

УДК 631.363.7

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

ИССЛЕДОВАНИЯ РОТОРНОГО ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА КОРМОВ

Глобин Андрей Николаевич
доктор технических наук, профессор
РИНЦ SPIN-код: 3646-5159
globin_andn@rambler.ru
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде,
г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Глазков Дмитрий Юрьевич
соискатель
Glazkovd2@rambler.ru
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде,
г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Липкович Игорь Эдуардович
доктор технических наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 1176-1210
LipkovichIgor@mail.ru
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде,
г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Егорова Ирина Викторовна
кандидат технических наук
РИНЦ SPIN-код: 1003-8910
OrishenkoIrina@mail.ru
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде, г.
Зерноград, Ростовская область, Россия*

Черемисин Юрий Михайлович
кандидат технических наук, доцент
РИНЦ: SPIN-код: 6437-3175
zernogradplus@yandex.ru
*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, в г. Зернограде, г.
Зерноград, Ростовская область, Россия*

В статье «Исследования роторного шнекового дозатора кормов» отмечено, что в нормированном кормлении заложен значительный резерв повышения продуктивности свиноводства и экономии кормовых ресурсов. Он может быть реализован за счёт применения эффективных дозаторов. Наиболее перспективными следует считать стационарные поточные линии раздачи

UDC 631.363.2

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

RESEARCH ON ROTARY AUGER FEED DOSING SYSTEM

Globin Andrey Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
RSCI SPIN-code: 3646-5159
globin_andn@rambler.ru
*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Donskoy State Agrarian University in
Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia*

Glazkov Dmitry Yuryevich
applicant
Glazkovd2@rambler.ru
*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Donskoy State Agrarian University in
Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia*

Lipkovich Igor Eduardovich
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN-code: 1176-1210
LipkovichIgor@mail.ru
*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Donskoy State Agrarian University in
Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia*

Egorova Irina Viktorovna
Candidate of Technical Sciences
RSCI SPIN-code: 1003-8910
OrishenkoIrina@mail.ru
*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Donskoy State Agrarian University in
Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia*

Cheremisin Yuri Mikhailovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN-code: 6437-3175
zernogradplus@yandex.ru
*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Donskoy State Agrarian University, in
Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia*

The article "Research on a Rotary Auger Feed Dispenser" notes that standardized feeding has a significant potential for increasing pig farming productivity and saving feed resources. It can be realized by using effective dispensers. The most promising are stationary flow feed distribution lines with a storage bin-doser with automatic dosing at the system input and an error of ±

кормов с накопительным бункером-дозатором с автоматическим дозированием на входе системы и погрешностью $\pm 5\%$. К основным причинам несовершенства существующих дозаторов непрерывного действия следует отнести; сложность нейтрализации сводообразования, неравномерность опорожнения бункеров, несоответствие режима и формы рабочих органов законам отбора продукта, взаимодействие рабочего органа со всем или значительным, объёмом материала.

Цилиндрические бункеры с нижней разгрузкой и послонным локальным отбором продукта роторным шнеком отвечают требованиям надежности, точности и автоматизации процесса дозирования. Роторный шнек может быть использован в качестве дозирующего рабочего органа и обеспечивает достаточную точность дозирования кормов. На основе теоретического анализа и проведенных исследований выявлена возможность стабилизировать рабочий процесс дозирования и получить линейную зависимость производительности от рабочих режимов за счёт установки отсекающего. Выведена формула для расчёта его размеров. Установлены главные факторы, определяющие качество дозирования, согласована с законом круговой выработки продукта и упрощена форма вала дозирующего шнека, изыскана возможность унификации его параметров. Получены и подтверждены зависимости для определения производительности и энергоёмкости дозатора

Ключевые слова: КОМБИКОРМ, КОРМОВАЯ СМЕСЬ, ДОЗАТОР, ШНЕКОВЫЙ ДОЗАТОР, РОТОРНЫЙ ДОЗАТОР, БУНКЕР, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОЗАТОРА, ЭНЕРГОЁМКОСТЬ ДОЗАТОРА

5%. The main reasons for the imperfection of existing continuous batchers include: difficulty in neutralizing arching, uneven emptying of bins, discrepancy between the mode and shape of the working elements and the laws of product selection, interaction of the working element with the entire or a significant volume of material. Cylindrical bins with bottom discharge and layer-by-layer local selection of product by a rotary screw meet the requirements of reliability, flow and automation of the dosing process. The rotary screw can be used as a dosing working element and ensures sufficient accuracy of dosing of feed. Based on the theoretical analysis and conducted research, it was found possible to stabilize the dosing workflow and obtain a linear dependence of productivity on operating modes by installing a cutoff valve. A formula for calculating its dimensions was derived. The main factors determining the quality of dosing have been established, the shape of the dosing screw shaft has been coordinated with the law of circular production of the product and simplified, and the possibility of unifying its parameters has been found. Dependencies for determining the productivity and energy capacity of the dozer have been obtained and confirmed

Keywords: COMPOUND FEED, FEED MIXTURE, DISPENSER, SCREW DISPENSER, ROTARY DISPENSER, BUNKER, DISPENSER PRODUCTIVITY, DISPENSER ENERGY CONSUMPTION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-021>

В условиях специализации и концентрации сельского хозяйства и перехода на промышленные способы производства мяса в крупных свиноводческих предприятиях особо важное значение приобретает рациональное использование кормов, так как их стоимость занимает преобладающую (до 65%) долю затрат в экономике свиноводства [1, 3, 4, 6].

Многочисленными исследованиями доказано [7, 8], что при нормированном кормлении свиней на 15...20% улучшается усвоение корма и интенсивнее растут привесы. Таким образом, существует реальная возможность повышения эффективности свиноводческой отрасли за счёт широко-

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/21.pdf>

го внедрения нормированной раздачи кормов. Однако этот резерв слабо используется из-за отсутствия в свиноводстве дозаторов, которые в полной мере отвечали бы требованиям качества дозирования, поточности и автоматизации процессов приготовления и раздачи кормов.

Операции приготовления и раздачи кормов составляют на свиноводческих предприятиях основной объём затрат труда в производственном цикле [8]. Поэтому поиск надежных способов и средств комплексной механизации и автоматизации приготовления кормов и нормированного кормления отвечает первоочередным задачам интенсификации производства свинины.

