

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.363

DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-50

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ШНЕКОВОМ ДОЗАТОРЕ

## MODELING OF PROCESSES IN A SCREW DISPENSER

И.В. Юдаев, доктор технических наук, профессор

А.Н. Глобин, кандидат технических наук, доцент

Н.В. Плотникова, магистрант

I.V. Yudaev, A.N. Globin, N.W. Plotnikova

*Азово-Черноморский инженерный институт – филиал**ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград**Azov-Black Sea Engineering Institute –**branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd*

В статье рассмотрены конструкция дозатора-смесителя шнекового типа, его работа, использование в поточных линиях приготовления кормов. Основными преимуществами такого дозатора являются обеспечение однородности выдаваемой смеси, высокая точность дозирования материала и отсутствие колебаний выдачи дозируемого корма. Далее рассмотрен процесс движения материала по наклонной винтовой поверхности такого дозатора. Из чего видно, что для подачи материала по винтовой поверхности целесообразно организовать перемещение порции применением усилия на внешний элемент пласта, который находится в выгодном положении (наименьший угол наклона витка и самое большое расстояние перемещения). С уменьшением радиуса расположения частиц увеличивается угол наклона плоскости шнека, что улучшает условия для перемещения материала. Определены условия для движения корма по вертикальной винтовой поверхности при отсутствии произвольного течения материала. Определено выражение равномерности выдачи материала смесителем-дозатором шнекового типа. На основании полученных данных обосновывается схема работы и конструктивные параметры винтового дозатора.

The article describes the design of the metering-mixer screw type, its operation, use in production lines of feed preparation. The main advantages of such a dispenser are: ensuring the uniformity of the mixture, high accuracy of dosing material and the absence of fluctuations in the issuance of the dosed feed. Further, the process of material movement on the inclined screw surface of such a dispenser is considered. From what it is seen that for the supply of material on the screw surface it is advisable to organize the movement of the portion using force on the outer element of the formation, which is in an advantageous position (the smallest angle of inclination of the coil and the largest distance of movement). As the radius of the particles decreases, the angle of inclination of the screw plane increases, which improves the conditions for moving the material. The conditions for the feed movement on the vertical screw surface in the absence of an arbitrary flow of the material are determined. The expression of uniformity of material output by the mixer-metering device of screw type is defined. Based on the data obtained, the scheme of operation and design parameters of the screw dispenser are justified.

**Ключевые слова:** дозирование кормов, дозирующие устройства, шнековые дозаторы, дозаторы-смесители шнекового типа, скорость элементарных пластов, взаимное пересечение пластов, точность дозирования, обоснование конструкции винтового дозатора.

**Key words:** feed metering; metering device, screw dozer; dispenser-mixer auger; speed of elementary layers; overlapping layers; metering accuracy; justification of the design of screw feeder.

**Введение.** Внедрение современных технологий, механизированных и автоматизированных линий, высокопроизводительных и надежных агрегатов в перерабатывающей отрасли АПК дает возможность повысить эффективность производства, увеличить производительность труда, механизировать трудоемкие ручные процессы, сократить

производственные площади, уменьшить затраты ценного сырья, значительно улучшить качество продукции и санитарно-гигиенические условия производства [7].

К числу важнейших процессов, осуществляемых на перерабатывающих предприятиях, относится дозирование продуктов с различными физико-механическими и химико-биологическими свойствами.

Неточное дозирование может привести к снижению ценности выпускаемого продукта, перерасходу дефицитных и ценных компонентов и увеличению стоимости готовой продукции [2].

Таким образом, дозирование представляет главную технологическую операцию, проводимую на предприятиях по переработке сельскохозяйственной продукции и пищевых производствах [8].

В связи с широким внедрением поточных методов производства все чаще применяется метод непрерывного дозирования.

Автоматическое непрерывное дозирование обеспечивает равномерную подачу материала непрерывным потоком с требуемой степенью точности. В качестве объемных дозаторов используют скребковые, барабанные, шнековые, тарельчатые, электро-вибрационные и другие питатели, оборудованные специальными регулирующими устройствами [1].

Шнековые дозаторы применяют для подачи зернистых, мелкокусковых, порошкообразных и связанных материалов в тех случаях, когда некоторое доизмельчение дозируемого продукта не имеет практического значения. Они могут работать в горизонтальном и наклонном положениях, отличаются постоянством подачи и надежностью [3].

