

DOI

УДК 631.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МАТЕРИАЛА ШНЕКОВЫМ ДОЗАТОРОМ В РЕЖИМЕ ТОРМОЖЕНИЯ**С. Ю. Булатов, А. Ю. Исупов, В. Н. Нечаев, О. А. Тареева, А. Н. Пронин**

Реферат. Шнековые транспортеры нашли применение в пищевой, перерабатывающей и химической промышленности. В зависимости от характеристик перемещаемого сырья используют транспортеры различных конструкций. Благодаря ряду преимуществ при производстве сухих сыпучих комбикормовых смесей для сельскохозяйственных животных рационально использовать горизонтальные шнековые дозаторы закрытого типа с приводом от асинхронных электродвигателей. Для повышения ресурса асинхронных двигателей режим их работы предусматривает плавное торможение, которое влияет на точность дозирования компонентов комбикорма. Цель исследований – определить влияние конструкционных и технологических параметров шнековых дозаторов на количество перемещаемого материала при торможении шнека. Расчеты проводили для стандартного шнека ДШ-60 с применением общеизвестных законов механики. В режиме торможения шнека на массу дозируемых материалов оказывают влияние подача материала и частота вращения шнека. Экспериментально установленные допустимые диапазоны частоты вращения шнека при ее изменении в режиме торможения находятся в интервале от 94,8 мин⁻¹ до 18,7 мин⁻¹. По мере увеличения частоты вращения шнека в указанном диапазоне количество перемещаемого им материала возрастает в 3,7 раза. Наименьшая величина подачи для рассматриваемого шнека составляет 0,8 кг/мин (при $\omega = 18,7 \text{ мин}^{-1}$), минимальная масса, перемещаемая шнеком ДШ-60 в режиме торможения, – 19 г. Расчетные величины массы дозируемого компонента можно вводить в программу управления шнеком для корректировки точности дозирования.

Ключевые слова: шнековый дозатор, сыпучие компоненты, кормосмесь, точное дозирование, масса.

Введение. По прогнозам ООН к середине XXI в. численность населения на планете превысит 9 млрд человек [1]. В связи с увеличением спроса на продукты питания сельское хозяйство будет испытывать серьезную нагрузку, так как служит основным поставщиком сырья для перерабатывающей и пищевой промышленности. Согласно Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утвержденной постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 (с изм. и доп. от 22 дек. 2023 г.) и Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2020 г. № 993-р к ключевым ориентирам развития аграрного сектора относятся: развитие животноводства с освоением инновационных технологий; цифровизация и распространение технологий искусственного интеллекта в АПК.

Важный процесс в сельскохозяйственном производстве – кормление животных полнорационными и концентрированными сбалансированными по питательным веществам комбикормами. Их лучше готовить непосредственно перед скармливанием, так как при хранении изменяется химический состав и снижается питательная ценность кормов [2].

В процессе производства комбикормов для сельскохозяйственных животных важно соблюдать пропорции смешиваемых компонентов [3, 4, 5]. Для этого предназначены специальные дозаторы. В основном в сельском хозяйстве применяют весовое дозирование [6].

Однако ученые Алтайского ГАУ считают, что при хранении компонентов комбикорма в помещениях с меняющейся относительной влажностью воздуха целесообразно использовать объемное дозирование [7]. Основой комбикормов служит зерно злаковых культур, в общий объем которых добавляются необходимые микро- и макрокомпоненты [8]. В основном все компоненты обладают хорошей сыпучестью [9]. Для таких материалов в линиях производства комбикормов, на наш взгляд, рационально применять шнековые дозаторы [10].

На сегодняшний день время известны два вида шнеков: закрытые и открытые. Шнеки, имеющие открытую форму, удобны для транспортировки тяжелых, вязких материалов. Однако они не обеспечивают высокую скорость перемещения. Скорость транспортировки и, соответственно, производительность закрытых шнеков выше.

