φ) по соотношению $\mu_S = \tan \varphi$, получаем:

$$\frac{\mu_L}{rg} U_o^2 = \frac{\tan \alpha + \tan \varphi}{1 - (\tan \alpha - \tan \varphi)} = \tan(\alpha + \varphi), \quad (2)$$

откуда «критическая» скорость шнека, то есть та наибольшая скорость, при которой корнеплод ещё не проскальзывает по шнеку:

$$U_o = \sqrt{\frac{rg}{\mu_L} \tan(\alpha + \varphi)}, [\text{м/сек}] \quad (3)$$

или

$$n_o = 30 \sqrt{\frac{\tan(\alpha + \varphi)}{r \mu_L}}, [\text{об/мин}] \quad (4)$$

где r – радиус точки соприкосновения корнеплода с винтовой поверхностью, м;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$;

φ_L – угол внутреннего трения корма (угол естественного откоса корнеплода);

α – угол наклона винтовой поверхности на радиусе (r), то есть:

$$\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi r}, \quad (5)$$

где S – шаг винта, м;

φ – угол трения корнеплода о шнек, то есть $\varphi = \arctg \mu_S$, где μ_S – коэффициент трения скольжения корнеплода о шнек.

Формула (4) получена из формулы (3) по соотношению $U_o = \frac{\pi n}{30}$ и приняв $\sqrt{g} = 3,1321 \approx \pi$.

Уравнение (3) представляет общеизвестное выражение «критической» скорости [10,11] с той лишь разницей, что в нашем выражении «критической» скорости μ_L – коэффициент внутреннего трения скольжения корма, тогда как у остальных авторов это коэффициент трения скольжения о кожуш шнека.

Когда шнек вращается со скоростью $U_S > U_o$, то корнеплод проскальзывает по винтовой поверхности, и его абсолютная скорость (U_A) (рисунок 5) является геометрической суммой переносной скорости (U_S), то есть скорости вращения вместе со шнеком, и относительной скорости U_T , то есть скорости скольжения по шнеку.

Проекция абсолютной скорости корнеплода (U_A) на направление скорости (U_S) представляет собой скорость вращения корнеплода вокруг оси шнека (U_L).

Учитывая таким образом, кориолисово ускорение, будем иметь ввиду, что на корнеплод действует центробежная сила $\frac{U_L^2}{r}$, создающая силу трения $F_L = \frac{U_L^2}{r} \mu_L$.

U_A – абсолютная скорость корнеплода; U_S – переносная скорость корнеплода;

U_T – относительная скорость корнеплода; U – скорость подъема корнеплода;

U_L – скорость вращения корнеплода вокруг оси шнека; U_o – «критическая» скорость

Рисунок 5 – Соотношение между составляющими скоростей корнеплода и скорости шнека с учетом кориолисова ускорения

При движении корнеплода на участке $U_S - U_o$ вверх под углом (β) к горизонту сила (F_L) дает приложенные к корму вдоль винтовой линии составляющие (рисунок 6):

$$\frac{U_L^2}{r} \mu_L \cos(\alpha + \beta) \text{ и } \frac{U_L^2}{r} \mu_L \mu_S \sin(\alpha + \beta)$$

Из условия равновесия корма, то есть равенства нулю алгебраической суммы сил, действующих на корнеплод вдоль винтовой линии, согласно рисунков 3 и 6, имеем:

$$g(\sin \alpha + \mu_S \cos \alpha) = \frac{U_L^2}{r} \mu_L [\cos(\alpha + \beta) - \mu_S \sin(\alpha + \beta)] \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (1) и (6) позволит получить зависимость между скоростью корнеплода вокруг оси шнека (U_L) и «критической» скоростью (U_o):

$$U_L = U_o \sqrt{\frac{\cos \alpha - \mu_S \sin \alpha}{\cos(\alpha + \beta) - \mu_S \sin(\alpha + \beta)}} \quad (7)$$

Рисунок 6 – Действие на корнеплод трения, вызванного центробежной силой при скольжении по винтовой поверхности