Появление новых конструкций шнековых дозаторов, в том числе со статично расположенным под разными углами шнеком и вращающимся кожухом требует уточнения определения подачи материала таким устройством.

Цель исследования – моделирование процесса работы шнекового дозатора с вертикально расположенным шнеком для обоснования схемы работы и конструктивных параметров винтового дозатора.

**Материалы и методы.** Особый интерес представляет дозатор-смеситель шнекового типа [6], схема которого представлена на рисунке 1. Дозатор-смеситель состоит из загрузочного бункера 1, подготовительной камеры 2, шнека-смесителя 3, вертикального неподвижного шнека 4, выгрузного патрубка 5, электродвигателей 6 и 9, муфты 7, зубчатой передачи 8, вариатора 10, кожуха шнека 11, установленного с возможностью вращения, регулировочного винта 12 и лопаток кожуха дозатора 13.

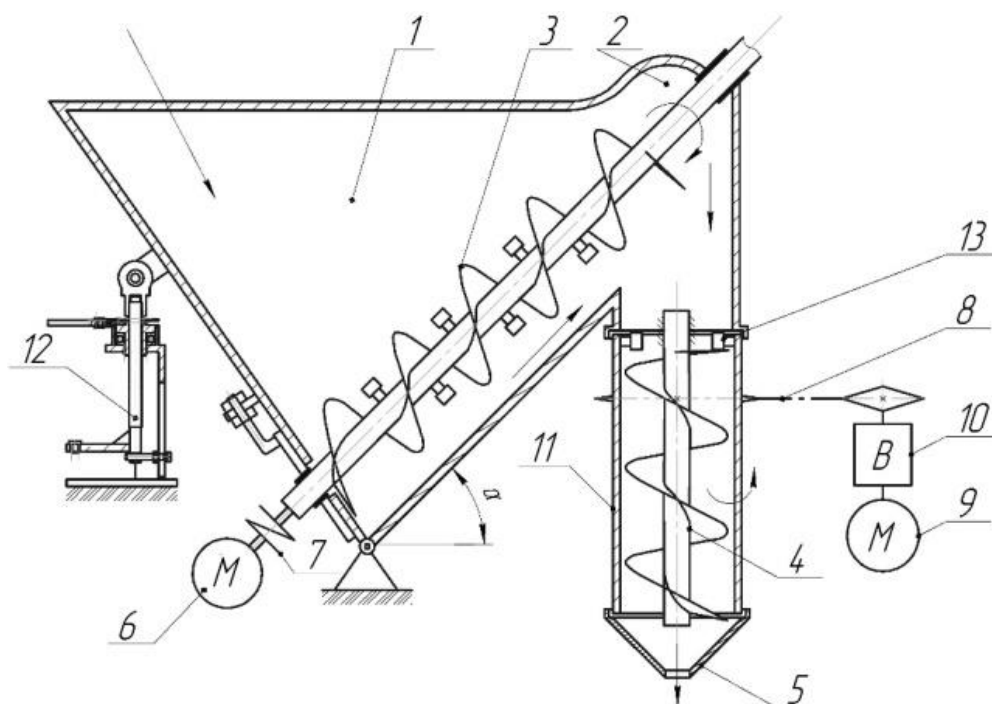


Рисунок 1 – Схема дозатора-смесителя шнекового типа

Дозирующее устройство работает следующим образом. Продукт поступает в загрузочный бункер 1, затем при помощи шнека-смесителя 3 поступает в подготовительную камеру 2, где выравнивается плотность смеси. Затем продукт вовлекается во вращательное движение кожухом шнека 11 и, опираясь на витки неподвижного шнека 4, перемещается к выгрузному отверстию. За счет вращения кожуха шнека 11 и наличия неподвижного шнека 4 материал дозированно поступает через выгрузной патрубок 5 равномерно без колебаний его подачи, что положено в основу его дозирования.

Привод наклонного шнека-смесителя осуществляется от электродвигателя 6 и муфты 7, а вертикального кожуха 11 – через цепную передачу 8 от электродвигателя 9 через вариатор 10.