Несмотря на то, что существует достаточно много результатов изучения работы шнековых машин, исследования в этом направлении продолжают до сих пор. В современных условиях при их проведении изучают параметры шнека, как по энергетическим и количественным характеристикам, так и по степени повреждения транспортируемого материала. Установлено, что оптимальная частота вращения шнека, при которой повреждение материала минимально, составляет 550...650 мин⁻¹ [11]. Ученые Университета Ахмаду Белло определили оптимальный угол наклона шнека для транспортировки гранулированного материала с влажностью 13%: для кукурузы – 0°, сорго – 30° [12]. В Сельчукском университете с использованием методов нечеткой логики на основе критериев производительности и

энергопотребления установлены оптимальные параметры шнека ($n = 450 \text{ мин}^{-1}$, шаг шнека – 100 мм, угол наклона шнека – 15°) [13].

Современные методы изучения машин для приготовления кормовых смесей базируются на основе компьютерных технологий и искусственных нейронных сетей. Так, с использованием цифровых технологий ученые Китайского университета обосновали величину угла осевого наклона лопасти шнека с целью увеличения производительности машин [14].

Научный интерес к дозаторам такого типа обусловлен рядом преимуществ, к которым можно отнести минимальный риск загрязнения окружающей среды, универсальность использования в отношении транспортируемых материалов с различными физико-механическими свойствами, функциональную надежность, простоту установки, низкие инвестиционные затраты [10].

Одно из приоритетных направлений

совершенствования процесса дозирования кормов – автоматизация. Автоматизированные системы управления позволяют сделать его эффективным и более комфортным для операторов. Зная конструктивные характеристики шнека, с использованием программы управления можно отрегулировать его работу для каждого режима.

Цель исследований – определение влияния конструкционных и технологических параметров шнековых дозаторов на количество перемещаемого материала при торможении шнека.

Условия, материалы и методы. Работу проводили на шнековых дозаторах, устройство и принцип работы которых описан ранее [15, 16]. Такой дозатор представляет собой шнек 3, установленный внутри цилиндрического корпуса 2, с одной стороны которого смонтирован загрузочный бункер 1, с другой – выгрузной патрубком (рис. 1). Вращение шнека 3 осуществляет электродвигатель 5.

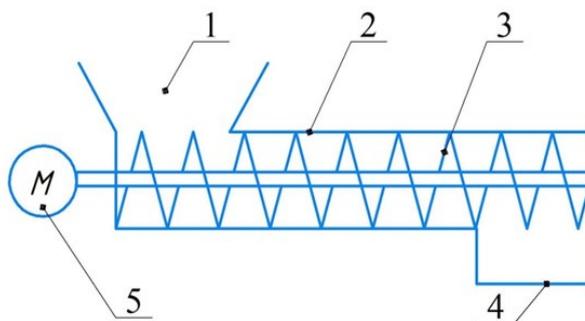


Рис. 1 – Схема исследуемого дозатора: 1 – загрузочный бункер; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – выгрузной патрубок; 5 – электродвигатель

Ранее было показано, что исследуемые дозирующие устройства в автоматическом режиме могут работать по нескольким схемам.

В этой статье рассматривается общая схема работы установки (рис. 2), на основе которой можно получить частные случаи [17].

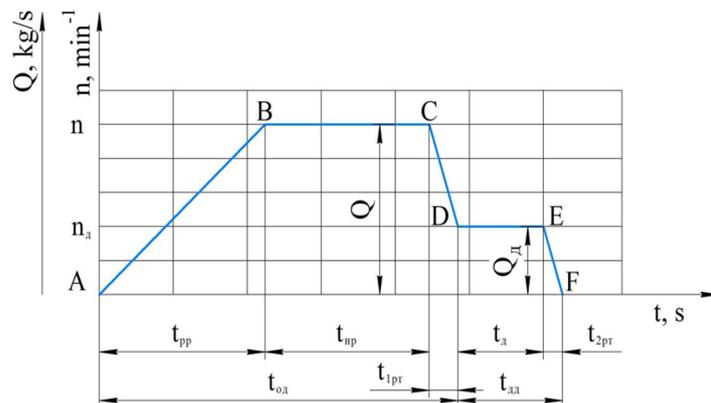


Рис. 2 – График работы шнекового дозатора:

$t_{p.p.}$ – время режима разгона, мин.; $t_{н.р.}$ – время работы в номинальном режиме работы, мин.;

$t_{1p.m.}$, $t_{2p.m.}$ – время режима торможения, мин.; t_d – время досыпки, мин.; $t_{од}$ – основное

время дозирования, мин.; $t_{од}$ – время дозирования в режиме досыпки, мин.

Шнек дозатора обладает пропускной способностью Q , которая обеспечивается в том числе благодаря его вращению с частотой n . Предположим, что дозируемый материал полностью выводится из межвиткового пространства шнека через выгрузное окно и падает на горизонтальную поверхность взвешивающей площадки. При достижении заданной массы m срабатывает датчик взвешивающей площадки, и частота вращения шнека дозатора снижается до n_d , переключая дозатор в так называемый режим досыпки, когда шнек вращается с меньшей частотой. При этом пропускная способность дозатора равна Q_d . В режиме досыпки дозатор работает заданное с панели управления время t_d , по истечении которого останавливается. При проведении расчетов принимали во внимание следующие положения: дозируемый материал, который находится в дозаторе, образует неразрывный поток; обрушением слоя материала в межвитковом пространстве шнека при его остановке пренебрегаем; время реагирования датчика минимально, поэтому им так же пренебрегаем.

Общая масса материала, перемещенная дозатором в режиме его работы по схеме, приведенной на рисунке 2, складывается из следующих компонентов:

$$M = M_{o.d.} + M_{d.d.} = M_{p.p.} + M_{n.p.} + M_{1p.m.} + M_d + M_{2p.m.} \quad (1)$$

где

$M_{o.d.}$ – масса материала, перемещенная дозатором в основное время дозирования, кг;

$M_{d.d.}$ – масса материала, перемещенная дозатором за время дозирования в режиме досыпки, кг;

$M_{p.p.}$ – масса материала, подаваемого при увеличении частоты вращения шнека дозатора от 0 мин⁻¹ до n , кг;

$M_{n.p.}$ – масса материала, подаваемого при номинальной частоте вращения n шнека дозатора, кг;

$M_{1p.m.}, M_{2p.m.}$ – масса материала, дозируемого при торможении шнека дозатора с частоты вращения от n до n_d и от n_d до 0 мин⁻¹, кг;

M_d – масса материала, подаваемого в режиме досыпки, кг.

На погрешность дозирования влияет масса материала, перемещенная за время $t_{2p.m.}$. Для ее определения воспользуемся общеизвестной формулой для расчета производительности шнека:

$$Q = T \cdot S \cdot \psi \cdot \rho \cdot n \cdot k \quad (2)$$

где

T – шаг витков шнека, м;

S – площадь поперечного сечения дозатора, м²;

ψ – доля заполнения сыпучим материалом поперечного сечения шнекового дозатора;

ρ – насыпная плотность дозируемого материала, кг/м³;

n – частота вращения шнека, мин⁻¹;

k – поправочный коэффициент, учитывающий

угол наклона шнека (для горизонтально расположенного шнека $k=1,0$).

Тогда масса материала, подаваемого шнеком в режиме торможения, $M_{2p.m.}$, может быть определена по выражению:

$$M_{2p.m.} = TS\psi\rho k \int_0^{t_{2p.m.}} n(t) dt \quad (3)$$

где

$n(t)$ – закон изменения частоты вращения (при торможении) шнека, который в первом приближении можно представить в качестве уравнения вида $y=ax+b$. Учитывая, что конечная частота вращения шнека $n_k=0$, получим:

$$n(t) = \frac{-n_0}{\Delta t_{p.m.}} t + n_0 \quad (4)$$

где

n_k, n_0 – конечная и начальная частоты вращения, мин⁻¹;

$\Delta t_{p.m.}$ – время торможения, мин.;

t – текущее время, мин.