Сделав в знаменателе замены $\cos(\alpha + \beta) = \cos\alpha \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta$, $\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta$ и вынеся члены с (β) , получаем под корнем:

$$\frac{\cos\alpha - \mu_s \sin\alpha}{\cos\beta(\cos\beta - \mu_s \sin\alpha) - \sin\beta(\sin\alpha + \mu_s \cos\beta)}. \quad (8)$$

После деления числителя и знаменателя этой дроби на $(\cos\alpha)$ будем иметь:

$$\frac{1 - \mu_s \tan\alpha}{\cos\beta(1 - \mu_s \tan\alpha) - \sin\beta(\tan\alpha + \mu_s)}. \quad (9)$$

Проведя снова деление числителя и знаменателя на $1 - \mu_s \tan\alpha$, заменив $\mu_s = \tan\varphi$ и, преобразовав второй член в знаменателе по общеизвестной зависимости:

$$\frac{\tan\alpha + \tan\varphi}{1 - \tan\alpha \cdot \tan\varphi}. \quad (10)$$

Получаем из выражения (7):

$$U_L = \frac{U_0}{\sqrt{\cos\beta - \sin\beta \cdot \tan(\alpha + \varphi)}}. \quad (11)$$

По рисунку 5 имеем:

$$U_L = U_S - U_T \cos\alpha. \quad (12)$$

и $U_T \sin\alpha = (U_L - U_0) \cdot \tan\beta$, откуда:

$$U_T = (U_L - U_0) \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в (12), получаем:

$$U_S = U_L + (U_L - U_0) \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}. \quad (14)$$

Из рисунка 5 дополнительно имеем следующие выражения для скорости подъема корнеплода:

$$U = (U_L - U_0) \cdot \tan\beta. \quad (15)$$

$$U = (U_S - U_L) \cdot \tan\alpha. \quad (16)$$

Например, при заданных параметрах шнека корнеклубнейки ИКМ-Ф-10 (наружный диаметр шнека – $D = 600$ мм, шаг шнека – $S = 380$ мм, диаметр вала шнека – $d = 76$ мм, скорость шнека – $n = 190$ об/мин.) и характеристики транспортируемого корма (корнеплоды), а также при определенных (α) и (φ) , уравнение (11) дает возможность иметь представление о наибольшем угле подъема $(\beta_{\max})$ траектории движения корнеплода. Поскольку линейные скорости и

ускорения корма не одинаковы по радиусу, то не одинаковы силы инерции и силы трения между корнеплодами, а следовательно и не одинаковы углы их подъема на каждом радиусе.

Действительно, величина угла (β) должна быть меньше той, при которой знаменатель дроби в уравнении (11), будет равен нулю, так как при этом скорости (U_o), (U_s) и (U) стали бы бесконечно большими, что лишено практического смысла.

Таким образом, для наибольшей возможной величины угла ($\beta_{\max}$) подъема корнеплода имеем следующее выражение:

$$\beta_{\max} < \arctg \frac{1}{\tg(\alpha + \varphi)}. \quad (17)$$

Когда производим расчёты задавая скорость шнека (n), то возникает задача определения ширины его поверхности, на которой корм будет участвовать в вертикальном движении, то есть определения «критического» радиуса (r_o), для которого $n = n_o$. Приняв при шаге шнека (S)

$$\tg(\alpha + \varphi) = \frac{\tg \alpha + \tg \varphi}{1 - \tg \alpha \cdot \tg \varphi} = \frac{\frac{S}{2\pi} + \mu_s}{1 - \frac{S}{2\pi} \mu_s} = \frac{S + 2\pi \mu_s}{2\pi - S \mu_s} \quad (18)$$

из формулы (4) получаем следующее уравнение для $r_o = f(n)$:

$$2\pi \mu_L n^2 r_o^2 \cdot (S \mu_L \mu_s n^2 + 900 \cdot 2\pi \mu_s) \cdot r_o - 900 \cdot S = 0 \quad (19)$$

При $\mu_L = \mu_s$, обозначая эти величины μ и приняв $S \mu^2 = A$, $2\pi \mu = B$, $4S = C$, получаем для критического радиуса (r_o), то есть для внутреннего радиуса кольцевой поверхности слоя корма, совершающего вертикальное движение, следующую зависимость от скорости шнека n , [об/мин]:

$$r_o = \frac{An^2 + 900 \cdot B + \sqrt{(An^2 + 900 \cdot B)^2 + 900 \cdot BCn^2}}{2Bn^2}. \quad (20)$$

Выражение со знаком минус перед квадратным корнем является негодным, так как тогда (r_o) получается отрицательной величиной, не имеющей смысла.