Угол расположения шнека и, соответственно, бункера зависит от угла естественного откоса, подачи дозируемого материала с одной стороны, качества и энергоёмкости операции – с другой, и регулируется винтом 12.

Основными преимуществами такого дозатора являются обеспечение однородности выдаваемой смеси, высокая точность дозирования материала и отсутствие колебаний выдачи дозируемого корма, что особенно важно в поточных линиях производства комбикормов.

**Результаты и обсуждение.** Далее рассмотрим процесс движения материала по наклонной винтовой поверхности такого дозатора.

Представим движение материала в вертикальном шнеке как движение по винтовой плоскости (рисунок 2). Причем угол  $\beta_i$  наклона этой плоскости меняется и зависит от расположения материальной точки по радиусу  $r_i$ .

С уменьшением радиуса угол наклона  $\beta_i$  увеличивается. Для наглядности представим наклонную винтовую плоскость в развернутом виде с переменным углом наклона  $\beta$  (рисунок 2).

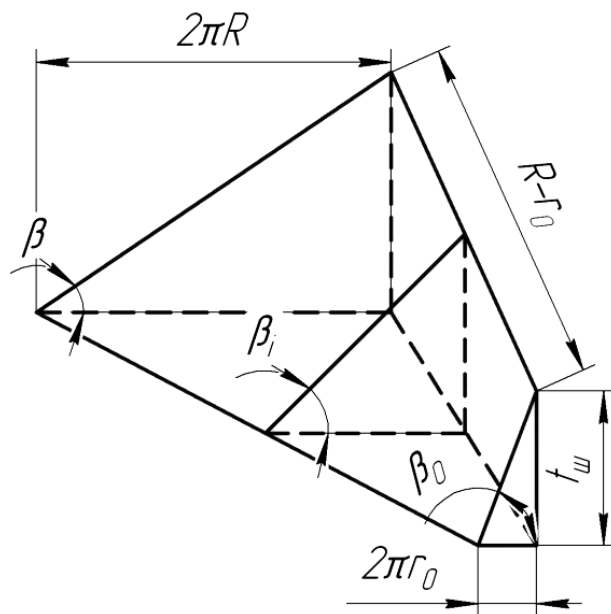


Рисунок 2 – Схематичное изображение углов наклона винтовой поверхности

За время  $\Delta t$  материал перемещается по поверхности, поворачиваясь вокруг вала винта на угол  $\Delta\varphi$ . Между вертикальными плоскостями, расположенными в диапазоне этого угла  $\Delta\varphi$ , находится порция материала, которую можно представить объемом фигуры, обозначенной на рисунке 3.

Условно разбивая поток материала на элементарные вертикальные пласты, расположенные по радиусу  $r_i$ , заметим, что за равный промежуток времени  $\Delta t$  они пройдут разное расстояние  $L_{r_i}$ :

$$L_{r_i} = \frac{\omega r_i \Delta t}{\cos \beta_i}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения материала, рад/с.

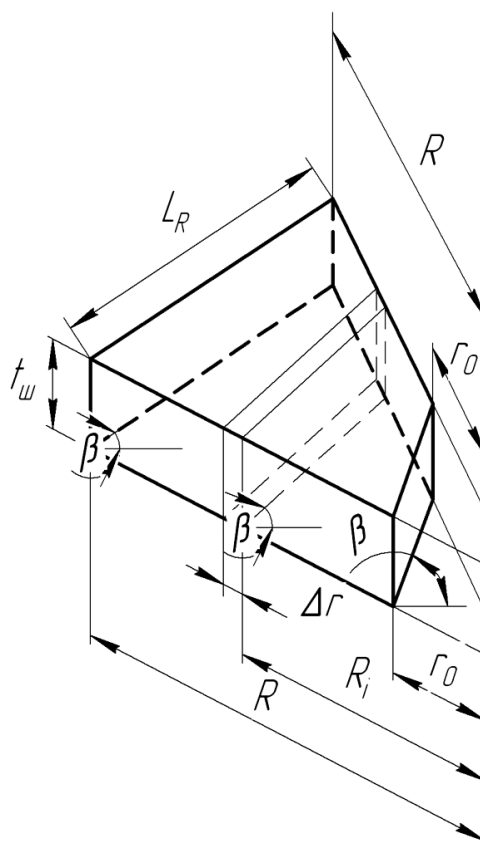


Рисунок 3 – Форма порции материала на винтовой поверхности

Относительное смещение частиц соседних элементарных пластов при перемещении порции на  $\Delta\varphi$  составит:

$$\Delta L_i = \omega \Delta t \left[ (r_i + 0,5\bar{d}) \sqrt{1 - \left( \frac{t_w}{2\pi(r_i + 0,5\bar{d})} \right)^2} - (r_i - 0,5\bar{d}) \sqrt{1 - \left( \frac{t_w}{2\pi(r_i - 0,5\bar{d})} \right)^2} \right], \quad (2)$$

где  $\bar{d}$  – средний размер частиц материала.

Взаимное пересечение пластов на длине  $L_i$  обеспечивает передачу усилия на перемещение соседнему пласту и, благодаря этому, осуществляется общее перемещение материала.

Из вышеизложенного вытекает, что для подачи материала по винтовой поверхности целесообразно организовать перемещение порции объемом  $V_n$  применением усилия на внешний элемент пласта, который находится в выгодном положении (наименьший угол наклона витка и самое большое расстояние перемещения). С уменьшением радиуса расположения частиц увеличивается угол  $\beta_i$  наклона плоскости шнека, что улучшает условия для перемещения материала.

За время  $\Delta t$  дозирующим устройством выдается порция объемом, который определяется известным выражением [4]:

$$V_n = \frac{t_w R^2}{2} \omega \Delta t. \quad (3)$$

При перемещении между кожухом и кормом возникает сила трения  $F_K$ , которая является главной движущей силой для материала:

$$F_K = 0,5 \rho g t_u \Delta \varphi \sin 2\xi \left[ \frac{R^2}{3} (2 \operatorname{ctg} \xi - \operatorname{ctg}^2 \xi) - r_0^2 \right] \times f_{tr}. \quad (4)$$

При этом порция материала преодолевает силы трения о виток винта, которые снижаются с увеличением его наклона, и усилие определяют по выражению:

$$P_{wn} = \Delta \varphi \bar{d} t_u \rho g f_{tr} \sum_{i=1}^N (r_0 + n_i \bar{d})^2 \frac{2\pi}{\sqrt{[2\pi(r_0 + n_i \bar{d})]^2 - t_u^2}}, \quad (5)$$

где  $N_{cl} = \frac{R - r_0}{\bar{d}}$  – количество пластов;  $\rho$  – плотность корма;  $g$  – ускорение свободного падения.

Движению этой порции препятствует и сила трения о вал винта:

$$P_B = \left\{ \frac{1}{3} t_u \pi [(r_0 + t_u \operatorname{ctg} \xi)^2 - r_0^2] \frac{\rho g \Delta \varphi}{2\pi} \sin 2\xi \right\} (R^2 - r_0^2) \Delta \varphi \rho \omega R \frac{d\varphi}{dt_{tr}} \times f_{tr}. \quad (6)$$

Сила давления материала порции на вал определяется как горизонтальная составляющая веса порции, скользящей по плоскости обрушения.

Для движения корма по вертикальной винтовой поверхности достаточно выполнения условия:

$$F_K \geq P_{wn} \frac{1}{\sqrt{1 - \left( 2\pi \left[ r_0 + \frac{2(R - r_0)}{3} \right] \right)^2}} + P_B. \quad (7)$$

Это условие реализуется за счет конструктивных параметров винтового конвейера, но они могут влиять на качество выдачи.

Отделение порций материала, находящегося на поверхности витка, происходит по плоскости, наклоненной к горизонту под углом  $\xi$ .

Однако при недостаточной величине суммы сил трения происходит самоистечение материала на участке, где угол обрушения меньше угла наклона витка. Ширина пласта материала  $(R_i - r_0)$ , спонтанно перемещающегося без применения движущей силы, определяется по условиям:

$$\begin{aligned} & \bar{d} \Delta \varphi t_u \rho g \sum_{i=1}^{N_1} (r_0 + n_i \bar{d}) \frac{t_u}{\sqrt{[2\pi(r_0 + n_i \bar{d})]^2 - t_u^2}} \geq \\ & d \Delta \varphi t_u \rho g f_{tr} \sum_{i=1}^{N_1} (r_0 + n_i \bar{d}) \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{t_u}{2\pi(r_0 + n_i \bar{d})} \right)^2}} + \\ & + (N_1 \bar{d} - r_0) t_u F_{cc} + F_{v.b.} f_{tr} \end{aligned} \quad (8)$$

где  $N_1 = \frac{R_1 - r_0}{\bar{d}}$ ;  $n_i = \frac{R_i - r_0}{\bar{d}}$ .

При вращении кожуха материал, который находится в диапазоне радиусов  $R_1 - r_0$ , движется с определенной скоростью исходя из условия нормального истечения:

$$v_{бух} = kF_{R-r}^{0,25}, \quad (9)$$

где  $k = (2,546 - 0,162)\bar{d}$ ;  $d$  – размер частиц дозируемого материала;  $F_{R-r}$  – площадь сечения потока,  $F_{R-r} = (R_1 - r_0)t_u$ .

Если скорость элементарного пласта на радиусе  $R_1$  больше скорости, определяемой по (9), то в расчетах принимается движение пластов со скоростями, которые соответствуют скорости перемещения точки радиуса их расположения. В противном случае движение материала рассматривается как движение, составленное из двух потоков. Причем пласт потока, расположенный возле вала винта, движется со скоростью, определяемой по (9), а другие – с меньшей скоростью.

В этом случае равномерность потока зависит от площади сечения порции  $F_{R_1}$ :

$$F_{R_1} = R_1 \Delta \varphi t_u. \quad (10)$$

При движении потоков с разными скоростями в зоне контакта элементарных пластов на радиусе  $R_1$  контактирующие частицы могут отделяться с любым пластом, что влияет и на равномерность истечения материала.

В связи с изменением площади потока в процессе истечения меняется и скорость истечения, а следовательно, и объем порции. Тогда среднее квадратичное отклонение массы порции, выданной за  $\Delta t$ :

$$\sigma_{mv} = 0,25 \sigma_{v_3} t_u \left\{ k [(R_1 - r_0)t_u]^{0,25} \sin \beta_{R_1} + \omega R_1 \right\} \rho \Delta t, \quad (11)$$

где  $\sigma_{v_3}$  – среднее квадратичное отклонение зоны распределения потоков.

Масса порции, выдаваемая за время  $\Delta t$ :

$$m_{\Pi} = \rho \left[ 0,5 t_u (R - R_1) \omega \Delta t + (R_1 - r_0) t_u v_{бух} \right] \Delta t. \quad (12)$$

Таким образом, равномерность течения материала по винтовой поверхности шнека определяется выражением:

$$\theta = \frac{t \left( \sigma_{R_w - R_1}^2 + \sigma_{R_1}^2 + \sigma_{R_1 - r_0}^2 + \sigma_{mv}^2 + \sigma_{m\rho}^2 + \sigma_{mw}^2 \right)^{0,5}}{m_n}, \quad (13)$$

где  $\sigma_R$  – среднее квадратичное отклонение составляющих равномерности определяется для соответствующих площадей сечения порций:

для  $\sigma_{R_w - R_1}$

$$F_{R_w - R_1} = \frac{t_u (R_w - R_1)}{\sin \xi}, \quad (14)$$

а для  $\sigma_{R_1 - r_0}$

$$F_{R_1 - r_0} = (R_1 - r_0) t_u. \quad (15)$$

Для  $\sigma_{R_1}$   $F_k$  определится по (10).

**Заключение.** На основании полученных данных обоснована схема работы и конструктивные параметры винтового дозатора, выполненного в соответствии с патентом РФ № 2631008.