Тогда выражение (3) с учетом (4) примет вид:

$$M_{2p.m.} = TS\psi\rho k \left(\frac{-n_0}{2\Delta t_{2p.m.}} t^2 + n_0 t_k \right) \quad (5)$$

Полученные выражения справедливы для любых шнековых дозаторов. Как показали результаты наших экспериментов трудно дозируемые материалы с необходимой и достаточной точностью дозируются шнеком стандартных размеров с внутренним диаметром кожуха 60 мм, шагом витков 240 мм, наружным диаметром (по касательной спирали) 53 мм и высотой пера спирали 11 мм [15, 16, 17]. Это соответствует параметрам шнека ДШ-60, который использовали при расчете максимальной подачи.

Результаты и обсуждение. По формуле (5) была построена поверхность, описывающая влияние подачи Q шнека и его частоты вращения на величину массы дозируемого материала, которая будет перемещена шнеком во время его торможения с частоты вращения n_d до 0 мин⁻¹ (рис. 3).

Частота вращения шнека изменяется частотным преобразователем. Был рассмотрен максимально возможный ее диапазон. Наибольшая величина этого показателя ($n = 94,8$ мин⁻¹) соответствовала 50 Гц, наименьшая ($n = 18,7$ мин⁻¹) – 10 Гц. Экспериментально было установлено, что при значениях меньше 10 Гц вращение шнека отсутствовало, что связано с недостаточным крутящим моментом, необходимым для преодоления сопротивления при перемещении дозируемого материала. Взаимосвязь частоты тока и частоты вращения шнека также выявлена экспериментальным путем (рис. 4).

Это необходимо для определения частоты вращения шнека при известной частоте тока, а

также для проведения теоретических расчетов при определении массы навески в исследуемом диапазоне частоты вращения шнека.

Указанная взаимосвязь носит прямолинейный характер и на 1 Гц частоты тока приходится $1,9 \text{ мин}^{-1}$ частоты вращения шнека.

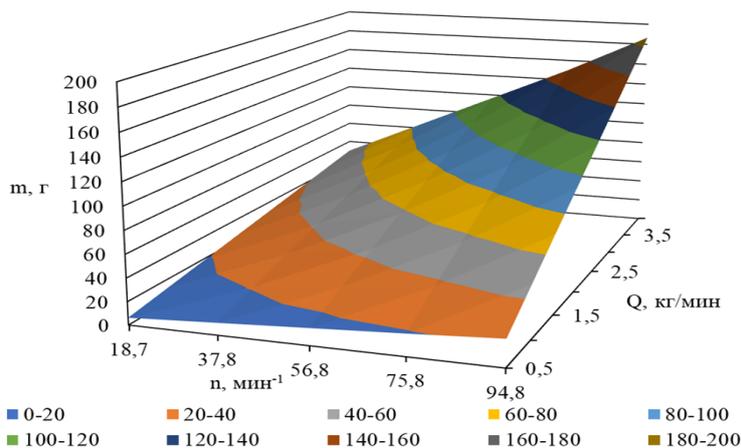


Рис. 3 – Влияние частоты вращения шнека и подачи материала на массу, перемещаемую шнеком в режиме торможения