При $\mu_L \neq \mu_s$, значения этих коэффициентов подставляем в уравнение (19) и аналогично определяем (r_o).

Также можно отметить, что числовое значение (r_o), получаемое по формулам (19) и (18), может быть проверено вычислением по формуле (4) с использованием формулы (18).

В зависимости от соотношения между критическим радиусом (r_o) и диаметром вала шнека (d) имеем для внутреннего радиуса (r_1) слоя корнеплодов следующие ограничительные условия:

$$\text{при } r_o < 0,5d \quad r_1 \geq 0,5d \quad (21)$$

$$\text{при } r_o > 0,5d \quad r_1 \geq r_o \quad (22)$$

Условие (21) очевидно, а соблюдение условия (22) необходимо для того, чтобы весь находящийся на полностью заполненном витке шнека слой корнеплодов двигался вверх.

Выводы. Корнеплоды, заполняющие пространство между кожухом и винтовой наживкой, находятся в очень сложных условиях и исследование их движения представляет одну из труднейших задач. Предлагаемый нами теоретический анализ движения корнеплодов в вертикальном шнеке дает возможность рассмотреть условия движения корнеплодов, получить расчётные формулы и дать правильные рекомендации для определения его конструктивно-режимных параметров.

Список литературы

1. Брусенков А.В., Ведищев С.М. Анализ и классификация винтовых транспортеров, применяемых в животноводстве // Интеллектуальные технологии и техника в АПК: материалы Международной научно-практической конференции 18-20 октября 2016 года. – Мичуринск: ООО «Бис», 2016. – С.252-264.

2. Брусенков А.В., Мякотин В.О. Обзор и анализ технических средств для мойки корнеклубнеплодов на животноводческих фермах // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020 года (ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»). – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.226-231.
3. Михайлов В.А., Голованов Г.А., Шевченко А.Н., Смоленский А.В. Результаты исследований рабочих органов для очистки и транспортирования корнеплодов // Механизация и электрификация производственных процессов в животноводстве: сборник научных трудов. – Зерноград, ВНИПТИМЭСХ, 1989. – С.108-115.
4. Брусенков А.В., Капустин В.П. Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скормливания крупному рогатому скоту: монография. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 140 с.
5. Брусенков А.В., Капустин В.П. Выбор перспективного направления измельчения корнеклубнеплодов // Альманах мировой науки. – Люберцы: Изд-во: ООО «АР-Консалт», 2016. – №3-1(6). – С.56-61.
6. Короткин В.М. Анализ принципов действия моечных машин для корнеклубнеплодов // Техника в сельском хозяйстве, 1997. – №3. – С.10-11
7. Кузнецов, П.Н. Совершенствование технологии и технических средств для очистки сахарной свёклы в условиях повышенной влажности и почвы: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 // Кузнецов П.Н. – Мичуринск-наукоград, 2015. – 149 с.
8. Груздев, И.Э., Мирзоев Р.Г., Янков В.И.. Теория шнековых устройств. – Л.:Изд-во Ленинград. ун-та, 1978. – 144с.
9. Хучуа, Ф.А., Тверской М.З., Кривицкий Б.С. Об особенностях движения продукта в вертикально-шнековом дозаторе // Научно-технический бюллетень по механизации и электрификации животноводства: приготовление и раздача кормов. – Зерноград, 1978. – Вып.9 – С.48-55.
10. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры. – М.: «Машиностроение», 1972. – 184с.
11. Мещеряков, Б.В. Исследование работы и обоснование оптимальных параметров рабочих органов шнековых измельчителей сочных кормов: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 // Мещеряков Б.В. – Омск, 1967. – 195с.

References

1. Brusenkov A.V., Vedishchev S. M. Analysis and classification of screw conveyors used in animal husbandry // Intellectual technologies and equipment in the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference on October 18-20, 2016. – Michurinsk: LLC "Bis", 2016. – S.252-264.
2. Brusenkov A.V., Myakotin V. O. Obzor i analiz tehnicheskikh sredstvov dlya moyki korneklubneplodov na animal-breeding farms // Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika: Materials of the 2nd All-Russian (national) scientific-practical conference, May 28-29, 2020 (Tambov State Technical University). – Tambov, Publishing house of IP Chesnokova A.V., 2020. – S.226-231.
3. Mikhailov V. A., Golovanov G. A., Shevchenko A. N., Smolensky A.V. Results of research of working bodies for cleaning and transporting root crops // Mechanization and electrification of production processes in animal husbandry: collection of scientific papers. – Zernograd, VNIPTIMESH, 1989. – S.108-115.
4. Brusenkov A.V., Kapustin V. P. Technologies and means of preparation of root tubers for feeding cattle: monograph. – Tambov: Publishing Center of FGBOU VO "TSTU", 2019. – 140s.
5. Brusenkov A.V., Kapustin V. P. The choice of a promising direction for grinding root-tubers / / Almanac of world science. – Lyubertsy: Publishing House: AR-Consult LLC", 2016. – №3-1(6). – S.56-61.
6. Korotkin V. M. Analysis of the principles of action of washing machines for root tubers / / Technics in agriculture, 1997. – №3. – S.10-11
7. Kuznetsov, P. N. Improving the technology and technical means for cleaning sugar beet in conditions of high humidity and soil: dis. kand. teh. nauk: 05.20.01 // Kuznetsov, P. N. – Michurinsk-naukograd, 2015. – 149s.
8. Gruzdev, I. E., Mirzoev, R. G., Yankov, V. I. Theory of screw devices. – L.: Leningrad Publishing House. Un-ta, 1978. – 144s.
9. Khuchua, F. A., Tverskoy, M. Z., Krivitsky, B. S. On the features of product movement in a vertical-screw dispenser // Scientific and technical bulletin on mechanization and electrification of animal husbandry: preparation and distribution of feed. – Zernograd, 1978. – Issue 9 – S.48-55.

10. Grigoriev, A.M. Screw conveyors. – M.: "Mechanical Engineering", 1972. – 184s.
11. Meshcheryakov, B. V. Study of the work and justification of the optimal parameters of the working bodies of screw grinders of juicy feed: dis. cand. tech. nauk: 05.20.01 // Meshcheryakov B. V. – Omsk, 1967 – 195s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Брусенков Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru.

Капустин Василий Петрович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: prof@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Brusenkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru.

Kapustin Vasilii – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: prof@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 11.05.2021

УДК 631.362.34

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-56-62

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

¹Анашкин Александр Витальевич

¹Емельянович Сергей Владимирович

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Получение высококачественного зерна и семян при наличии в зерновом ворохе трудноотделимых сорных примесей невозможно без применения операции триерной очистки. Проведен анализ эффективности использования триерных блоков в составе зерноочистительных технологий. Отмечено несоответствие последовательных технологических процессов выделения длинных и коротких примесей по качественным показателям очистки, обуславливающее необходимость пополнения базы знаний о процессах разделения компонентов зерносмесей ячеистой поверхностью с помощью разработанного ФГБНУ ВНИИТиН стендового оборудования циклического действия. Выявлен общий недостаток всех исследовательских стендов с управляемым частотным преобразователем электроприводом вращения ячеистого цилиндра. Из-за нестабильности частоты вращения ячеистого цилиндра при разной загрузке, необходима ее тарировка для каждого исследуемого режима в зависимости от частоты тока, что существенно увеличивает трудоемкость выполнения экспериментальных исследований. Изготовлен и включен в конструкцию стенда для исследований ячеистых поверхностей электронный тахометр, обеспечивающий непрерывную индикацию на цифровом табло величины частоты вращения триерного цилиндра. Элементная база тахометра включает модуль датчика Холла ОН-137, программируемый микроконтроллер Arduino Nano V3, 7-ми сегментный дисплей 4-bit LED Digital Module. Усовершенствованное стендовое оборудование для исследований процессов триерного разделения компонентов зерносмесей по длине частиц путем применения электронного тахометра позволяет существенно упростить проведение соответствующих