**Библиографический список**

1. Глобин, А.Н. Дозирующие устройства [Текст]: монография / А.Н. Глобин. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 384 с.
2. Глобин, А.Н. Дозаторы [Текст]: монография / А.Н. Глобин, И.Н. Краснов. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – 348 с.
3. Глобин, А.Н. Пути совершенствования дозирующих устройств [Текст] / А.Н. Глобин // Совершенствование технологических процессов и технических средств в АПК: сб. научн. тр. / АЧГАА. – Зерноград, 2009. – С. 5-6.
4. Глобин, А.Н. Машины для переработки сельскохозяйственной продукции (книга) [Текст] / А.Н. Глобин; под ред. И.Н. Краснова // Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, конструкция, использование / ФГОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2012. – Т. 6. – Кн. 2. – 530 с.
5. Глобин, А.Н. Анализ работы винтовых дозаторов в линиях приготовления кормов [Текст] / А.Н. Глобин, А.В. Куриленко // Сельский механизатор. – 2017. – № 9. – С. 24-25.
6. Дозатор-смеситель шнекового типа [Текст]: пат. 134634 Российская Федерация, МПК G01F 11/00 (2006.01). / Глобин А.Н., Краснов И.Н., Рясный А.В. заявитель ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия». – №2013131846/28, заявл. 09.07.2013, опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.
7. Система ведения животноводства Ростовской области на 2014-2020 годы [Текст] / А.Н. Глобин, В.Н. Василенко, А.И. Клименко и др. – Ростов-на-Дону, 2013. – 504 с.
8. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна [Текст] / А. Я. Соколов, В. Ф. Журавлев, В. Н. Душин и др.; под ред. А. Я. Соколова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 445 с.
9. Шнековый дозатор-смеситель кормов [Текст]: пат. 2631008 МПК G01F 11/00 (2006.01), B01F 7/02 (2006.01), A23N 17/00 (2006.01) / Глобин А.Н., Краснов И.Н., Оганесян С.К. заявитель «Азово-Черноморский инженерный институт» ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» – №2016120816, заявл. 26.05.2016, опубл. 15.09.2017, Бюл. № 26.

**Reference**

1. Globin, A. N. Doziruyuschie ustrojstva [Tekst]: monografiya / A. N. Globin. - M. -- Berlin: Direkt-Media, 2016. - 384 p.
2. Globin, A. N. Dozatory [Tekst]: monografiya / A. N. Globin, I. N. Krasnov. - Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2012. - 348 p.
3. Globin, A. N. Puti sovershenstvovaniya doziruyuschih ustrojstv [Tekst] / A. N. Globin // Sovershenstvovanie tehnologicheskikh processov i tehnicheskikh sredstv v APK: sb. nauchn. tr. / AChGAA. - Zernograd, 2009. - P. 5-6.
4. Globin, A. N. Mashiny dlya pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii (kniga) [Tekst] / A. N. Globin; pod red. I. N. Krasnova // Sel'skohozyajstvennye mashiny: teoriya, raschet, konstrukciya, ispol'zovanie / FGOU VPO AChGAA. - Zernograd, 2012. - T. 6. Kn. 2. - 530 p.
5. Globin, A. N. Analiz raboty vintovyh dozatorov v liniyah prigotovleniya kormov [Tekst] / A. N. Globin, A. V. Kurilenko // Sel'skij mehanizator. - 2017. - № 9. - P. 24-25.
6. Dozator-smesitel' shnekovogo tipa [Tekst]: pat. 134634 Rossijskaya Federaciya, MPK G01F 11/00 (2006.01). / Globin A. N., Krasnov I. N., Ryasnyj A. V. zayavitel' FGBOU VPO "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya". - №2013131846/28, zayavl. 09.07.2013, opubl. 20.11.2013, Byul. № 32.
7. Sistema vedeniya zhivotnovodstva Rostovskoj oblasti na 2014-2020 gody [Tekst] / A. N. Globin, V. N. Vasilenko, A. I. Klimenko i dr. - Rostov-na-Donu, 2013. - 504 p.
8. Tehnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniyu i pererabotke zerna [Tekst] / A. Ya. Sokolov, V. F. Zhuravlev, V. N. Dushin i dr.; pod red. A. Ya. Sokolova. - 5-e izd., pererab. i dop. - M.: Kolos, 1984. - 445 p.
9. Shnekovyy dozator-smesitel' kormov [Tekst]: pat. 2631008 MPK G01F 11/00 (2006.01), B01F 7/02 (2006.01), A23N 17/00 (2006.01) / Globin A. N., Krasnov I. N., Oganesyans S. K. zayavitel' "Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut" FGBOU VO "Donskoj GAU" - №2016120816, zayavl. 26.05.2016, opubl. 15.09.2017, Byul. № 26.

**E-mail:** etsh1965@mail.ru