В настоящее время в поточных линиях приготовления комбинированных кормовых смесей чаще всего применяются бункерные дозаторы [1]. Выявлены органические недостатки, присущие бункерным дозаторам. К ним относятся: наличие сводообразования, нарушающего стабильность отбора продукта из бункера, неравномерность опорожнения бункеров по мере расхода корма, несоответствие режима и нормы рабочего органа тому закону, по которому отбирается продукт из ёмкости, а также участие в процессе значительного или всего объёма материала. Нейтрализация указанных факторов позволяет стабилизировать отбор продукта и снизить погрешность дозирования.

При этом сделан вывод, что требованием поточности, надёжности и автоматизации процесса наиболее полно отвечают цилиндрические бункеры-дозаторы с нижней разгрузкой и что в качестве рабочего органа может быть использован роторный шнек, который широко применяется в разгрузчиках силосов. При определенных условиях он может обеспечить высокую стабильность отбора продукта и снижение энергоёмкости, он прост по устройству и надежен в эксплуатации.

На основе проведённого анализа [1–12] о выборе рационального способа взаимодействия рабочего органа с материалом, был избран способ по-

слойного по высоте и послойного в каждом слое отбора продукта. Локализация контакта рабочего органа с материалом способствует стабилизации процесса и значительно снижает энергоёмкость.

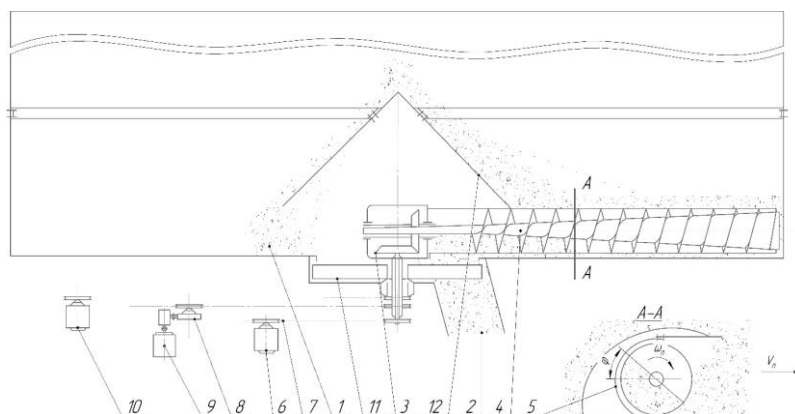
В этом направлении проводился дальнейший поиск.

Известные исследования [1–12] роторных шнековых разгрузчиков слеживающихся насыпных грузов и силоса проводились на материалах, не характерных для свиноводства и кормоприготовления, не затрагивают аспектов дозирования, не имеют достаточных обоснований оптимальных соотношений параметров, не раскрывают возможностей усовершенствовать и стабилизировать процесс отбора продукта, упростить форму рабочего органа и расчёт энергетики.

Таким образом, возможность использования роторных шнеков в качестве дозирующих органов остается не выясненной отсутствуют теория и методика расчёта дозаторов этого типа. По указанным причинам сдерживается применение их в производстве несмотря на очевидные достоинства.

Цель исследований – изыскание, разработка и исследование роторного шнекового дозатора для поточных линий приготовления и раздачи кормовых смесей на свиноводческих фермах.

Объект исследований – донный роторный шнековый дозатор. Дозатор (рисунок 1) представляет собой цилиндрический бункер с центральным выгрузным окном в днище.



1 – бункер; 2 – выгрузное окно; 3, 8 – редуктор; 4 – шнек; 5 – горизонтальная площадка-отсекатель; 6, 10 – мотор-редуктор; 9 – электродвигатель;

7 – цепная передача; 11 – лопатки; 12 – конус

Рисунок 1 – Схема роторного шнекового дозатора

Над окном расположен редуктор-ротор с горизонтальными радиальными шнеками, отбирающими материал нижнего слоя за счёт вращения вокруг своей оси и круговой подачи ротора.

Работает дозирующее устройство следующим образом. Дозируемый материал поступает в загрузочный бункер 1, где постоянно перемешивается шнеком 4 и транспортируется (нагнетается) к вращающимся лопаткам 11 и далее выгрузному окну 2. За счёт кругового вращения шнека отбор дозируемого материала (фрезерование) производится по всей поверхности дна бункера.

Приводится дозатор от трёх электродвигателя 9, мотор-редукторов 6, 10, редуктора 8 и цепных передач 7.

Точность дозирования зависит от однородности смеси, вовлечения частиц материала в сложное движение. Предлагаемый дозатор может обеспечить равномерную высокую подачу дозируемого материала.

При разработке теории дозирования шнеком исходили из принципиальных схем дозатора (рисунок 1) и взаимодействия рабочего органа с монолитом (рисунок 2, а, б).

Рабочий процесс отбора материала роторным шнеком можно условно разделить на две операции: 1) выработку (фрезерование) нижнего слоя материала за счёт равномерной круговой подачи шнека вокруг вертикальной оси бункера и 2) транспортирование выработанного («отфрезерованного») материала к центральному (выгрузному) окну в дне бункера вращением шнека вокруг своей оси.

Сущность процесса состоит в том, что каждое элементарное поперечное сечение винтовой поверхности, отделяя кромкой от монолита некоторый объём материала, передаёт его последующему сечению в направлении окна. Иначе говоря, производительность шнека должна нарастать по

его длине от периферии к центру по некоторому закону приращения объема круговой выработки «фрезеруемого» слоя. Этому закону должны быть подчинены форма и режимы рабочего органа.

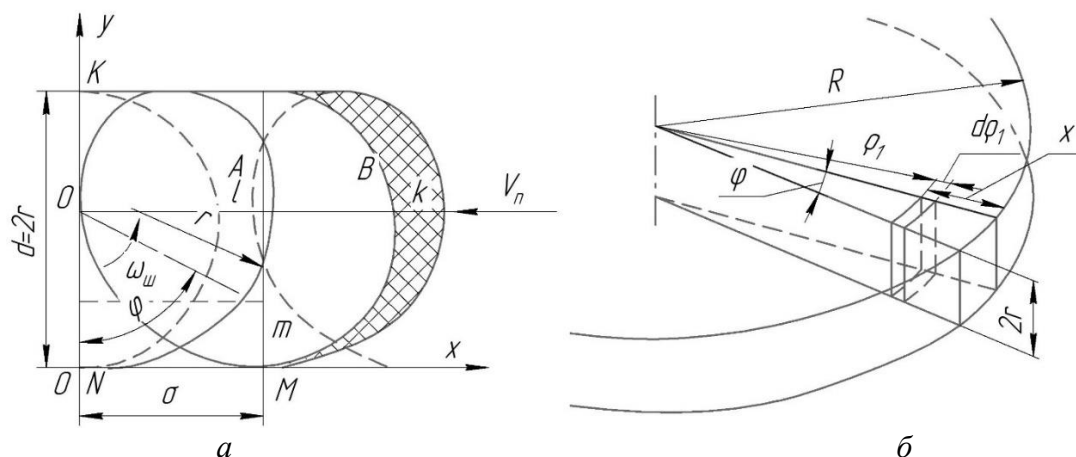


Рисунок 2 – Схемы взаимодействия рабочего органа с монолитом

Необходимо обосновать применение шнека с уменьшающимся по длине радиусом вала и постоянным радиусом витков. По аналогии с плоским фрезерованием материала спиральной цилиндрической фрезой приведено аналитическое и графическое доказательство того (рисунок 2, а), что процесс выработки количественно может быть представлен как равномерное круговое вращение вертикального прямоугольника (рисунок 2, б) снимающего круговой слой продукта высотой, равной диаметру витков, и длиной, равной длине рабочей части шнека.

В соответствии с этим доказательством дифференциальное уравнение производительности выработки для любого сечения шнека, после некоторых преобразований, запишется как

$$dq_k = 2r\omega_n(R - x)dx, \quad (1)$$

где r – радиус витков шнека;

ω_n – частота круговой подачи;

R – длина шнека;

x – координата сечения,

а закон необходимого приращения производительности – в виде

$$q_k = r\omega_n(2Rx - x^2). \quad (2)$$

Производительность концевое (выгрузное) сечения

$$q = r\omega_n(R^2 - R_g^2), \text{ м}^3/\text{с},$$

или

$$q = r\omega_n(R^2 - R_g^2)\gamma, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

где R_g – радиус выгрузного окна;

γ – плотность кормов.

Для стабилизации процесса необходимо, чтобы транспортная производительность в любом сечении по длине шнека была больше или равна производительности в этом же сечении по выработке. Вот это условие:

$$r\omega_n(2Rx - x^2)\gamma \leq \frac{S\omega_{ш}}{2}(r^2 - r_x^2)\gamma\Psi, \quad (4)$$

где S – шаг витков шнека;

$\omega_{ш}$ – частота вращения шнека;

r_x – радиус вала шнека в рассматриваемом сечении;

Ψ – коэффициент заполнения межвиткового пространства, причем $\Psi < 1$.

Преобразованием (4) выводится уравнение «профиля» вала шнека, согласованное с законом отбора продукта:

$$r_x = \sqrt{(r^2 - r_0^2)\left(1 - \frac{x}{R}\right)^2 + r_0^2}. \quad (5)$$

В результате анализа (5) сделан вывод, что при сохранении постоянными отношениями $2r/S, \omega_n/\omega_{ш}, R_g/R, \Psi$ правомерно выражение

$$r_x = A|R - x|, \text{ где } A = \sqrt{\frac{2r}{S} \times \frac{\omega_n}{\omega_{ш}\Psi} \left(1 - \frac{R_g^2}{R^2}\right)}. \quad (6)$$

Следовательно, вал может быть выполнен в виде прямого кругового конуса с унифицированным углом конусности 2β для роторных шнеков-дозаторов практически любой длины и производительности.

Из (2) и (4) с учётом (3) после преобразований получена обобщенная формула производительности дозатора для текущего сечения:

$$q_x = \frac{2\omega_n^2 \gamma R^2}{S\omega_u \Psi} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right) (2Rx - x^2) \quad (7)$$

и для концевое сечения

$$q = \frac{2\omega_n^2 \gamma R^2}{S\omega_u \Psi} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right) (R^2 - R_6^2). \quad (8)$$

Таким образом, производительность дозатора зависит от конструктивных параметров (r, r_0, R, R_6, S) рабочих режимов дозирования $(\omega_n, \omega_u, \Psi)$ и физико-механических свойств кормов (γ) .

Одним из главных факторов, определяющих величину погрешности дозирования, является коэффициент наполнения межвиткового пространства Ψ . Подбором частот ω_n и ω_u должна быть обеспечена его оптимальная величина и постоянство по всей длине шнека. Такая возможность существует. Из (4) в критическом случае следует:

$$r\omega_n(2Rx - x^2) = \frac{S\omega_u r^2}{2R^2} (2Rx - x^2)\Psi, \quad (9)$$

Откуда $\Psi = \frac{2R^2\omega_n}{Sr\omega_u} = const.$

Следовательно: 1) при полученной форме рабочего органа (6) величина Ψ может быть величиной постоянной в любом сечении по всей длине шнека и 2) при конкретных размерах бункера и шнека подбором отношения ω_n/ω_u возможно получить такое значение коэффициента наполнения Ψ , которое обеспечивало бы стабильность протекания и наилучшее качество дозирования.

В итоге производительность дозатора будет определяться по формуле:

$$q = r\omega_n(R^2 - R_6^2)\gamma,$$

а управляемым параметром для изменения нормы выдачи кормов будет частота круговой подачи ω_n .

Опыт показал, что при открытом шнеке в процессе отбора существует явление произвольного просыпания материала из вышележащих слоев в межвитковое пространство. Происходит нарушение стабильности коэффи-

циента наполнения Ψ , а зависимость производительности от рабочих режимов не является линейной.

Эта помеха нейтрализована за счёт установки над шнеком горизонтальной площадки-отсекателя. Формула для расчёта его размеров выведена из положений теории сводообразования (рисунок 3)

$$B = r \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} + \Delta \operatorname{ctg} \theta \times 2 \frac{\tau_0}{\gamma} (1 + \sin \theta), \quad (10)$$

где B – вылет отсекателя относительно оси шнека;

θ – угол естественного откоса материала;

Δ – зазор между отсекателем и кромкой витков;

τ_0 – начальное сопротивление сдвигу.

Действие отсекателя проверено опытом. Получена линейная (рисунок 4) зависимость $q = q(\omega_n)$, что создает благоприятные условия для автоматического управления нормой выдачи кормов.

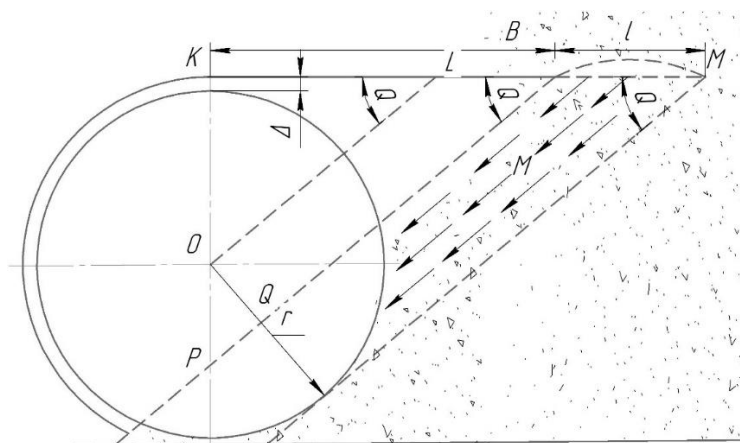


Рисунок 3 – К определению вылета отсекателя

Погрешность дозирования дозаторами непрерывного действия принято называть средним (средним квадратичным) отклонением производительности дозатора по нескольким замерам (по ГОСТ 16282-75 $n = 10$) от наибольшего предела, выраженное в процентах или коэффициентом вариации.

Из формулы (8) следует, что параметры, определяющие производи-

тельность дозатора, могут быть отнесены к конструктивным, режимным и физическим. Очевидно, что суммарная погрешность дозирования σ_q складывается из соответствующих погрешностей.

Конструктивные погрешности могут быть сведены до минимума при соответствующей точности изготовления рабочих органов.

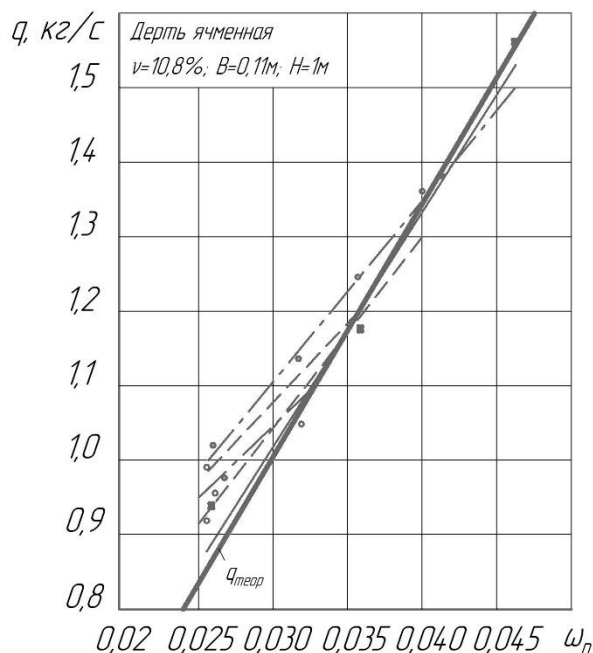


Рисунок 4 – Зависимость производительности от рабочих режимов

Режимные погрешности σ_{ω} обусловлены колебаниями напряжения в электросети и падением напряжения от сопротивления рабочему органу. Они определяются по данным известных исследований [1, 4, 9, 11, 12, 13].

Наибольшую сложность представляют физические погрешности σ_{γ} . Они зависят от физико-механических свойств кормов, которые изменяются в широком диапазоне в зависимости от многочисленных факторов. Однако для конкретного продукта и его состояния эта изменчивость устраняется контрольной настройкой дозатора. Изменение же плотности кормов по глубине засыпки в бункере необходимо учитывать при расчётах предельной погрешности дозирования, ограничивая при этом высоту бункера (или слоя корма). Возможны также вариации размерами кольцевой щели между

стенкой бункера и предохранительным конусом (рисунок 1).

Предельная погрешность плотности по высоте слоя σ_γ определяется по известной формуле М.А. Тищенко [14]. Возможность её применения подтверждается настоящими исследованиями.

В соответствии с (8) на основании теории ошибок, а также учитывая различное поведение составляющих в процессе опорожнения бункера, выражение предельной суммарной погрешности дозирования может быть записано в следующем виде

$$\sigma_q = |\sigma_\gamma| - |\sigma_\omega + 2\sigma_n|. \quad (11)$$

При определении энергетических показателей предварительно находят геометрические параметры «фрезерования».

Длина дуги контакта кромки витков с материалом

$$L_1 = \frac{1}{\omega_{uu}} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} |V_a| d\varphi \approx \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{\omega_{uu}} (\omega_n^2 \rho_1^2 \pm \omega_{uu}^2 r^2), \quad (12)$$

где $|V_a|$ – модуль абсолютной скорости точки кромки витка;

$\varphi_1 = \arctg \frac{\lambda_n}{r}$, $\varphi_2 = \theta - \arccos \left(1 - \frac{\lambda_n}{r} \sin \theta \right)$ – пределы контакта;

ρ – расстояние от оси бункера до точки m_i .

Толщина стружки определяется как проекция подачи на нормаль к траектории точки m_i

$$\delta = \lambda_n \sin \beta = \frac{2\pi r \omega_n \sin \varphi}{\sqrt{\omega_{uu}^2 + \omega_n^2 \rho_1^2 \pm 2\omega_n \omega_{uu} r \rho_1 \cos \varphi}}, \quad (13)$$

где β – угол между касательной в точке m_i и направлением подачи;

φ – угол поворота шнека в пределах контакта.

Поверхность отделения стружки находится с учётом рабочей длины шнека

$$F_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{\omega_{uu}} (R - R_\epsilon) (\omega_n^2 R^2 \pm \omega_{uu}^2 r^2). \quad (14)$$

Объём материала, отделяемый от массива всеми витками, определяется из условия переменной подачи по длине шнека

$$V = 2\pi \frac{\omega_n}{\omega_{ш}} (2RR_г - R_г^2). \quad (15)$$

В соответствии с принятым разделением операций мощность дозирования может быть представлена составляющими: мощности фрезерования, лобового сопротивления и транспортирования

$$N_o = N_{фр} + N_l + N_{мп}. \quad (16)$$

Энергетика транспортирующего шнека достаточно глубоко изучена, и существуют зависимости для её расчёта. Особенность нашего случая состоит в том, что объём транспортируемого материала изменяется на длине шнека по закону (2). С учётом этого выведена формула для определения мощности $N_{мп}$:

$$N_{мп} = K_o q \left(2 \frac{R_г}{R} - \frac{R_г^2}{R^2} \right) \left\{ \frac{V_1^2}{q} + f(R - R_г) \cos \varphi \left[1 + \frac{tg(\alpha + \varepsilon)r\omega_{ш}}{V_1} \right] \right\}, \quad (17)$$

где f – коэффициент трения корма по поверхности кожуха;

α – угол подъёма винтовой линии;

ε – угол трения материала о поверхность витка;

V_1 – осевая скорость перемещения материала.

Формула для определения составляющей $N_{фр}$ получена по аналогии с работой спиральной цилиндрической фрезы

$$N_{фр} = K_1 \sin \alpha \frac{r\omega_n}{s} (R - R_г)(R^2 - R_г^2), \quad (18)$$

где K_1 – коэффициент удельного сопротивления фрезерованию, Н/м².

Третий компонент суммарной мощности N_l вычисляется при допущении, что лобовое сопротивление рабочему органу образует равномерно распределённую нагрузку по длине рабочего органа (рисунок 5)

$$N_l = K_2 \omega_n \frac{R^2 - R_г^2}{2}, \quad (18)$$

где K_2 – коэффициент удельного лобового сопротивления, Н/м.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 определяются экспериментально.

Опыты проводились на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунок 1. Параметры установки выбирались примени-

тельно к условиям работы бункера-дозатора РК 12.00.000: радиус бункера – 1,0 м; высота бункера – 2 м; радиус выгрузного отверстия в днище – 0,25 м; радиус витков шнека – 0,030...0,090 м; отношение диаметра витков к шагу – 1,1; частота вращения шнека – 5...35 рад/с; частота вращения ротора (круговая подача) – 0,02...0,08 рад/с; вылет отсекателя – 0...0,15 м.

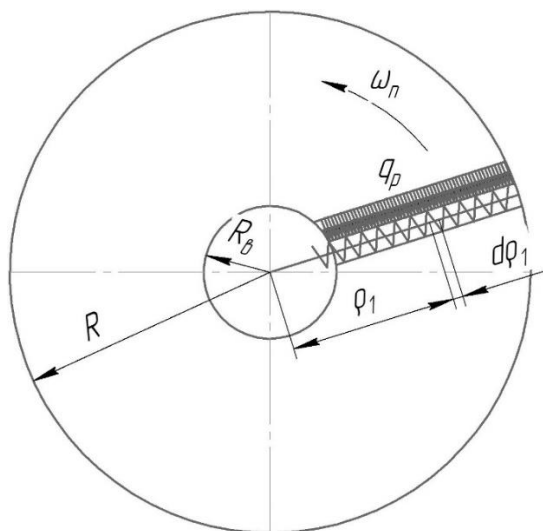


Рисунок 5 – К определению мощности лобового сопротивления

В основу методики проведения опытов был положен метод однофакторного эксперимента. Однако для предварительного нахождения области исследования был применён метод математического моделирования многофакторных процессов. С целью сокращения затрат труда и кормов был обоснован и применён метод ортогонального планирования экспериментов типа 5^k , где k – количество факторов, $k = 3$. После этого область исследований по наиболее существенным переменным была сведена до следующих пределов: $0,03 < \frac{r}{R} < 0,06$; $0,4 < \Psi < 1,0$; при $H = 1,0$ м.

Физико-механические свойства кормов – гранулометрический состав, плотность, угол естественного откоса – определялись по общепринятым методикам. Коэффициент сжимаемости, внешнего и внутреннего трения, начальное сопротивление сдвигу – на специальных установках по разработанным методикам.

В опытах применялись следующие корма: комбикорм рассыпной и гранулированный влажностью 11,2 и 10%; дерть ячменная влажностью 10,8 и 50%; мешанки: из дерти ячменной, пасты из кукурузного силоса и добавок, влажность смеси 61,3%; из дерти ячменной, пасты зелёных злаковых и добавок, влажность смеси 62,1%. Качество, состав и свойства кормов соответствовали действующим ГОСТ, ТУ и утверждённым рационам.

Полученные результаты опытов в виде осциллограмм (диаграмм) обрабатывались методами математической статистики.

Исследования физико-механических свойств кормов показали, что главными факторами, влияющими на качество дозирования, являются влажность и сжимаемость, так как от них зависит степень изменения плотности кормов по высоте слоя. Эта изменчивость должна учитываться в расчётах предельной погрешности дозирования.

В опытах по оценке влияния параметров дозатора и их соотношений ни показатели дозирования выявлено, что оптимальными при исследуемых условиях следует рекомендовать следующие соотношения $0,035 < \frac{r}{R} < 0,050$; $0,55 < \Psi < 0,75$; $0 < B < 0,115$ при $H \leq 1,0$ м.

Погрешность дозирования растёт с увеличением высоты слоя кормов, тем интенсивнее, чем выше сжимаемость. Для малоуплотняющихся кормов рост погрешности по высоте слоя незначителен (рисунок 6).

Минимальные значения погрешности дозирования (рисунок 7) приходятся на диапазон значений $\Psi = 0,55 \dots 0,75$. Сдвиг значений в большую сторону вызывает интенсивный рост погрешности. Это объясняется появлением уплотнений в межвитковом пространстве и подпрессовки. При меньших значениях Ψ в указанном диапазоне рост погрешности менее интенсивен. Отсюда следует, что отбор материала в разрыхлённом состоянии более эффективен, нежели силовое дозирование. Это положение относится и к значениям вылета отсекаателя. При оптимальной его величине происходит процесс свободного осыпания продукта. Отклонения приводят к сило-

вому вдавливаю его кромки в массив или просыпанию корма из выше-лежащих слоёв. В обоих случаях погрешность дозирования возрастает.

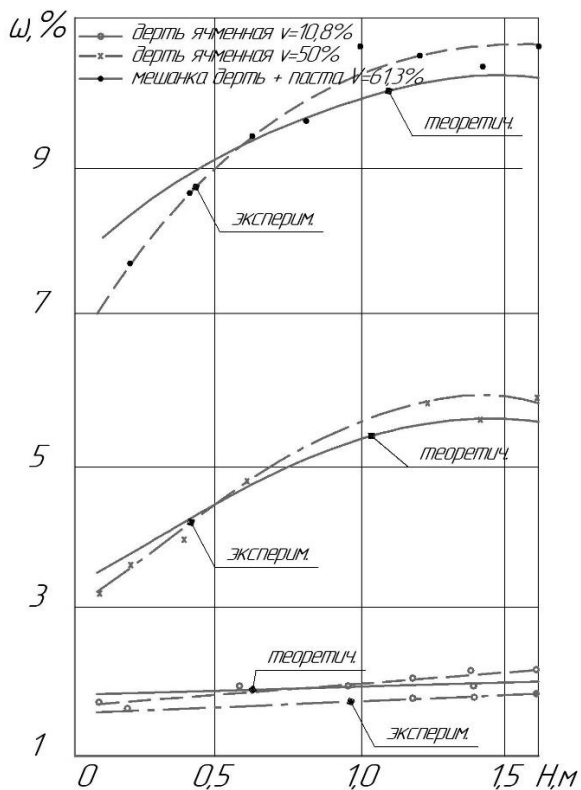


Рисунок 6 – Зависимость погрешности дозирования от высоты слоя

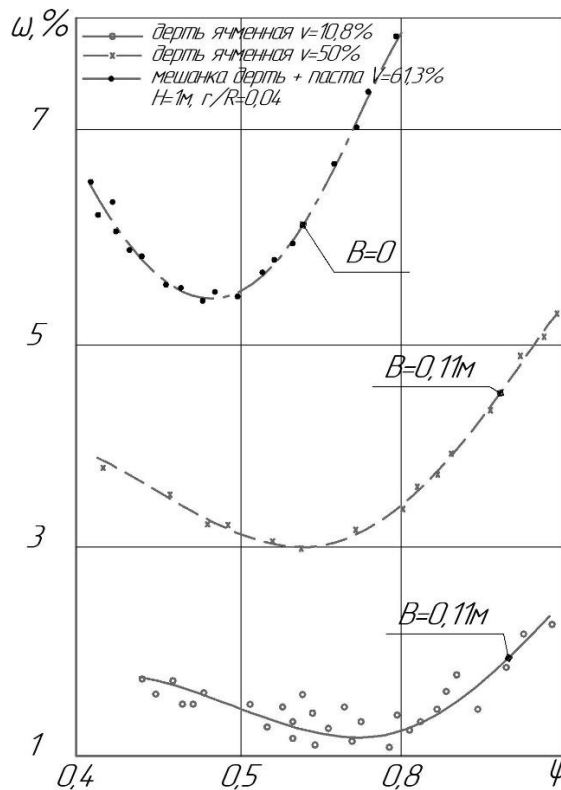


Рисунок 7 – Влияние коэффициента Ψ на погрешность дозирования

При оптимальных параметрах и используемых кормах погрешность дозирования не превысила 1,5...1,7% на сыпучих, 3,5...3,8 на влажных, и 9,4 на связных (смесь дерти с пастой) кормах.

Исследованиями энергетики выявлено влияние параметров дозирования на энергоёмкость процесса. На графике (рисунок 8) зависимость удельной энергоёмкости от соотношения $\frac{r}{R}$ имеет ярко выраженный минимум при значениях $\frac{r}{R} = 0,035...0,050$. Такое же явление наблюдается при оптимальных значениях вылета отсекаателя.

С ростом коэффициента наполнения в пределах 0,4...0,8 энергоёмкость повышается незначительно, а при значениях близких к единице и больших, она резко увеличивается. Это свидетельствует о входе процесса в силовой режим и появлении подпрессовки в межвитковом пространстве.

С повышением частоты круговой подачи энергоёмкость растёт по прямой зависимости (рисунок 9). Значительное повышение энергоёмкости процесса наблюдается с увеличением влажности и связности кормов.

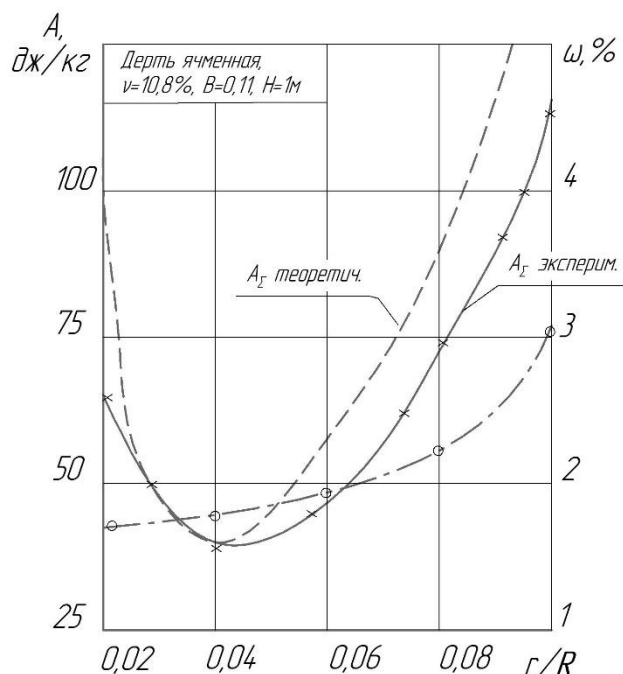


Рисунок 8 – Влияние отношения $\frac{r}{R}$ на энергоёмкость и погрешность дозирования

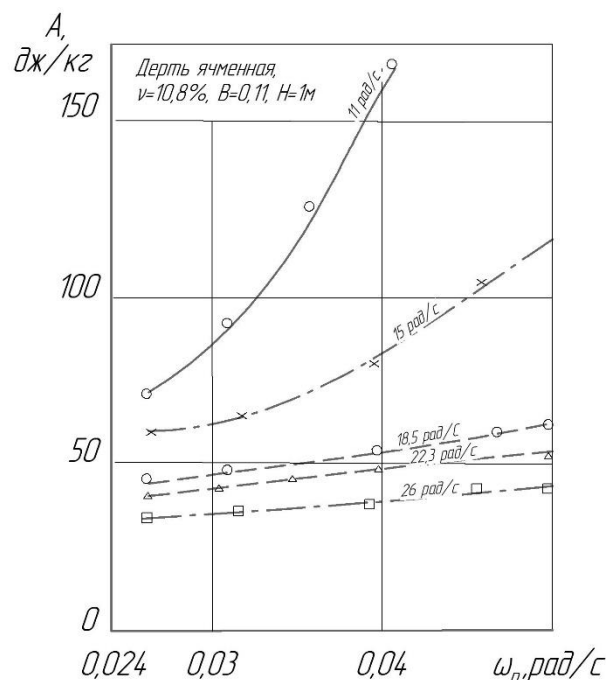
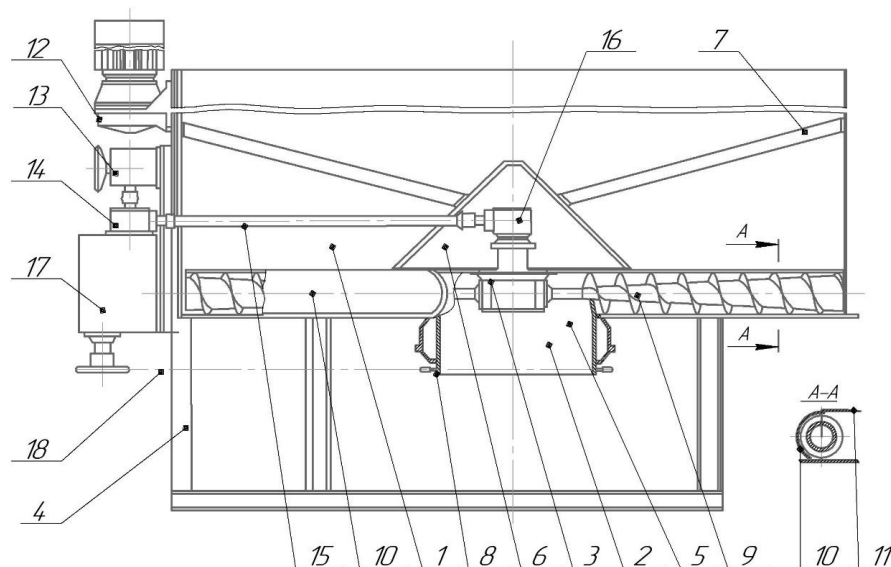


Рисунок 9 – Влияние частоты ω_n на энергоёмкость дозирования

Исследованиями энергетики подтверждаются теоретические зависимости (17, 18 и 19) для расчёта энергетических составляющих дозирования. Получены экспериментальные значения коэффициентов K_1 и K_2 удельного сопротивления рабочему органу. Подтверждается первоначальный вывод о том, что способ нижней разгрузки с послынным локальным отбором продукта имеет значительное преимущество перед другими и по энергоёмкости дозирования.

Предлагается конструкция дозатора (рисунок 10), унифицированная по устройству и методу расчёта, позволяющая в одной модификации получить широкий диапазон производительностей. Обоснована возможность

применения роторных шнековых дозаторов в поточных линиях переработки и приготовления кормов.



1 – бункер; 2, 13, 14, 16, 17 – редукторы; 3 – платформа; 4 – рама; 5 – вал шнека; 6 – защитный конус; 7 – распорка; 8 – венец; 9 – конусный шнек; 10 – кожух шнека; 11 – отсекатель; 12 – мотор-редуктор; 15 – вал редуктора; 18 – цепь

Рисунок 10 – Роторный шнековый дозатор (общий вид)

Общие выводы и предложения. В нормированном кормлении заложен значительный резерв повышения продуктивности свиноводства и экономии кормовых ресурсов. Он может быть реализован за счёт применения эффективных дозаторов.

Наиболее перспективными следует считать стационарные поточные линии раздачи кормов с накопительным бункером-дозатором с автоматическим дозированием на входе системы и погрешностью $\pm 5\%$.

К основным причинам несовершенства существующих дозаторов непрерывного действия следует отнести; сложность нейтрализации сводобразования, неравномерность опорожнения бункеров, несоответствие режима и формы рабочих органов законам отбора продукта, взаимодействие рабочего органа со всем или значительным, объёмом материала.

Цилиндрические бункеры с нижней разгрузкой и послойным локальным отбором продукта роторным шнеком отвечают требованиям надежности, поточности и автоматизации процесса дозирования. Роторный шнек может быть использован в качестве дозирующего рабочего органа и обеспечивает достаточную точность дозирования кормов.

На основе теоретического анализа и проведенных исследований выявлена возможность стабилизировать рабочий процесс дозирования и получить линейную зависимость производительности от рабочих режимов за счёт установки отсекателя. Выведена формула для расчёта его размеров.

Установлены главные факторы, определяющие качество дозирования: коэффициент наполнения межвиткового пространства Ψ , отношение радиуса витков шнека к его длине $\frac{r}{R}$ и изменчивость плотности по высоте слоя кормов в бункере. Выявлены их оптимальные значения при исследуемых параметрах дозатора: $0,035 < \frac{r}{R} < 0,050$; $0,55 < \Psi < 0,75$, при $H \leq 1,0$ м.

Согласована с законом круговой выработки продукта и упрощена форма вала дозирующего шнека, изыскана возможность унификации его параметров. Получены и подтверждены зависимости для определения производительности дозатора. Разработана методика расчёта и конструктивная схема роторного шнекового дозатора.

Литература

1. Глобин, А.Н. Дозирующие устройства [Текст] / А.Н. Глобин. – Саратов: Вузовское образование, 2017. – 344 с.
2. Глобин, А.Н. Пути совершенствования дозирующих устройств / А.Н. Глобин // Совершенствование технологических процессов и технических средств в АПК: Сб. научн. тр. – зерноград: АЧГАА, 2009. – С. 5-6.
3. Глебов, Л.А. Технологическое оборудование предприятий отрасли [Текст] / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденеев, М.М. Темиров, Ю.М. Огурцов; I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Демского. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 816 с.
4. Ведищев, С.М. Анализ шнековых дозаторов / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, О.В. Ларионова, А.А. Кажияхметова // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в 180 АПК: материалы междунар.

науч.-практ. конф. «Белагро-2019» (Минск, 6–7 июня 2019 г.) / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – С.333-337

5. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна/А. Я. Соколов, В. Ф. Журавлев, В. Н. Душин и др.; Под ред. А. Я. Соколова. – 5-с изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 445 с

6. Ведищев С.М. Исследование рациональных конструктивно-режимных параметров шнеколопастного смесителя [текст] / С.М Ведищев, Хольшев Н.В // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. – Саратов: "КУБиК", 2011. – С.25-26.

7. Производство комбикормов в условиях личных подсобных и фермерских хозяйств / И.Н. Краснов, В.М. Филин, АН. Глобин, Е.А. Ладыгин. – Саратов: Вузовское образование, 2017. – 226 с.

8. Глобин, А. Н. Качество кормов как основа повышения продуктивности животных / А.Н. Глобин, И.Н. Краснов, О.И. Алабушева // Совершенствование технологических процессов и технических средств в АПК: Сборник научных трудов. Том Выпуск 8. – Зерноград: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия», 2009.

9. Кажияхметова, А.А. Дозатор-смеситель сухих рассыпных кормосмесей / А.А. Кажияхметова, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.Г. Павлов, Г.В.Рыбин // III-я Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современная наука: теория, методология, практика», Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2021. – С. 307-311.

10. Пат. Российская Федерация №2676552, МПК G01F 13/00. Шнековый дозатор кормов / Глобин А.Н., Краснов И.Н., Куриленко А.В.; заявитель «Азово-Черноморский инженерный институт» ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» – №2018108473; заявл. 07.03.2018, опубл. 09.01.2019, Бюл. № 1.

11. Ведищев, С.М. Исследование энергозатрат шнекового дозатора-смесителя / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.И. Завражнов, Н.В. Хольшев, А.А. Кажияхметова // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. – №2. (42). – 2019. – С.96-101

12. Котовская, В.О. Затраты мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.А. Кажияхметова, А.С. Ткачев // Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020 г. / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет". – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.241-245.

13. Котовская, В.О. Экспериментальные исследования затрат мощности шнекового дозатора / В.О. Котовская, С.М. Ведищев, М.К. Бралиев, А.А. Кажияхметова, А.С. Ткачев // Материалы 2-ой Всерос. (национальной) научно-практич. конференции «Современная наука: теория и практика», Тамбов, 28-29 мая 2020. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.245-248.

14. Тищенко М.А. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров дозирующего устройства для лоточной линии раздачи кормов на свиноводческих фермах: Дис. . канд.техн.наук 05.20.01. Саратов, 1971. – 170 с.

References

1. Globin, A.N. Doziruyushhie ustrojstva [Tekst] / A.N. Globin. – Saratov: Vu-zovskoe obrazovanie, 2017. – 344 с.

2. Globin, A.N. Puti sovershenstvovaniya doziruyushhix ustrojstv / A.N. Globin // Sovershenstvovanie texnologicheskix processov i texnicheskix sredstv v APK: Sb. nauchn. tr.

– Zernograd: AChGAA, 2009. – S. 5-6.

3. Glebov, L.A. *Texnologicheskoe oborudovanie predpriyatij otrasli [Tekst] / L.A. Glebov, A.B. Demskij, V.F. Vedeneev, M.M. Temirov, Yu.M. Ogurczov; I i III chasti pod red. L.A. Glebova, II chast' pod red. A.B. Demskogo.* – M.: DeLi print, 2006. – 816 s.

4. Vedishhev, S.M. *Analiz shnekovy`x dozatorov / S.M. Vedishhev, A.I. Zavrzhnov, O.V. Larionova, A.A. Kazhiyaxmetova // Sovremennye`e problemy` osvoeniya novej texni-ki, tehnologij, organizacii texnicheskogo servisa v180 APK: materialy` mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Belagro-2019» (Minsk, 6–7 iyunya 2019 g.) / redkol.: N. N. Romanyuk [i dr.].* – Minsk: BGATU, 2019. – S.333-337

5. Sokolov A.Ya. *Texnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po xraneniyu i pererabotke zerna/A. Ya. Sokolov, V. F. Zhuravlev, V. N. Dushin i dr.; Pod red. A. Ya. Sokolova.* – 5-s izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1984. – 445 s

6. Vedishhev S.M. *Issledovanie racional`ny`x konstruktivno-rezhimny`x para-metrov shnekolopastnogo smesitelya [tekst] / S.M. Vedishhev, Xol`shev N.V // Materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Koby` V.G. – Saratov:”KUBiK”, 2011. – S.25-26.*

7. *Proizvodstvo kombikormov v usloviyax lichny`x podsobny`x i fermerskix xo-zyajstv / I.N. Krasnov, V.M. Filin, AN. Globin, E.A. Lady`gin.* – Saratov: Vuzovskoe obrazovanie, 2017. – 226 s.

8. Globin, A. N. *Kachestvo kormov kak osnova povыsheniya produktivnosti zhivotny`x / A.N. Globin, I.N. Krasnov, O.I. Alabusheva // Sovershenstvovanie texnologicheskix processov i texnicheskix sredstv v APK: Sbornik nauchny`x trudov. Tom Vy`-pusk 8. – Zernograd: Federal`noe gosudarstvennoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`s-shego professional`nogo obrazovaniya «Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroin-zhenernaya akademiya», 2009.*

9. Kazhiyaxmetova, A.A. *Dozator-smesitel` suxix rassy`pny`x kormosmesej / A.A. Kazhiyaxmetova, S.M. Vedishhev, M.K. Braliev, A.G. Pavlov, G.V.Ry`bin // III-ya Vserossiyskaya (nacional`naya) nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika», Tambov, 13–14 aprelya 2021 goda. – Tambov: Izdatel`stvo IP Chesnokova A.V., 2021. – S. 307-311.*

10. *Pat. Rossiyskaya Federaciya №2676552, MPK G01F 13/00. Shnekovy`j dozator kormov / Globin A.N., Krasnov I.N., Kurilenko A.V.; zayavitel` «Azovo-Chernomorskij inzhenerny`j institut» FGBOU VO «Donskoj GAU» – №2018108473; zayavl. 07.03.2018, opubl. 09.01.2019, Byul. № 1.*

11. *Vedishhev, S.M. Issledovanie e`nergozatrata shnekovogo dozatora-smesitelya / S.M. Vedishhev, A.V. Proxorov, A.I. Zavrzhnov, N.V. Xol`shev, A.A. Kazhiyaxmetova // Vestnik Ryazanskogo GATU im. P.A. Kosty`cheva. – №2. (42). – 2019. – C.96-101*

12. *Kotovskaya, V.O. Zatraty` moshhnosti shnekovogo dozatora / V.O. Kotovskaya, S.M. Vedishhev, A.I. Zavrzhnov, A.A. Kazhiyaxmetova, A.S. Tkachev // Materialy` 2-j vse-rossijskoj (nacional`noj) nauchno-prakticheskoy konferencii, 28-29 maya 2020 g. / FGBOU VO "Tambovskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet". – Tambov, Izd-vo IP Chesnokova A.V., 2020. – S.241-245.*

13. *Kotovskaya, V.O. E`ksperimental`ny`e issledovaniya zatrata moshhnosti shnekovogo dozatora / V.O. Kotovskaya, S.M. Vedishhev, M.K. Braliev, A.A. Kazhiyaxmetova, A.S. Tkachev // Materialy` 2-oy Vseros. (nacional`noj) nauchno-praktich. konf-encii «Sovremennaya nauka: teoriya i praktika», Tambov, 28-29 maya 2020. – Tambov: Izd-vo IP Chesnokova A.V., 2020. – S.245-248.*

14. *Tishhenko M.A. Issledovanie rabocheho processa i obosnovanie parametrov doziruyushhego ustrojstva dlya lotochnoj linii razdachi kormov na svinovodcheskix fermax: Dis. . kand.texn.nauk 05.20.01. Saratov, 1971. – 170 s.*