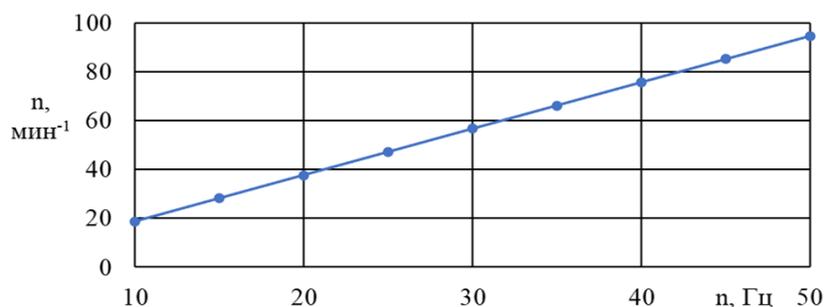


Рис. 4 – Зависимость частоты вращения шнека дозатора от частоты тока

В рассматриваемом диапазоне частоты вращения шнека при ее увеличении в 5 раз (с 18,7 до 94,8 мин^{-1}) количество материала, перемещаемого шнеком, возрастает в 3,7 раза. Наименьшая величина подачи для рассматриваемого шнека составляет 0,8 кг/мин ($n=18,7 \text{ мин}^{-1}$).

Следовательно, минимальная масса, перемещаемая шнеком в режиме торможения, равна 19 г.

Выводы. Масса материала, перемещаемого шнеком в режиме торможения, прямо пропорциональна частоте вращения шнека и его подаче. Теоретическая минимальная массы, которую перемещает рассматриваемый шнек ДШ-60 в режиме торможения, составляет 19 г. Расчетные значения массы можно использовать в программе управления работой дозатором и дают возможность компенсировать погрешности дозирования.

Литература

1. Экспертный портал Высшей школы экономики. Электронный ресурс. <https://lenta.ru/brief/2022/11/15/billions/> (дата обращения: 01.08.2023).
2. Исматова Ш.Н., Юлдашева Ш.Ж. Изменение химического состава комбикормов при хранении // *Universum: технические науки*. 2019. № 5 (62). С. 49-52.
3. Булатов С.Ю. Совершенствование рабочего процесса кормоприготовительных машин путем обоснования их конструктивных и режимных параметров // *Вестник НГИЭИ*. 2017. № 2 (69). С. 45-53.
4. Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС / В.В. Кирсанов, Д.Ю. Павкин, Е.А. Никитин и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. № 5. С. 770-776.
5. Агаев В.Т. Дозирование муки растительных остатков при приготовлении полнорационной кормосмеси // *Аграрная наука*. 2010. № 6. С. 30-32.
6. Жужин М.С., Мансуров А.П. Разработка устройства для внесения порошкообразных консервантов в корма и его эффективность // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 2 (38). С. 174-177.
7. Ахметова В.В., Любин Н.А. Влияние добавок цеолитового сырья в рационы коров на состав молока // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 1 (29). С. 41-44.
8. Суханова С.Ф., Позднякова Н.А., Усков Г.Е. Влияние и взаимосвязь продуктивных показателей у молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности, потреблявшего минеральную кормовую добавку РУСМД // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4 (48). С. 181-185.
9. Сеидова И.А. Физико-механические свойства комбикорма и его основных компонентов // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022. № 1 (45). С. 139-146.

10. Никитин Е.А. Лабораторное исследование дозирующего устройства для кормовых добавок // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25. № 1. С. 40-44.

11. Investigation of sectional operating elements for conveying agricultural materials / R. Hevko, R. Rohatynskyi, M. Hevko, et al. // *Research in Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 66. No. 1. P. 18–26. URL: https://rae.agriculturejournals.cz/artkey/rae-202001-0003_investigation-of-sectional-operating-elements-for-conveying-agricultural-materials.php (дата обращения 01.08.2023). doi: 10.17221/25/2019-RAE

12. Ozbek O. Fuzzy modeling of volumetric efficiency and specific energy consumption in agricultural screw conveyors // *Rural Engineering*. 2020. Vol. 50. No. 5. URL: <https://www.scielo.br/jr/a/YcR6RVhyTZsJcCVQmrZKbpR/?lang=en> (дата обращения 01.08.2023). doi: 10.1590/0103-8478cr20190764

