

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНЫХ ВОРОШИТЕЛЕЙ ДЛЯ АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА

Г.В. Алексеев¹, А.А. Бирченко¹, И.П. Юхник¹, А.А. Дерканосова²

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия

Одной из важнейших проблем, стоящих перед отечественным агропромышленным комплексом, является сохранность выращенного и убранного сельскохозяйственного сырья продовольственного назначения. Безусловно, одним из важнейших видов такого сырья является зерно. В настоящее время накоплен богатый опыт строительства различных сооружений, предназначенных для этой цели. В зернохранилищах используют большое количество технологических приемов обеспечения предотвращения загнивания зерна, причиной чего являются повышение его температуры и влажности из-за происходящих биологических процессов в насыпах продукта. Одним из выходов из такой ситуации является обеспечение активного вентилирования зернохранилищ. Среди разнообразных конструктивных решений, реализующих такой метод повышения сохранности зернового продукта, является использование специальных ворошителей. Значительное количество таких устройств содержит в своем составе специальные шнеки, от конструкции и режимов эксплуатации которых существенно зависит снижение отходов зерна после хранения. К наиболее ответственным задачам при совершенствовании конструкций ворошителей относится их анализ с точки зрения нагруженности витков в зависимости от влажности зерна и характера его распределения по их ширине. Нагрузки, при которых эксплуатируются эти устройства, напрямую связаны с модельными представлениями возможной связи влажности с характером действия равномерной нагрузки или с геометрией рассредоточения сосредоточенных сил, которую можно интерпретировать как налипание зерна на определенных участках витка. Решение проблем взаимосвязки конструктивных параметров отдельных элементов хранилищ с активным вентилированием с режимами перемещения теплового агента многократно подвергалась моделированию. Задача определения оптимальной связи конструктивных и технологических свойств шнековых ворошителей является, таким образом, актуальной задачей.

Ключевые слова: зернохранилища, загнивание зерна, биологические процессы, насыпи продукта, активное вентилирование, ворошители, шнек, конструкция, режимы эксплуатации.

Введение

Достижение низкой убыли веса зерна при хранении непосредственно связано с предотвращением резкого увеличения энергии дыхания зерна пшеницы, которое возникает при увеличении влажности до значения более 15 %. Одновременно выявлено, что наряду с дыханием в сильно влажном зерне проявляется жизнедеятельность вредных микроорганизмов, под влиянием которых зерно гниет и становится затхлым. Этих эффектов можно избежать организацией активного вентилирования зернохранилищ, где зерно сохраняется. Таким образом, приблизиться к максимальному снижению трат сухого вещества можно хорошо организованным наблюдением за работой оборудования, отвечающего за венти-

лирование зерна, и правильным выбором режимов его эксплуатации, также как при использовании воздушных потоков при сушке. Достижению эффектов положительного влияния теплоносителя на хранящееся зерно посвящен целый ряд разработок [1–4], в которых выбираются разнообразные вариации расположения перфорированных воздуховодов с приводами ворошителей, а также конструктивные решения для направления потоков зерновой массы для устранения ее налипания на отдельные участки перемешивающих элементов [5–9].

Цель исследований

Получить экспериментальные зависимости от степени влажности и распределения зерна по ширине витка шнека.

Объект и методы исследования

В настоящей статье в качестве объекта исследования выбрана одна из схем активного вентилирования, использующая модель шнекового ворошителя, установленного вдоль вертикальной оси зернохранилищ с цилиндрическим корпусом (рис. 1).

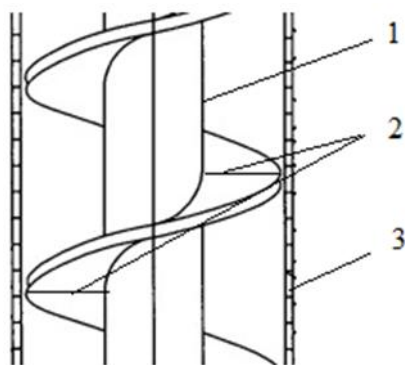


Рис. 1. Принципиальная схема шнекового ворошителя: 1 – центральный цилиндрический полый корпус; 2 – витки шнека с прямолинейной образующей; 3 – отверстия в корпусе для вентилирования

Активное вентилирование обеспечивается за счет того, что в устройстве для вентилирования сельскохозяйственного продукта в период хранения, содержащем размещенные в общем корпусе внутренний и наружный полые перфорированные цилиндры с закрепленными на них винтовыми лопастями и воздухопровод, внутренний и внешний перфорированные цилиндры размещены соосно и жестко скреплены друг с другом, а винтовые лопасти, закрепленные на наружных поверхностях перфорированных цилиндров, представляют собой винты противоположной нарезки, при этом через сквозные окна производится распределение продукта между внутренней и наружной полостями вентилирования [10]. Необходимый эффект снижения температуры и влажности при «дыхании» зерна в описанной конструкции достигается за счет того, что при периодическом вентилировании приводятся во вращение оба цилиндра с винтовыми лопастями (рис. 2). Из-за их разнонаправленной ориентации внутренний цилиндр поднимает хранимый продукт в верхнюю часть пространства между цилиндрами и через направитель перегружает продукт на лопасти внешнего цилиндра, который за счет противоположной нарезки перемещает продукт

вниз. Одновременно через воздухопровод со снятой крышкой поступает под давлением воздух необходимой температуры и вентилирует через отверстия перфорации полости с хранимым продуктом. Перемещение продукта и не только зерна исключает его слеживаемость, а циркуляция воздуха с удалением черезгрузочные отверстия обеспечивает его необходимые температуру и влажность [11–13].

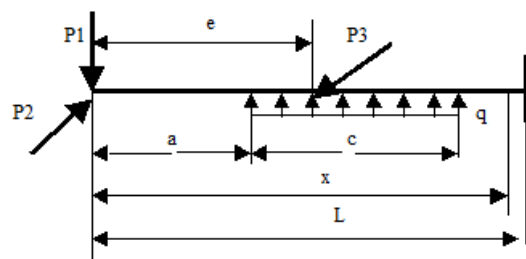


Рис. 2. Расчетная схема лопасти шнека

Анализ нагруженности лопасти можно провести в Mathcad по специальной программе (рис. 3)

При проведении расчетов приняты следующие величины параметров: $L = 3$ м, $e = 2$ м, $c + a = L$.

Полученные результаты и их обсуждение

Анализ результатов расчета позволяет отметить несколько важных особенностей работы ворошителя [14]. Так, например, изменение величины нагрузки q , связанной прежде всего с плотностью упаковки зерна в межвитковом зазоре или с влажностью, смещает максимум изгибающего момента в сторону заделки, то есть при работе с влажным зерном важна прочность крепления витков шнека к внутреннему корпусу. С другой стороны, увеличение расстояния a и уменьшение c требует усиления периферии витка шнека, поскольку максимум изгибающего момента сдвигается в сторону схода зерна с витка шнека [15, 16].

Действующие на виток шнекового ворошителя нагрузки свидетельствует о том, что успешная работа шнекового ворошителя зернохранилища с активным вентилированием зависит как от конструкции самого шнека, так и от режимов его эксплуатации. В последнем случае большую роль играет влажность хранимого зерна. Аналогичные расчеты могут быть проведены для варьирования величин P_1 , P_2 , P_3 , ответственных за назначение скорости вращения шнека и напора подаваемого для вентилиции воздуха [17, 18].

$$\begin{aligned}
 H &:= N & m &:= m & \text{град} &:= \text{deg} & \text{кН} &:= 1000 \text{ N} \\
 \text{мм} &:= 0.001 \cdot m & \text{см} &:= 0.01 \cdot m & \text{МПа} &:= 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{м}^2} \\
 P1 &:= 3 \cdot \text{кН} & P2 &:= 2 \cdot \text{кН} & P3 &:= 6 \cdot \text{кН} & q &:= 2 \cdot \frac{\text{кН}}{\text{м}} \\
 a &:= 2 \cdot \text{м} & c &:= 3 \cdot \text{м} & e &:= 4 \cdot \text{м} & L &:= 6 \cdot \text{м} & \sigma_{\text{доп}} &:= 10 \cdot \text{МПа} & \text{дерево} \\
 Mz(x) &:= \begin{cases} P1 \cdot x & \text{if } x \leq a \\ \left[P1 \cdot x - 0.5 \cdot q \cdot (x - a)^2 \right] & \text{if } a < x \leq a + c \\ \left[P1 \cdot x - q \cdot c \cdot \left(x - a - \frac{c}{2} \right) \right] & \text{otherwise} \end{cases} & x &:= 0, \frac{L}{25} \dots L \\
 My(x) &:= \begin{cases} (-P2 \cdot x) & \text{if } x < e \\ [-P2 \cdot x + P3 \cdot (x - e)] & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 3. Программа для ЭВМ

Выводы

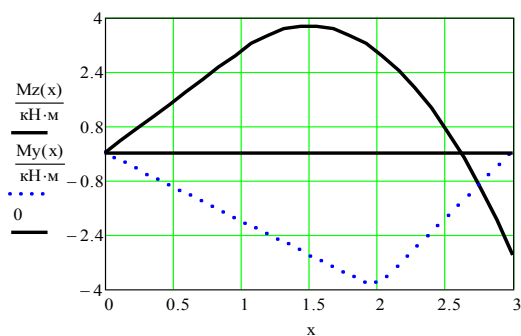
Проведенный графический анализ результатов числового эксперимента позволяет оценить характер изменения нагрузок, действующих на лопасть шнекового ворошителя, от степени влажности и распределения зерна по ширине витка шнека. Особенно важным представляется результат (рис. 4), свидетельствующий о том, что влажное зерно ($q = 6 \text{ Кн/м}$) при одной и той же геометрии насыпи ($a = \text{const}$, $c = \text{const}$) делает изгибающий момент знакопеременным, что требует повышенного внимания к креплению лопастей к оси шнека.

С другой стороны (рис. 5), налипание более влажного зерна ближе к краю лопасти увеличивает изгибающий момент в зоне крепления лопасти, а смещение его к оси вызывает экстремальные (хоть и сравнительно небольшие нагрузки) в срединном сечении. Это ре-

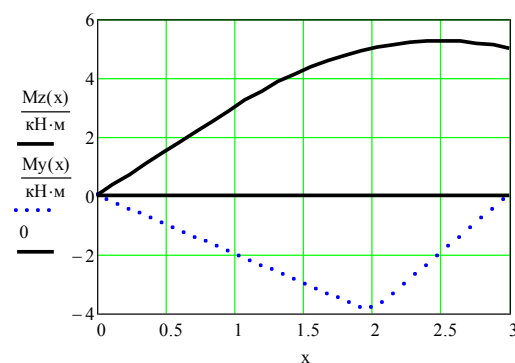
зультаты могут быть использованы при конструировании шнековых ворошителей для зон земледелия с различной влажностью собираемого зерна закладываемого на хранение.

Литература

1. Sharp R.A. Review of Low Temperature Drying Simylation Models // J. Agr. Eng. Res. – 1982. – V. 27, № 3. – P. 169–190.
2. Mathematical model for drjing of absorptive porous materials. Inokoma Mironobu, Okazaki Mono, Toli rijozo // Aeto poljtectn., schrd.chem. Technol. and Met. ser. – 1985. – № 160. – P. 32.
3. Bakker-Arkema F.W. Selected aspects of Crop Processing and Storage: a review// J. Agr. Eng. Res. – 1984. – V. 30, № 1. – P. 1–2.
4. Lis H., Lis T. Wyznaczanie wspolczynnikow przeplywu ciepla masy wa warstwie nasion // Roczn. Nauk. Rol. – 1985. – 76, № 1. – P. 189–200.



а) $q = 6 \text{ Кн/м}$



б) $q = 4 \text{ Кн/м}$

Рис. 4. Характер изменения изгибающего момента от величины q

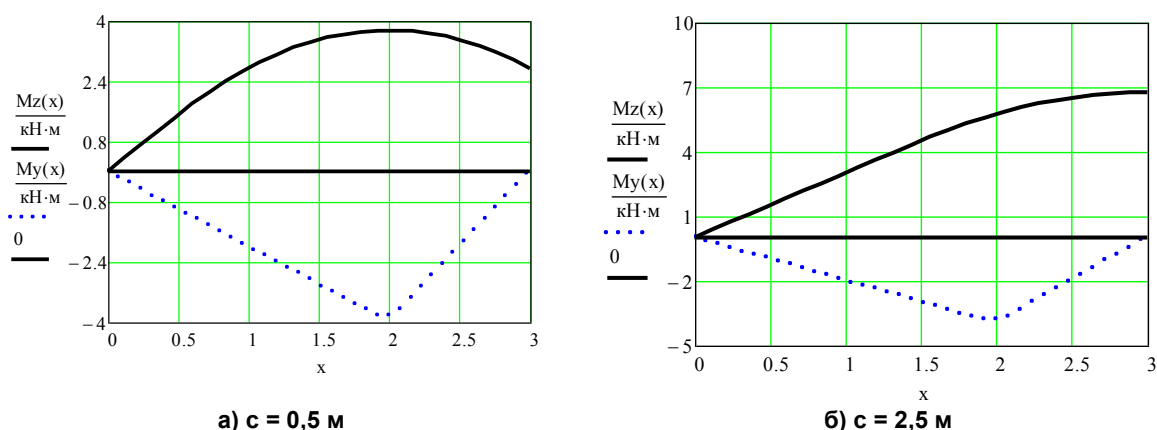


Рис. 5. Характер изменения изгибающего момента от величины c ($a+c=3$)

5. Особенности сушки порошковых пищевых продуктов в псевдоожиженном режиме / Г.В. Алексеев, О.А.Егорова, А.Г. Леу, А.А. Дерканосова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 4. – С. 34–40. DOI: 10.14529/food170405

6. Кечкин И.А., Разворотнев А.С., Гавриленков Ю.Д. Режимы хранения и вентилирования зерна пшеницы в металлических силосах большой вместимости // Хлебопродукты. – 2017. – № 11. – С. 58.

7. Зейрук В.Н., Мальцев С.В., Васильева С.В., Бызов В.А. Современные производственные факторы, определяющие биологическую и экономическую эффективность хранения картофеля // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. – № 3. – С. 20–28.

8. Alekseev G.V., Romanchikov S.A., Leu A.G., Kholiavin I.I. Stable operation of food enterprises in the conditions of financial and economic instability // Ползуновский вестник. – 2017. – № 3. – Р. 27–32.

9. Патент РФ № 2121 258 Устройство для вентилирования зерна или другого сыпучего материала / М.С. Титов, Б.И. Изаак. А01F 25/08 (1995.01) Заявлено: 25.04.1996, опубликовано: 10.11.1998.

10. Патент РФ № 2121 257 Агрегат для приема, сушки и хранения зерна / Н.В. Шашкин, Т.Г. Хадеев. А01F 12/60 (1995.01) Заявлено: 31.07.1997, опубликовано: 10.11.1998.

11. Патент РФ № 2122 313 Зернохранилище / А.С. Криворотов. А01F 25/08 (1995.01). Заявлено: 14.12.1996, опубликовано: 27.11.1998.

12. Патент РФ № 2 355 963 Бункер ак-

тивного вентилирования / О.В. Пиляева, Н.В. Демский. F26B 17/12 (2006.01), заявлено: 09.01.2008, Опубликовано: 20.05.2009, Бюл. № 14.

13. Калашиников Г.В., Атисков И.М. Гидродинамические особенности осаждения частиц процесса декантации при рекуперации вторичных вод // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 22–26. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-22-26

14. Шишацкий Ю.И., Лавров С.В., Голубятников Е.И. Научное обоснование замены макрокинетической задачи микрокинетическим уровнем решения при моделировании процесса сушки дисперсных материалов в псевдоожиженном слое // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 4. – С. 59–61.

15. Дерканосова А.А. Анализ перспективы производства отечественных кормовых препаратов // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 2 (52). – С. 194–196.

16. Алексеев Г.В., Мосина Н.А. Абразивная обработка картофеля и овощей с дискретным энергоподводом: монография. – Саратов, 2013.

17. Родионова Н.С., Дерканосова А.А. Изучение потребительских свойств композиционных смесей для мучных кондитерских изделий // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 1 (51). – С. 98–99.

18. Алексеев Г.В., Дмитриченко М.И., Гончаров М.В. Ресурсосберегающие направления развития абразивной обработки пищевых материалов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2013. – № 4 (26). – С. 57–61.

Алексеев Геннадий Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры «Процессы и аппараты пищевых производств», Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), gva2003@mail.ru

Бирченко Артем Андреевич, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), topgear67@mail.ru

Юхник Иван Петрович, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), romanchkovspb@mail.ru

Дерканосова Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий (г. Воронеж), aa-derk@ya.ru

Поступила в редакцию 17 мая 2020 г.

DOI: 10.14529/food200308

FEATURES OF CONSTRUCTION OF WORM TROUSERS FOR ACTIVE VENTILATION OF GRAIN

G.V. Alekseev¹, A.A. Birchenko¹, I.P. Yukhnik¹, A.A. Derkanosova²

¹ St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russian Federation

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

One of the most important problems facing the domestic agro-industrial complex is the safety of grown and harvested agricultural raw materials for food purposes. Of course, one of the most important types of such raw materials is grain. At present, rich experience has been accumulated in the construction of various structures designed for this purpose. In grain storages, a large number of technological methods are used to ensure the prevention of rotting of the grain, the reason for which is an increase in its temperature and humidity due to the ongoing biological processes in the product embankments. One way out of this situation is to ensure active ventilation of the granaries. Among the various design solutions that implement this method of improving the preservation of the grain product is the use of special agitators. A significant number of such devices contains special screws, the design and operating conditions of which significantly reduce the waste of grain after storage. The most important tasks in improving the design of agitators include their analysis from the point of view of the loading of the turns depending on the moisture content of the grain and the nature of its distribution over their width. The loads at which these devices are operated are directly related to model representations of the possible connection of humidity with the nature of the action of a uniform load or with the geometry of the dispersion of concentrated forces, which can be interpreted as sticking of grain in certain sections of the turn. The task of determining the optimal relationship between the structural and technological properties of such devices is, therefore, an urgent task.

Keywords: granaries, rotting of grain, biological processes, product embankments, active ventilation, agitators, auger, design, operation modes.

References

1. Sharp R.A. Review of Low Temperature Drying Simulation Models. *J. Agr. Eng. Res*, 1982, vol. 27, no. 3, pp. 169–190.
2. Mathematical model for drying of absorptive porous materials. Inokoma Mironobu, Okazaki Mono, Toli rijozo. *Aeto poljtectn., schrd.chem. Technol. and Met. ser.*, 1985, no. 160, p. 32.
3. Bakker-Arkema F.W. Selected aspects of Crop Processing and Storage: a review. *J. Agr. Eng. Res.*, 1984, vol. 30, no. 1, pp. 1–2.
4. Lis H., Lis T. Wyznaczanie waspolszynnikow przeplywuciepla massy wa warstwie nasion. *Rocz. Nauk. Rol.*, 1985, vol. 76, no. 1, pp. 189–200.
5. Alekseev G.V., Egorova O.A., Leeuw A.G., Derkanosova A.A. Specifics of Powdered Food Products' Drying in a Fluidized Mode. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 34–40. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170405
6. Kechkin I.A., Razvorotnev A.S., Gavrichenkov Yu.D. [Modes of storage and ventilation of wheat grain in metal silos of large capacity]. *Khleboprodukty* [Bread products], 2017, no. 11, p. 58. (in Russ.)
7. Zeyruk V.N., Mal'tsev S.V., Vasil'eva S.V., Byzov V.A. [Modern production factors that determine the biological and economic efficiency of potato storage]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2019, no. 3, pp. 20–28. (in Russ.)
8. Alekseev G.V., Romanchikov S.A., Leu A.G., Kholiavin I.I. Stable operation of food enterprises in the conditions of financial and economic instability. *Polzunovskiy vestnik*, 2017, no. 3, pp. 27–32.
9. Patent RF № 2121 258 *Ustroystvo dlya ventilirovaniya zerna ili drugogo sypuchego materiala* [RF patent No. 2121 258 A device for ventilating grain or other bulk material]. Titov M.S., Izaak B.I. A01F 25/08 (1995.01) A01F 25/08 (1995.01) Declared: 04.25.1996, published: 11.10.1998
10. Patent RF № 2121 257 *Agregat dlya priema, sushki i khraneniya zerna* [Patent RF № 2121 257. A unit for receiving, drying and storing grain]. Shashkin N.V., Khadeev T.G. A01F 12/60 (1995.01) Declared: 07/31/1997, published: 11/10/1998.
11. Patent RF № 2122 313 *Zernokhranilishche* [RF patent No. 2122 313 Grain storage]. Krivorotov A.S. A01F 25/08 (1995.01) Zayavleno: 14.12.1996, opublikovano: 27.11.1998
12. Patent RF № 2 355 963 *Bunker aktivnogo ventilirovaniya* [RF patent № 2 355 963 Active ventilation hopper]. Pilyaeva O.V., Demskiy N.V. F26B 17/12 (2006.01), claimed: 01/09/2008, Published: 05/20/2009, bull. Number 14.
13. Kalashnikov G.V., Atiskov I.M. [Hydrodynamic properties of sedimentation particles decantation process in secondary recovery water]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2016, no. 4, pp. 22–26. (in Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-22-26
14. Shishatskiy Yu.I., Lavrov S.V., Golubyatnikov E.I. [Scientific justification for the replacement macrokinetic tasks microkinetic is helping to level solutions for modeling, Institute of process of drying of dispersed materials in fluidized bed]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2012, no. 4, pp. 59–61. (in Russ.)
15. Derkanosova A.A. [Analysis of the prospects for the production of domestic feed preparations]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2012, no. 2 (52), pp. 194–196. (in Russ.)
16. Alekseev G.V., Mosina N.A. *Abrazivnaya obrabotka kartofelya i ovoshchey s diskretnym energopodvodom* [Abrasive processing of potatoes and vegetables with a discrete energy supply]. Saratov, 2013.
17. Rodionova N.S., Derkanosova A.A. [The study of consumer properties of composite mixtures for flour confectionery study of consumer properties of composite mixtures for flour confectionery products]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], 2012, no. 1 (51), pp. 98–99. (in Russ.)
18. Alekseev G.V., Dmitrichenko M.I., Goncharov M.V. [Resource-saving directions for the development of abrasive processing of food materials]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of service], 2013, no. 4 (26), pp. 57–61. (in Russ.)

Gennady V. Alexeev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Processes and Upgrades of Food Production”, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, gva2003@mail.ru

Artem A. Birchenko, graduate student, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, essergacheva@mail.ru

Ivan P. Yukhnik, graduate student, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, romanchkovspb@mail.ru

Anna A. Derkanosova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Service and Restaurant Business, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, aa-derk@ya.ru

Received May 17, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Особенности конструкции червячных ворошителей для активного вентилирования зерна / Г.В. Алексеев, А.А. Бирченко, И.П. Юхник, А.А. Дерканосова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 66–72. DOI: 10.14529/food200308

FOR CITATION

Alekseev G.V., Birchenko A.A., Yukhnik I.P., Derkanosova A.A. Features of Construction of Worm Trousers for Active Ventilation of Grain. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 66–72. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200308
