

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.867.423

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-40-44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ**БЫЧКОВ ИВАН ЕВГЕНЬЕВИЧ**, канд. техн. наук

ivanbychkov@mail.ru;

**БЫЧКОВА ТАТЬЯНА ВИКТОРОВНА** ✉, канд. пед. наук, доцентtanyabychkova@mail.ru ✉; <https://orcid.org/0000-0002-7457-8783>

Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, 2а

**Аннотация.** Сложность загрузки зерновых культур в различные контейнеры заключается в невозможности заполнения всей требуемой емкости, неравномерном распределении материала, ограничениях по конструкции контейнера и т.п. Для осуществления равномерной загрузки рассмотрен шнековый транспортер-распределитель, в котором устройство в виде шнека, помещено в кожух. Снизу по всей длине транспортера-распределителя имеется высыпное отверстие определенной геометрической формы. Задачей исследования было получение параметров шнекового транспортера-распределителя, определение их влияния на производственные параметры шнека при известных параметрах загружаемой ёмкости для получения равномерной загрузки зерна. В ходе проведения компьютерного эксперимента рассмотрены шнеки диаметрами 100, 160, 200, 250, 315 и 400 мм при изменении частоты их вращения от 50 до 600 мин<sup>-1</sup> с интервалами в 50 мин<sup>-1</sup>, длина шнеков менялась от 1 до 14 м с шагом в 1 м. Полученные результаты позволили выявить приемлемые диаметры и частоты шнековых транспортеров-распределителей в зависимости от габаритов загружаемых контейнеров для обеспечения равномерного распределения. На примере склада прямоугольной формы размером 14 на 20 м определены технические характеристики шнекового транспортера-распределителя, а также произведен расчет нужной геометрической формы отверстия в кожухе шнека, необходимого для обеспечения равномерного распределения зерна.

**Ключевые слова:** шнек, шнековый транспортер-распределитель, параметры шнекового транспортера-распределителя, равномерная загрузка зерна, компьютерный эксперимент.

**Формат цитирования:** Бычков И.Е., Бычкова Т.В. Моделирование параметров шнекового транспортера-распределителя // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 40-44. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-40-44>.

© Бычков И.Е., Бычкова Т.В., 2022



## ORIGINAL PAPER

## MODELING THE PARAMETERS OF A SCREW-TYPE CONVEYOR-DISTRIBUTOR

**IVAN E. BYCHKOV**, PhD (Eng)

ivanbychkov@mail.ru

**TATIANA V. BYCHKOVA** ✉, PhD (Ed), Associate Professortanyabychkova@mail.ru ✉; <https://orcid.org/0000-0002-7457-8783>

Bryansk State Agrarian University; 2a, Sovetskaya Str., Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation

**Abstract.** Loading grain crops into various containers is not easy due to the impossibility of filling the entire required capacity, uneven distribution of material, restrictions on the container design, etc. The article considers the design of a screw-type conveyor-distributor used for uniform loading. The device consists of a screw placed in a casing. From below, along the entire length of the conveyor-distributor, there is a discharge hole of a particular geometric shape. The study task was to obtain the parameters of the screw-type conveyor-distributor, to determine their effect on the production parameters of the screw with known parameters of the loading capacity for ensuring uniform grain loading. In the course of a computer experiment, screws with diameters of 100, 160, 200, 250, 315, and 400 mm were examined. While their speed changed from 50 to 600 min<sup>-1</sup> at intervals of 50 min<sup>-1</sup>, the screw length varied from 1 to 14 m in increments of 1 m. The results obtained revealed acceptable diameters and speeds of screw-type conveyor distributors depending on the dimensions of the loaded containers to ensure uniform distribution. Using the example of a rectangular warehouse with a size of 14 by 20 m, the authors determined the technical characteristics of a screw-type conveyor-distributor and determined the appropriate geometric shape of the screw casing hole to ensure uniform grain distribution.

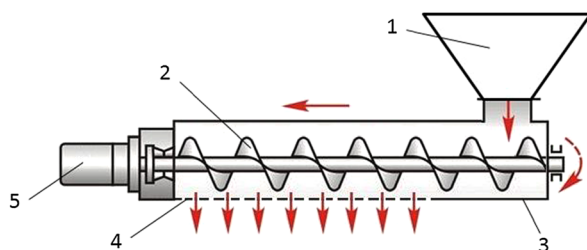
**Key words:** screw, screw-type conveyor-distributor, parameters of the screw-type conveyor-distributor, uniform grain loading, computer experiment.

**For citation:** Bychkov I.E., Bychkova T.V. Modeling the parameters of a screw-type conveyor-distributor. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(1): 40-44. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-40-44>.

**Введение.** Проблема загрузки зерновых культур в различные контейнеры является актуальной и связана с невозможностью заполнения всей требуемой ёмкости, неравномерным распределением материала, ограничениями по конструкции контейнера и т.п. В настоящее время существуют различные методы и загрузочно-распределительные устройства, применяемые на различных стадиях процесса загрузки различных емкостей (бункеров, кузовов транспортных средств, высотных емкостей) [1-6]. Известный способ загрузки компактной струей имеет недостаток – увеличение объемной плотности в нижних слоях сыпучей массы [3]. Применение загрузочного рукава при загрузке компактной струей не позволяет произвести равномерную загрузку прямоугольной емкости и требует применения дополнительных выравнивающих средств. Метод дождя (разбрасывания) материала позволяет равномерно распределить сыпучую массу, но требует специальных загрузочных устройств и также не имеет возможности равномерно заполнять емкости прямоугольной формы [7]. Выравнивающие конвейеры [8], позволяющие максимально полно заполнять прямоугольную емкость, имеют недостаток – дополнительное механическое воздействие на сыпучую массу.

В работе [9] представлено устройство шнекового транспортера-распределителя зерна, обеспечивающего равномерную загрузку зерна в контейнеры различной формы (рис. 1). Заметим, что промышленные винтовые конвейеры У13-БКШ после небольшой доработки могут быть использованы в качестве шнекового транспортера-распределителя.

Изготовлена лабораторная установка и проведены исследования [10, 11], в которых равномерная загрузка бункера зерном осуществлялась шнековым транспортером-распределителем – устройством в виде шнека, помещенного в кожух, имеющего высыпное отверстие определенной геометрической формы снизу (рис. 1). Выяснилось, что равномерное распределение зерна зависит от ширины высыпного отверстия, меняющейся по определенному закону вдоль всего отверстия. Отверстие в кожухе расположено не по всей длине шнека, его нет над первыми двумя витками шнека, что вызвано необходимостью обеспечения равномерного высыпания.



**Рис. 1. Шнековый транспортер-распределитель [9]:**  
1 – подающая емкость; 2 – шнек;  
3 – кожух с отверстием 4; 5 – электродвигатель

**Fig. 1. Screw-type conveyor-distributor:**  
1 – feeding tank; 2 – screw; 3 – casing with hole 4;  
5 – electric motor

**Цель исследований:** определение параметров шнекового транспортера-распределителя (рис. 1); определение возможных производственных параметров шнека при известных

параметрах загружаемой ёмкости для получения равномерной загрузки.

**Материалы и методы.** Получена формула для расчета ширины высыпного отверстия шнекового транспортера-распределителя зерна [10], обеспечивающего равномерное распределение зерна по всей длине высыпного отверстия, расположенного по длине кожуха шнека:

$$b = \frac{-C_2 + \sqrt{C_2^2 + 4C_1 \cdot \frac{\rho_3 f \pi R^2 l^2 n}{60 a L}}}{2C_1}, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина высыпного отверстия, мм;  $\rho_3$  – объемная плотность зерна, г/мм<sup>3</sup>;  $f$  – коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека;  $R$  – радиус шнека, мм;  $l$  – шаг шнека, мм;  $n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;  $L$  – длина высыпного отверстия, мм;  $a$  – длина участка соприкосновения зерна с высыпным отверстием внутри шага шнека, мм;  $C_1, C_2$  – коэффициенты, установленные экспериментально.

В формуле (1) присутствуют  $\rho_3$  и  $f$ , принимающие постоянные значения, обусловленные поставленной задачей, и значения, уже определенные экспериментально, –  $C_1, C_2$  [11]. Тогда ширину высыпного отверстия можно представить как функцию, зависящую от нескольких переменных:

$$b = b(D, n, L, a), \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр шнека.

Отметим, что значения диаметра шнека  $D$  связаны с его шагом  $l$  ( $D \approx l$ ) и радиусом  $R$  ( $D = 2R$ ). Полученная зависимость (2) позволяет определять необходимую ширину высыпного отверстия в зависимости от имеющихся геометрических характеристик контейнера, требующего заполнения.

Определим систему ограничений для выбранных переменных. Переменные  $D, n, L$  связаны с особенностями заполняемой емкости и с геометрическими характеристиками шнекового транспортера-распределителя. Данные переменные должны определяться однозначно или с небольшими вариациями для конкретного технического задания, и эти значения подставляются в формулу (1). Переменная  $a$  – длина участка соприкосновения зерна с высыпным отверстием – изменяется от шага шнека  $l$  до размера частицы, и значения данной переменной будут меняться непрерывно в рассматриваемом интервале, что в итоге даст зависимость  $b = b(a)$ .

Ширина высыпного отверстия, через которое происходит просыпание зерна, зависит от его размера и не может составлять меньше 9 мм для обеспечения непрерывного просыпания зерна [11]. Диаметры шнека и частоты вращения в рамках нашей модели и поставленной задачи определим следующим образом:

$$\begin{cases} b = \text{от } 9 \text{ мм до } D/2, \\ D = 100 \dots 400 \text{ мм}, \\ L = 1 \dots 14 \text{ м}, \\ n = \text{от } 50 \text{ до } 600 \text{ мин}^{-1}. \end{cases} \quad (3)$$

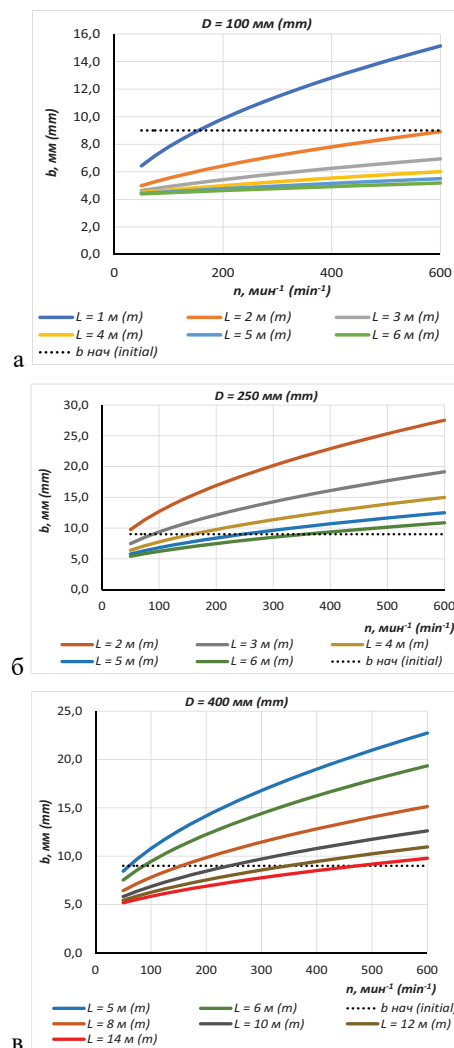
Изучение зависимости (1) с учетом ограничений (3) на практике связано с применением шнеков различной конструкции, работающих на разных частотах и заполняющих емкости сильно отличающихся объемов, поэтому был проведен имитационный компьютерный эксперимент.

**Результаты и обсуждение.** Экспериментально изучалась зависимость ширины высыпного отверстия  $b$  шнекового транспортера-распределителя для различных диаметров шнека при изменении частоты вращения  $n$  от 50 до 600 мин<sup>-1</sup> с интервалом в 50 мин<sup>-1</sup> (соответственно длина высыпного отверстия шнека  $L$  изменялась от 1 до 14 м с шагом в 1 м). В первоначальном приближении находилась минимально возможная ширина высыпного отверстия, для чего рассматривалось наибольшее значение  $a$ , близкое к шагу шнека  $l$ . Ширина высыпного отверстия – нелинейно изменяющаяся величина. В эксперименте находили ее первоначальное, а затем – минимальное значение. Для диаметров 100, 160, 200, 250, 315 и 400 мм проведены расчеты ширины высыпного отверстия для различных значений длины высыпного отверстия шнека (рис. 2). На диаграммах пунктирной линией отображается минимальное значение ширины высыпного отверстия  $b$ , при котором начинается непрерывный процесс высыпания зерна.

Из графиков, представленных на рисунке 2, можно сделать следующие выводы:

- при увеличении длины заполняемого бункера необходимо увеличивать диаметр шнека;
- для шнека диаметром 100 мм максимальная длина высыпного отверстия не может составлять больше 1 м для обеспечения работоспособности устройства (для равномерного распределения зерна по всей длине высыпного отверстия);
- для шнека диаметром 250 мм можно заполнять бункеры длиной от 2 до 6 м, при этом для шнека с 6-метровым высыпным отверстием частота вращения шнека должна составлять не менее 400 мин<sup>-1</sup> (при меньших оборотах процесс высыпания будет неравномерным).

Полученные экспериментальные данные позволили выявить наиболее приемлемые диаметры и частоты используемых шнековых транспортеров-распределителей в зависимости от габаритов загружаемых ёмкостей для обеспечения равномерного распределения. Результаты исследования представлены в таблице.



**Рис. 2. Зависимость ширины высыпного отверстия от частоты вращения шнека при фиксированном диаметре шнека**

**Fig. 2. Relationship between the discharge hole width and the screw speed at a fixed screw diameter**

Таблица

**Частоты работы шнекового транспортера-распределителя, обеспечивающие равномерное распределение зерна в зависимости от диаметра шнека (D) и длины высыпного отверстия (L)**

Table

**Operating speeds of the screw-type conveyor-distributor, ensuring uniform grain distribution depending on the screw diameter (D) and the discharge hole length (L)**

D, мм (mm)	L, м (m)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
100	200...600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	50...150	200...300	350...500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	100...150	200...300	350...450	500...600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	-	50	100...150	200	250...350	400...450	500...600	-	-	-	-	-	-	-
315	-	-	50	100	150	200	250...300	350...400	450	500...550	600	-	-	-
400	-	-	-	50	-	100	150	-	200	250	300	350...400	450	500...600

Данные таблицы позволяют определить необходимые технические характеристики шнекового транспортера-распределителя зерна в соответствии с требуемыми габаритами контейнера.

Приведем пример моделирования ширины высыпного отверстия, необходимого для равномерного заполнения зерном склада прямоугольной формы размером 14 на 20 м. Будем использовать шнековый транспортер-распределитель с длиной высыпного отверстия  $L = 14$  м, диаметром  $D = 400$  мм, с частотой вращения  $n = 500$  мин<sup>-1</sup> (в соответствии с таблицей 1).

Значения переменных:

- объемная плотность зерна  $\rho_3 = 8 \cdot 10^{-6}$  г/мм<sup>3</sup>;
- коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека  $f = 0,4$ ;

- экспериментальные коэффициенты  $C_1 = 0,0144$ ;
- $C_2 = -0,0621$ ;
- шаг шнека  $l = 400$  мм;
- частота вращения  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>;
- длина высыпного отверстия  $L = 14000$  мм.

После подстановки значений в формулу (1) строится зависимость  $b = b(a)$  при  $a$ , изменяющемся от 400 до 9 мм (рис. 3).

Получившаяся зависимость позволяет строить форму высыпного отверстия по всей длине (рис. 4). Построение выполнено с сохранением получившейся зависимости  $b = b(a)$  по всей длине высыпного отверстия шнека (14 м) с преобразованием симметрии.

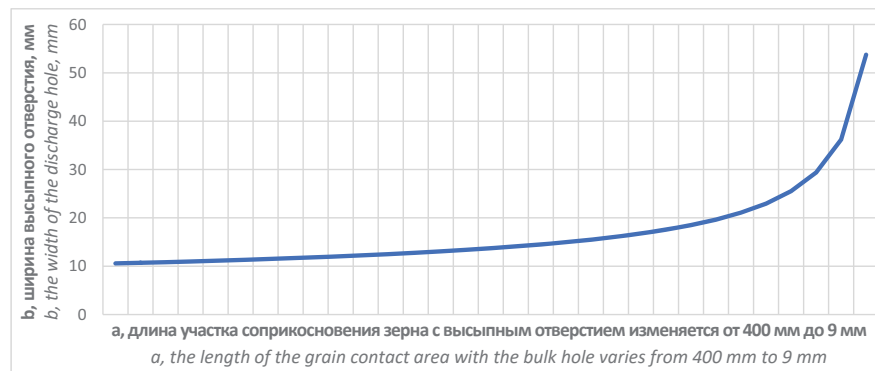


Рис. 3. Зависимость ширины высыпного отверстия  $b = b(a)$  от длины участка соприкосновения зерна с высыпным отверстием внутри одного витка шнека

Fig. 3. Relationship between the filling hole width  $b=b(a)$  and the length of the grain contact area with the filling hole inside one turn of the screw

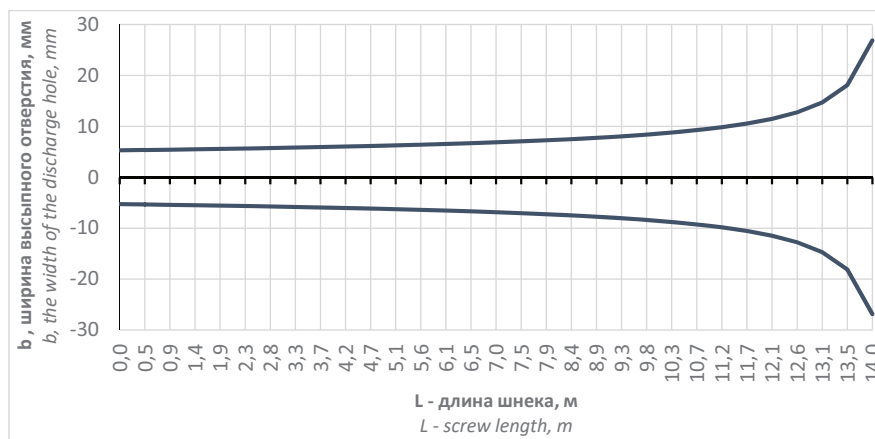


Рис. 4. Форма высыпного отверстия шнекового транспортера-распределителя зерна по всей длине

Fig. 4. Shape of the discharge hole of the screw-type conveyor-grain distributor along the entire length

### Выводы

1. Шнековый транспортер-распределитель зерна обеспечивает равномерную загрузку ёмкости.

2. Зная параметры бункера, можно моделировать параметры шнекового транспортера-распределителя: его длину, диаметр шнека, частоту вращения шнека и форму высыпного отверстия.

### Библиографический список

1. Горюшинский И.В., Мазько Н.Н. К вопросу оценки процесса загрузки емкостей сыпучими материалами // Сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых СамИИТ. Вып. 3. Самара: СамИИТ, 2001. С. 83-84.

### References

1. Goryushinskiy I.V., Maz'ko N.N. K voprosu otsenki protsessa zagruzki emkostey syuchimi materialami [On assessing the loading of containers with bulk materials]. *Sb. nauchn. tr. studentov, aspirantov i molodykh uchennykh SamIIT*. Samara, SamIIT, 2001; 3: 83-84. (In Rus.)

2. Горюшинский И.В., Варламов А.В., Варламова Н.Х. Повышение эффективности погрузочно-разгрузочных работ с зерновыми грузами // Труды Второй Международной отраслевой научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в их решении». Ростов: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2000. С. 115-118.

3. Мосина Н.Н. Устройства, улучшающие распределение сыпучего груза при его загрузке в бункер // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2006. № 3. С. 208-210.

4. Мазько Н.Н. Классификация загрузочно-распределительных устройств // Дни студенческой науки: Сборник научных трудов студентов и аспирантов. Вып. 7. Самара: СамГАПС, 2006. С. 46-47.

5. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. М.: ДеЛи принт, 2009. 718 с.

6. Lato Pezo, Aca Jovanovic, Milada Pezo, Radmilo Colovic, Biljana Loncar. Modified screw conveyor-mixers – Discrete element modeling approach, *J. Advanced Powder Technology*. 26 (2015) 1391-1399. Belgrade / Serbia. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2015.07.016>

7. Исаев Ю.М. Теоретические исследования процесса дозирования сыпучего материала // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 6-11

8. Шнековое распределительное устройство зерноочистительной машины: патент № 2399419 Российская Федерация, МПК7 В02В7/00 / А.И. Бурков, А.Л. Глушков, Н.Л. Коньшев, Д.С. Булдаков; заявл. 29.01.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.

9. Устройство для загрузки емкости сыпучим материалом: патент № 169064 Российская Федерация, МПК В65G 65/32 (2006.01) / А.И. Купреенко, И.Е. Бычков, Х.М. Исаев; заявл. 11.07.2016; опубл. 02.03.2017. Бюл. № 7.

10. Бычков И.Е., Купреенко А.И., Бычкова Т.В., Исаев Х.М. Обоснование ширины высыпающего отверстия шнекового транспортера-распределителя // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 6. С. 40-44. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2018-6-40-44>

11. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Бычкова Т.В., Бычков И.Е. Экспериментальная проверка конструктивно-режимных параметров шнекового транспортера-распределителя // Сельский механизатор. 2019. № 3. С. 12-13.

#### Критерии авторства

Бычков И.Е., Бычкова Т.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Бычков И.Е., Бычкова Т.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.07.2021

Одобрена после рецензирования 23.12.2021

Принята к публикации 23.12.2021

2. Goryushinskiy I.V., Varlamov A.V., Varlamova N.Kh. Povyshenie effektivnosti pogruzochno-razgruzochnykh rabot s zernovymi gruzami [Improving the efficiency of loading and unloading operations with grain cargo]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta i rol' molodykh v ikh reshenii"*. Rostov, RGTUPS, 2000: 115-118. (In Rus.)

3. Mosina N.N. Ustroystva, uluchshayushhie raspredelenie sypuchego gruzha pri ego zagruzke v bunker [Devices improving the distribution of bulk cargo when loaded into the bunker]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii*, 2006; 3: 208-210. (In Rus.)

4. Maz'ko N.N. Klassifikatsiya zagruzochno-raspredelitel'nykh ustroystv [Classification of loading and distributing devices]. *Dni studencheskoy nauki: sb. nauch. trudov studentov i aspirantov*. Samara, SamGAPS, 2006; 7: 46-47. (In Rus.)

5. Yukish A.E., Il'ina O.A. Tehnika i tehnologiya hraneniya zerna [Machinery and technology for grain storage]. Moscow, DeLi print, 2009: 718. (In Rus.)

6. Lato Pezo, Aca Jovanovic, Milada Pezo, Radmilo Colovic, Biljana Loncar. Modified screw conveyor-mixers – Discrete element modeling approach. *J. Advanced Powder Technology*, 2015; 26: 1391-1399. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2015.07.016>

7. Isaev Yu.M. Teoreticheskie issledovaniya processa dozirovaniya sypuchego materiala [Theoretical studies of the dosing process of bulk material]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii*, 2019; 1: 6-11. (In Rus.)

8. Burkov A.I., Glushkov A.L., Konyshev N.L., Buldakov D.S. Shnekovoe raspredelitel'noe ustroystvo zernoochistitel'noy mashiny [Screw distribution device of a grain cleaning machine]: patent No. 2399419 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 V02V7/00, 2010. (In Rus.)

9. Kupreenko A.I., Bychkov I.E., Isaev Kh.M. Ustroystvo dlya zagruzki emkosti sypuchim materialom [Device for loading a container with bulk materials]: patent No. 169064 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B65G 65/32 (2006.01), 2017. (In Rus.)

10. Bychkov I.E., Kupreenko A.I., Bychkova T.V., Isaev Kh.M. Obosnovanie shiriny vysypnogo otverstiya shnekovogo transportera-raspredelitelya [Determining the width of the screw-type conveyor-distributor discharge opening]. *Traktory i sel'hozmashiny*, 2018; 6: 40-44. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2018-6-40-44> (In Rus.)

11. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Bychkova T.V., Bychkov I.E. Eksperimental'naya proverka konstruktivno-rezhimnykh parametrov shnekovogo transportera-raspredelitelya [Experimental verification of the design and mode parameters of the screw conveyor-distributor]. *Sel'skiy mehanizator*, 2019; 3: 12-13. (In Rus.)

#### Contribution

I.E. Bychkov, T.V. Bychkova performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. I.E. Bychkov, T.V. Bychkova have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 16.07.2021

Approved after reviewing 23.12.2021

Accepted for publication 23.12.2021