13. Discrete element model of particle and premixing action in modified screw conveyors / M. Pezo, L. Pezo, A. P. Jovanovic, et al. // *Powder Technology*. 2018. Vol. 336. P. 255–264. doi: 10.1016/j.powtec.2018.06.009

14. Application of a screw conveyor with axial tilt blades on a shearer drum and investigation of conveying performance based on DEM / L. Sun, X. Zhang, Q. Zeng, et al. // *Particuology*. 2022. Vol. 6. P. 91–102. doi: 10.1016/j.partic.2021.06.001

15. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Сергеев А.Г. Исследование процесса дозирования компонентов комбикорма шнеком ДШ-100 // *Техника и оборудование для села*. 2021. № 10 (292). С. 36-40.

16. Результаты исследований весового дозирования ингредиентов комбикорма / С.Ю. Булатов, В.Н. Нечаев, А.Г. Сергеев и др. // *Техника и оборудование для села*. 2021. № 1 (283). С. 20-24.

17. Investigation of kinematic characteristics of screw dispensers for sustainable agrarian-and-feed production / S. Bulatov, V. Nechaev, A. Zykin, et al. 2022. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 981. 2022. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/981/4/042028> (дата обращения 01.08.2023). doi: 10.1088/1755-1315/981/4/042028

Сведения об авторах:

Булатов Сергей Юрьевич - доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис», e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Россия

Исупов Алексей Юрьевич - кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории механизации животноводства, e-mail: isupoff.aleks@yandex.ru

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

Нечаев Владимир Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические и биологические системы», e-mail: nechaev-v@list.ru

Тарева Оксана Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические и биологические системы», e-mail: oksya-ka@mail.ru

Пронин Алексей Николаевич - аспирант, e-mail: aleksei031323@yandex.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Княгинино, Россия.

DETERMINATION OF THE QUANTITY OF MOVEABLE MATERIAL BY THE SCREW DISPENSER IN BRAKING MODE

S. Yu. Bulatov, A. Yu. Isupov, V. N. Nechaev, O. A. Tareeva, A. N. Pronin

Abstract. Screw conveyors have found application in the food, processing and chemical industries. Depending on the characteristics of the transported raw materials, conveyors of various designs are used. Due to a number of advantages in the production of dry bulk feed mixtures for farm animals, it is rational to use horizontal screw dispensers of a closed type driven by asynchronous electric motors. To increase the life of asynchronous motors, their operating mode provides for smooth braking, which affects the accuracy of dosing feed components. In this regard, the purpose of the research was formulated – to determine the influence of the structural and technological parameters of screw dispensers on the amount of material to be moved during the braking of the screw. Calculations were performed for a standard DSh-60 auger using well-known laws of mechanics. When considering the calculation scheme, it was revealed that in the screw braking mode, the mass of the dosed materials is influenced by the material supply and the screw rotation frequency. The permissible ranges of the screw rotation frequency have been experimentally established when it changes in the braking mode, which are in the range from 94.8 min⁻¹ to 18.7 min⁻¹. As a result of the calculations carried out, it was revealed that as the screw rotation frequency increases in the specified range, the amount of material moved by it increases by 3.7 times. The lowest feed value for the screw in question is set, which is 0.8 kg/min (at = 18.7 min⁻¹), and the minimum mass moved by the DSh-60 screw in braking mode is 19 g. Calculated values of the mass of the dosed component can be entered into the screw control program to adjust the dosing accuracy.

Key words: screw dispenser, bulk components, feed mixture, precise dosing, weight.

References

1. Expert portal of the Higher School of Economics. [Internet]. [cited 2023, August 1]. Available from. <https://lenta.ru/brief/2022/11/15/billions/>.

2. Ismatova ShN, Yuldasheva ShZh. [Changes in the chemical composition of mixed feed during storage]. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2019; 5 (62). 49-52 p.

3. Bulatov SYu. [Improving the working process of feed preparation machines by substantiating their design and operating parameters]. *Vestnik NGIEI*. 2017; 2 (69). 45-53 p.

