

References

1. Reshetnyy stan ochkistki zernouborochnogo kombayna: pat. 2275787 Ros. Federatsiya: MKI A01F 12/44 / Sorochenko S.F., Ryazanov A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – № 2004125547/12; zayavl. 20.08.2004; opubl. 10.05.2006, Byul. № 13. – 5 s.
2. Sistema ochkistki zernouborochnogo kombayna: patent na poleznuyu model' 111964 Ros. Federatsiya: MPK A01F 12/44 / Sorochenko S.F., Ryazanov A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova». – № 2011133975/13; zayavl. 12.08.2011; opubl. 10.01.2012.
3. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V., Dryuk V.A. Ustroystvo dlya ravnomernogo raspredeleniya zernovogo vorokha na reshete zernouborochnogo kombayna // Polzunovskiy vestnik. – 2009. – № 1-2. – S. 179-182.
4. Alferov S.A. Vozdushno-reshetnye ochkistki zernouborochnykh kombaynov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 160 s.
5. Dryuk V.A., Sorochenko S.F. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya zernovogo vorokha s dinamicheskim razravnivaniem po reshetu sistemy ochkistki zernokombayna // Vestnik DGTU. – 2008. – T. 8. – № 2. – S. 113-119.
6. Sorochenko S.F. Issledovanie dvizheniya komponentov zernovogo vorokha po reshetu zernouborochnogo kombayna pri uborke zernovykh kul'tur na sklonakh // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 8 (142). – S. 162-168.
7. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy adaptera sistemy ochkistki zernouborochnogo kombayna dlya raboty na sklonakh // Polzunovskiy vestnik. – 2012. – № 1/1. – S. 282-285.
8. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V. Adapter dlya raboty na sklonakh // Sel'skiy mekhanizator. – 2010. – № 5. – S. 6.
9. Sorochenko S.F. Konkurentosposobnost' zernouborochnykh kombaynov, prednaznachennykh dlya raboty na sklonakh // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 9 (143). – S. 158-164.



УДК 631.22.013

Л.П. Карташов, Ю.А. Ушаков, Л.Г. Нигматов
L.P. Kartashov, Yu.A. Ushakov, L.G. Nigmatov

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ КОЖНОГО ПОКРОВА КОРОВ

THEORETICAL ASPECT OF COW SKIN CLEANING PROCESS

Ключевые слова: кожный покров, очищающий элемент, силовое взаимодействие, болевой эффект, качество молока, щеточное устройство, отрыв волос, усилие удержания, условие сдвига, бактериальная обсемененность.

Keywords: skin, cleaning element, force interaction, pain effect, milk quality, brush device, hair break, holding force, shear condition, bacterial content.

Анализ вопросов, связанных с повышением качества молока, нуждается в новом подходе. В настоящие дни государство в условиях введенного эмбарго особенно нуждается в качественной продукции, так как для производства конкурентоспособной молочной продукции в первую очередь необходимо молочное сырье высокого качества. Проведенные нами исследования показали, что наиболее эффективным способом повышения качества молока является соблюдение санитарно-гигиенических требований на животноводческих фермах и комплексах. В частности, применение щеточных устройств для проведения процесса очистки. В связи с этим нами было разработано устройство для очистки кожного покрова КРС. Отличительным признаком очищающих элементов, представленных в форме щеточных ворсин, является то, что взаимодействие с шерстным покровом и загрязнениями на кожном покрове осуществляется посредством упругих стержней малой жесткости. Анализ литературных источников показал, что в момент начала взаимодействия очищающих элементов с загрязненной поверхностью (навал, репей, кормовые загрязнения, грязь, и т.д.) происходят процессы, при которых налипшие загрязнения сдвигаются и отрываются. Основное условие отделения загрязнений можно рассматривать как совокупность операций. Это, во-первых, внедрение очищающего элемента щеточного узла в загрязнение от

действия силы упругости, во-вторых, сдвигание его в результате воздействия усилия щеточного элемента. Полученные теоретические зависимости позволяют не допустить болевых ощущений животному при проведении процесса очистки.

Analysis of issues related to improving milk quality requires a new approach. Under the currently embargo, the country particularly needs high-quality products, and to manufacture competitive dairy products, high quality raw milk is required. Our studies have shown that the most effective way to improve milk quality is to comply with the hygiene requirements on livestock farms. In particular, this includes application of brush devices for cleaning; in this regard we have developed a device for cleaning cow skin. A distinctive feature of the cleaning elements represented in the form of brush hair is that the interaction with body hair coat and dirt stains is carried out by means of elastic rods of low stiffness. Literature review showed that at the beginning of interaction of cleaning elements with contaminated surfaces, there are processes when adhering dirt is shifted and detached. The main condition for dirt separation may be regarded as a set of operations. Firstly, the introduction of the cleaning brush assembly element into contamination by elastic force, and secondly, dirt shifting by the force of the brush element. The obtained theoretical relations enable to prevent hurting animal during the cleaning process.

Карташов Лев Петрович, д.т.н., проф., каф. «Механизация технологических процессов в АПК», Оренбургский государственный аграрный университет. Тел.: (3532) 77-63-71. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Ушаков Юрий Андреевич, д.т.н., проф., зав. каф. «Математика и теоретическая механика», Оренбургский государственный аграрный университет. Тел.: (3532) 77-63-71. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Нигматов Ленар Гамирович, к.т.н., преп., каф. «Проектирование и управление в технических системах», Оренбургский государственный аграрный университет. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Kartashov Lev Petrovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Mechanization of Technological Processes in Agricultural Industry, Orenburg State Agricultural University. Ph.: (3532) 77-63-71. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Ushakov Yuriy Andreyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Mathematics and Theoretical Mechanics, Orenburg State Agricultural University. Ph.: (3532) 77-63-71. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Nigmatov Lenar Gamirovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Design and Management of Technical Systems, Orenburg State Agricultural University. E-mail: lenarnigmatov@mail.ru.

Введение

Анализ вопросов, связанных с повышением качества молока, нуждается в новом подходе. Качество молочной продукции – это не сравнение пригодности или непригодности показателей требованиям стандарта (бактериальная обсемененность, количество соматических клеток). Это прежде всего комплекс мер, прогнозирующих причину возникновения и определяющих пути недопущения возможных отклонений от нормативов [1].

Проблематика улучшения качества молочной продукции является актуальной задачей для сельскохозяйственного производства, как и проблема повышения его объемов. В настоящие дни государство в условиях введенного эмбарго особенно

нуждается в качественной продукции, так как для производства конкурентоспособной молочной продукции в первую очередь необходимо молочное сырье высокого качества.

Цель – провести анализ и получить теоретические зависимости процесса очистки кожного покрова коров щеточным устройством, положительно влияющим на продуктивность животных и качество получаемой продукции.

Задачи исследования: теоретически обосновать процесс механической очистки кожного покрова коров щеточным устройством; выявить зависимости, при которых будет происходить безболезненная чистка кожного покрова животного.

Объекты и методы

Объектом исследования является процесс механической очистки кожного покрова и техническое средство его обеспечения. В основе методов использования применялись структуры математического анализа, теоретической механики, сопротивления материалов.

Результаты исследований

Проведенные нами исследования показали, что наиболее эффективным способом повышения качества молока является соблюдение санитарно-гигиенических требований на животноводческих фермах и комплексах [2]. В частности, применение щеточных устройств для проведения процесса очистки, в связи с этим нами было разработано устройство для очистки кожного покрова КРС (рис. 1).

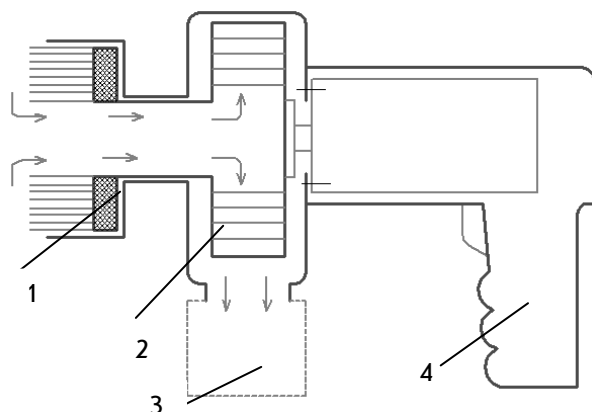


Рис. 1. Устройство для чистки кожного покрова животных

Представленное устройство состоит из щеточного узла 1, вентилятора 2, пылегрязесборника 3 и электродвигателя 4 [3].

Отличительным признаком очищающих элементов, представленных в форме щеточных ворсин, является то, что взаимодействие с шерстным покровом и загрязнениями на кожном покрове осуществляется посредством упругих стержней малой жесткости.

Анализ литературных источников показал, что в момент начала взаимодействия очищающих элементов с загрязненной поверхностью (навал, репей, кормовые загрязнения, грязь и т.д.) происходят процессы, при которых налипшие загрязнения сдвигаются и отрываются. Основное условие отделения загрязнений можно рассматривать как совокупность операций. Это, во-первых, внедрение очищающего элемента щеточного узла в загрязнение от действия силы упругости $F_{упр}$, во-вторых, сдвигание его в результате воздействия

усилия щеточного элемента $F_{щ}$. Очень важным условием является то, чтобы животное не получало болевых ощущений, усилие, создаваемое щеткой $F_{щ}$, должно быть меньше силы отрыва волос $F_{отр.волос}$:

$$F_{загр} \leq F_{щ} < F_{отр.волос} \quad (1)$$

Физический процесс выглядит следующим образом:

1) действуя на поверхность загрязнений, очищающий элемент изгибается, под воздействие силы упругости проникает в загрязненный участок кожного покрова и тем самым разрушает его;

2) загрязненная поверхность разрушается, и изогнутый во время контакта очищающий элемент занимает свою первоначальную форму, поэтому при выходе из точки взаимодействия выпрямляется, унося с собой частички загрязнения, целостность которых разрушена с основной загрязненной поверхностью;

3) при продолжении процесса количество активнодействующих частиц увеличивается, вследствие этого связь между частицами ослабевает, и после превышения силы отрыва загрязнение мгновенно срывается.

Скорость протекания этого процесса зависит от физико-механических свойств загрязнений.

Рассмотрим процесс взаимодействия вращающегося очищающего элемента на загрязненный кожный покров в одной плоскости, приняв, что плоскость вращения очищающего элемента параллельна загрязненной поверхности кожного покрова. Результирующая сила, отделяющая загрязнение от кожного покрова перпендикулярна радиусу вращения очищающего элемента. При этом площадь взаимодействия очищающего элемента значительно меньше загрязненного участка кожного покрова, который в свою очередь представляет собой массив.

Процесс очистки кожного покрова от загрязнений связан, прежде всего, с усилиями, направленными на выполнение работы по разрушению физических связей внутри самого загрязнения (преодоление прочностных, когезионных сил) и на удаление их с этой поверхности (липких, связующих сил).

Процесс очистки кожного покрова можно рассматривать как совокупность двух операций. Первое – это внедрение очищающего элемента, представленного в форме стержня в загрязнение от действия силы упругости $F_{упр}$; второе – это сдвигание его в результате воздействия усилия, создава-

емого щеткой $F_{щ}$, преодолевая силы сопротивления сдвигу F_T . Будет выполняться условие по отделению загрязнений от кожного покрова. За основу теории очистки кожного покрова КРС принята теория очистки корнеклубнеплодов роторно-щеточным устройством [4].

1. Сила внедрения очищающего элемента в загрязнения должна быть больше механической характеристики загрязнений кожного покрова (навал, репей, кормовые загрязнения и т.д.), которая также зависит от физико-механических свойств очищающего элемента:

$$F_{внедр} \geq c A h_b; \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi d_b^2}{2} \left(\frac{h_b}{\cos(\theta + \psi')} \right) - \left(\frac{d_b^2}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right); \quad (3)$$

$$\left(\frac{2E l \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_b^2} \right) \geq c A h_b, \quad (4)$$

где c – коэффициент объемного смятия загрязнения, Н/м^3 ;

h_b – глубина внедрения очищающего элемента, м;

d_b – диаметр очищающего элемента, м;

A – площадь внедрения очищающего элемента, м^2 ;

E – модуль упругости очищающего элемента, Н/м^2 ;

l – момент инерции, м^4 ;

θ – угол внедрения, град.;

ψ' – угол наклона щеточного узла, град.;

L_b – длина ворса, мм.

2. Тангенциальное усилие сдвига загрязнения кожного покрова должно быть больше сил сопротивления и трения:

$$F_T > F_{сопр} + F_{тр}; \quad (5)$$

где $F_{сопр}$ – сила сопротивления загрязнения кожного покрова сдвигу, Н;

$F_{тр}$ – сила трения очищающего элемента о загрязнение кожного покрова, Н.

По известной теории Мора и Кулона разрушение материала происходит за счет преодоления силы сопротивления сдвигу $F_{сопр}$, составляющей которой является касательное напряжение τ [5].

Под действием касательного напряжения τ происходит скольжение очищающего элемента по поверхности загрязнения. Разделение частей загрязнения происходит по той плоскости, для которой величина напряжения τ достигнет максимума. Величину скалывающего напряжения τ определяем по условию сдвига:

$$\tau = \left(\frac{F_{сопр} \sin 2\alpha}{2A} \right), \quad (6)$$

где α – это угол, при котором происходит разрушение прочностных связей загрязнения, т.е. угол между минимальным и максимальным напряжением. По результатам собственных исследований для навала он равен $30-40^\circ$ [6].

Из представленного выше выражения (6) определим усилие, требуемое для преодоления силы сопротивления очищаемого загрязнения на кожном покрове:

$$F_{сопр} = \left(\frac{2A\tau}{\sin 2\alpha} \right). \quad (7)$$

Преобразуя выражение (7), получим усилие сопротивления, которое необходимо преодолеть очищающему элементу для качественной безболезненной очистки кожного покрова от загрязнений:

$$F_{сопр} = \frac{\pi d_b^2 \left(\frac{h_b}{\cos(\theta + \psi')} \right) - \left(\frac{d_b^2}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right)}{\sin 2\alpha}. \quad (8)$$

Суммировав значения величин разрушающего напряжения, коэффициента трения очищающего элемента о загрязненный участок кожного покрова (экспериментальные данные) и установив численные значения диаметров, определяем численные значения усилий сопротивлений $F_{сопр}$ и внедрения $F_{внедр}$. С учетом физико-механических характеристик загрязнений кожного покрова ($\tau=30-250$ Па, $h_b=0,01-0,08$ м, $d_b=0,005$ м, $\alpha=30-40^\circ$, $E=300$ МПа, $L_b=0,01$ м) значения усилий, соответственно, равны ($F_{сопр} \leq F_{внедр} \leq F_{щ} < F_{отр.волос}$). Условие, при котором усилие внедрения очищающего элемента в загрязненный участок кожного покрова больше усилия удержания загрязнения на кожном покрове, но меньше усилия удержания волос на кожном покрове.

Значение силы трения определим по выражению:

$$F_{тр} = \frac{2E l \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_b^2} f_1, \quad (9)$$

где f_1 – коэффициент трения очищающего элемента по загрязненному участку кожного покрова.

Процесс очистки кожного покрова от загрязнения происходит при двух процессах: первое – затруднительное, медленное надвигание по направлению среза, второе – дополнительное более быстрое вбок, поперек разрезу (рис. 2а). При соприкосновении щеточного узла с загрязненным участком кожного покрова рабочая поверхность сжимает загрязнение, что вызывает его нагромождение, а при перемещении щеточного узла в бок позволяет избежать нагромождения. Путем сдвига и кручения щеточного узла (рис. 2б) происходит очистка кожного покрова от загрязнения.

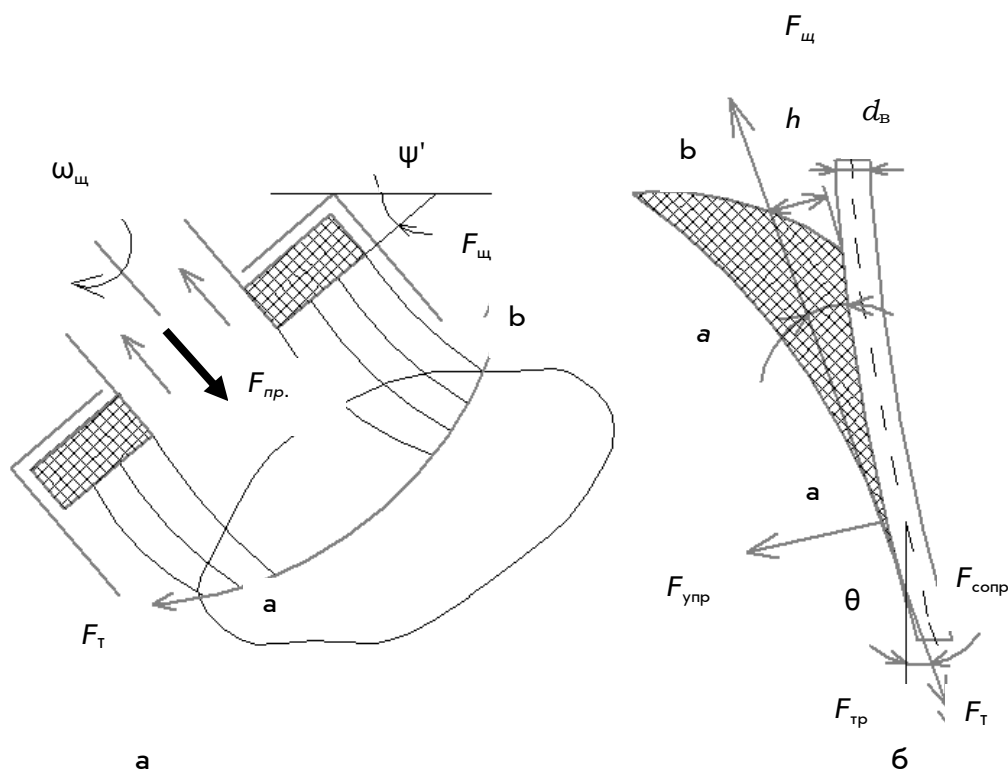


Рис. 2. Взаимодействие очищающего элемента с загрязненным участком кожного покрова: а – траектория движения очищающего элемента; б – сдвиг загрязнения

Работу очищающего элемента представили из теории резания, предложенной академиком ВАСНИЛ В.А. Желиговским [7].

В процессе движения очищающего элемента по загрязненному участку кожного покрова происходят деформация сдвига загрязнения и разрушение связей внутри загрязнения. Щеточный узел устанавливают таким образом, что расположенные очищающие элементы создают силы нормального давления N , которое образует с направлением вращения угол θ , больший угол трения очищающего элемента о загрязненный участок кожного покрова φ , таким образом $\theta > \varphi$ (рис. 2б).

Далее разложим результирующую силу нормального давления на составляющие усилия $F_{тr}$, $F_{упр.}$, $F_{тр.}$. Возникающая касательная сила щеточного узла $F_{щ}$ стремится вытолкнуть частичку загрязнения кожного покрова вперед и переместить ее вместе с очищающим элементом. Усилие $F_{т}$ стремится принудить скользить ее вдоль очищающего элемента. Сила упругости очищающего элемента $F_{упр.}$ пытается прижать очищающий элемент к поверхности загрязненного участка кожного покрова, помимо этого на загрязненный участок кожного покрова воздействует сила трения $F_{тр.}$

Тяговое сопротивление согласно уравнению (5) определяем из следующего выражения:

$$F_{т} = \frac{\pi d_{э}}{\sin 2\alpha} \left(\frac{h_{э}}{\cos(\theta + \psi')} \right) - \left(\frac{d_{э}}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right) + \frac{1.81 \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_{э}^2} f_1. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что при увеличении угла внедрения θ во время скольжения очищающего элемента, толщина которого остается постоянной, временное сопротивление сдвигу увеличивается при изменении коэффициента трения (рис. 2б).

Известно, что результирующая сила давления очищающих элементов равномерно распределяется по всей площади воздействия (рис. 2а), отсюда следует, что значение усилия щеточного узла $F_{щ}$ очищающего элемента в процессе очистки определяется по выражению:

$$F_{щ} = m_{в} R_{ср} \omega_{щ}^2 + F_{пр} \quad (11)$$

где $m_{в}$ – масса очищающего элемента, кг;
 $R_{ср}$ – средний радиус расположения очищающего элемента, м;

$\omega_{щ}$ – угловая скорость вращения щеточного узла, c^{-1} ;

$F_{пр}$ – усилие прижатия устройства на кожный покров оператором, Н.

Далее, используя зависимости (10) и (11) и соблюдая условия $F_{сопр} \leq F_{внедр} \leq F_{щ} < F_{отр.волос}$ найдем минимально допустимую частоту вращения щеточного узла $n_{щ}$

$$n_{щ} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g A_k \left[\frac{\tau \pi d_E}{\sin 2\alpha} \left(\frac{h_E}{\cos(\theta + \psi')} \right) - \left(\frac{d_E}{2 \operatorname{tg}(\theta + \psi')} \right) + \frac{z E \operatorname{tg}(\theta + \psi')}{L_E^2} f_1 \right]}{m_E R_{\text{оп}} + F_{\text{пр}}}} < F_{\text{отр.вол.}} \quad (12)$$

где $n_{щ}$ – частота вращения щеточного узла, с^{-1} ;

g – плотность набивки щеточного узла, $\text{шт}/\text{м}^2$;

A_k – площадь контакта очищающих элементов с поверхностью загрязнения кожного покрова, м^2 ;

$F_{\text{пр}}$ – усилие прижатия устройства на кожный покров оператором, Н .

Заключение

Таким образом, получили теоретические зависимости, при которых будет происходить безболезненная очистка загрязненного участка кожного покрова коровы представленным устройством.

Библиографический список

1. Ушаков Ю.А. Результаты исследования изменения качества молока при использовании усовершенствованного молочного насоса // Известия ОГАУ. – 2011. – № 3 (31). – С. 78-81.
2. Нигматов Л.Г., Козловцев А.П., Сеитов М.С. Результаты производственных исследований устройства для механической очистки кожного покрова КРС // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 9-13.
3. Петько В.Г., Нигматов Л.Г. Патент на полезную модель № 157066. Устройство для очистки кожного покрова животных. 28 октября 2015 г.
4. Дусенов М.К. Повышение эффективности сухой очистки корнеклубнеплодов путем обоснования параметров роторно-щеточного устройства: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2011.
5. Александров А.В. Сопrotивление материалов – М.: Высшая школа, 2003.
6. Базаров М.К., Нигматов Л.Г. Исследование процесса механической очистки кожного покрова КРС от загрязнений //

Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – 163 с.

7. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания лезвием // Тр. МИМЭСХ. – М., 1941. – Вып. 9. – 27 с.

References

1. Ushakov Yu.A. Rezul'taty issledovaniya izmeneniya kachestva moloka pri ispol'zovanii usovershenstvovannogo molochnogo nasosa // Izvestiya OGAU. – 2011. – № 3 (31). – S. 78-81.
2. Nigmatov L.G., Kozlovtshev A.P., Seitov M.S. Rezul'taty proizvodstvennykh issledovaniy ustroystva dlya mekhanicheskoy ochistki kozhnogo pokrova KRS // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. – 2015. – № 1. – S. 9-13.
3. Pet'ko V.G., Nigmatov L.G. Patent na poleznuyu model' № 157066. Ustroystvo dlya ochistki kozhnogo pokrova zhivotnykh // 28 oktyabrya 2015 g.
4. Dusenov M.K. Povyshenie effektivnosti sukhoy ochistki korneklubneplo dov putem obosnovaniya parametrov rotornoshchetchnogo ustroystva: diss. ... kand. tekhn. nauk. – Saratov, 2011.
5. Aleksandrov A.V. Soprotivlenie materialov. – M.: Vysshaya shkola, 2003.
6. Bazarov M.K., Nigmatov L.G. Issledovanie protsessa mekhanicheskoy ochistki kozhnogo pokrova KRS ot zagryazneniy // Agropromyshlennyy kompleks: sostoyanie, problema, perspektivy: sbornik statey Kh Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / MNITs PGSKhA. – Penza: RIO PGSKhA, 2014. – 163 s.
7. Zheligovskiy V.A. Eksperimental'naya teoriya rezaniya lezviem. – M., 1941. – 27 s. – (Tr. MIMESKh; Vyp. 9).