4. Kirsanov VV, Pavkin DYu, Nikitin EA. [Application of technical vision systems for diagnosing the quality of cattle feed]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021; Vol.22. 5. 770-776 p.

5. Agaev VT. [Dosing of flour from plant residues during the preparation of a complete feed mixture]. *Agrarnaya nauka*. 2010; 6. 30-32 p.

6. Zhuzhin MS, Mansurov AP. [Development of a device for adding powdered preservatives to feed and its effectiveness]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017; 2 (38). 174-177 p.

7. Akhmetova VV, Lyubin NA. [The influence of adding zeolite raw materials to cows' diets on the composition of milk]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2015; 1 (29). 41-44 p.

8. Sukhanova SF, Pozdnyakova NA, Uskov GE. [Influence and relationship of productive indicators in young beef cattle productivity that consumed the mineral feed additive RUSMD]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 4 (48). 181-185 p.

9. Seidova IA. [Physical and mechanical properties of compound feed and its main components]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 1 (45). 139-146 p.
10. Nikitin EA. [Laboratory study of a dosing device for feed additives]. Agroinzheneriya. 2023; Vol.25. 1. 40-44 p.
11. Hevko R, Rohatynskiy R, Hevko M. Investigation of sectional operating elements for conveying agricultural materials. [Internet]. Research in Agricultural Engineering. 2020; Vol.66. 1. 18-26 p. [cited 2023, August 1]. Available from: https://rae.agriculturejournals.cz/artkey/rae-202001-0003_investigation-of-sectional-operating-elements-for-conveying-agricultural-materials.php. doi: 10.17221/25/2019-RAE
12. Ozbek O. Fuzzy modeling of volumetric efficiency and specific energy consumption in agricultural screw conveyors. [Internet]. Rural Engineering. 2020; Vol.50. 5. [cited 2023, August 1]. Available from: <https://www.scielo.br/j/cr/a/YcR6RVhyTZsJcCVQmrZKbpR/?lang=en>. doi: 10.1590/0103-8478cr20190764.
13. Pezo M, Pezo L, Jovanovic AP. Discrete element model of particle and premixing action in modified screw conveyors. Powder Technology. 2018; Vol.336. 255-264 p. doi: 10.1016/j.powtec.2018.06.009.
14. Sun L, Zhang X, Zeng Q. Application of a screw conveyor with axial tilt blades on a shearer drum and investigation of conveying performance based on DEM. [Internet]. Particuology. 2022; Vol.6. 91-102 p. doi: 10.1016/j.partic.2021.06.001.
15. Bulatov SYu, Nechaev VN, Sergeev AG. [Study of the process of dosing feed components with an auger DSh-100]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021; 10 (292). 36-40 p.
16. Bulatov SYu, Nechaev VN, Sergeev AG. [Results of studies of weight dosing of compound feed ingredients]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021; 1 (283). 20-24 p.
17. Bulatov S, Nechaev V, Zykin A. Investigation of kinematic characteristics of screw dispensers for sustainable agrarian-and-feed production. [Internet]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 981. 2022; [cited 2023, August 1]. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/981/4/042028>. doi: 10.1088/1755-1315/981/4/042028

Authors:

Bulatov Sergey Yurevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Technical Service Department, e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru
 Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia
 Isupov Aleksey Yurevich - Ph.D. of Technical Sciences, senior researcher of Livestock Mechanization Laboratory, e-mail: isupoff.aleks@yandex.ru
 Federal Agrarian Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
 Nechaev Vladimir Nikolaevich - Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical and Biological Systems Department, e-mail: nechaev-v@list.ru
 Tareeva Oksana Aleksandrovna – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical and Biological Systems Department, e-mail: oksya-kn@mail.ru
 Pronin Aleksey Nikolaevich – 4th year postgraduate student, e-mail: aleksei031323@yandex.ru
 Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia.