

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ КОНТАКТНОГО ТИПА

С. В. Чекайкин, Г. В. Шабурова

В работе приведены аргументы по обоснованию рациональной конструктивно-технологической схемы энергоэффективной зерносушилки контактного типа. На основе анализа теории сушки зерна сделан вывод, что для сушилки с контактным способом подвода теплоты от ее источника к обрабатываемому материалу весьма перспективно конструктивно-технологическая схема, при которой в процессе работы данного оборудования обеспечивается единичный слой высушиваемого зерна.

**Ключевые слова:** зерно, тепловая обработка, энергоэффективная зерносушилка, единичный слой, рабочий орган.

### Введение

Тепловая обработка зерна относится к востребованным и вместе с тем весьма энергоемким процессам перерабатывающей промышленности. В связи с этим повышение энергоэффективности послеуборочной сушки зерна при закладке его на хранение, а также с целью повышения технологических свойств сырья, применяемого в мукомольном и крупяном производствах, позволит получить значительный экономический эффект [1, 3, 4, 11, 12].

Большинство зерноперерабатывающих предприятий Российской Федерации эксплуатируют достаточно современное высокопроизводительное оборудование зарубежного и отечественного производства, которое сложно адаптировать к условиям малотоннажных производств. С другой стороны, применяемое при переработке относительно малых объемов сырья оборудование, обычно не отличается высокими технико-экономическими показателями. В первую очередь это относится к повышенным удельным затратам энергии на выполнение технологического процесса, а также высокой удельной материалоемкости оборудования.

Например, по данным ученых Ульяновской ГСХА удельную энергоемкость процесса сушки с помощью электрических контактных зерносушилок можно довести до 10–12 кВт ч/т, что примерно в 5 раз меньше, чем у серийно выпускаемой сушилки ПУФС-0,4. По их мнению, весьма перспективным направлением в проектировании и промышленном освоении зерносушилок является разработка мини-установок, потребляющих не-большую мощность, простых в эксплуатации и техническом обслуживании, способных выполнять несколько технологических операций, а главное – имеющих невысокую стоимость.

При этом они отмечают, что реализация для этих целей конвективного способа подвода теплоты к зерну является не перспективным из-за сложности, а в отдельных случаях и невозможности обе-

спечить требуемый уровень энергоэффективности тепловых конвекционных процессов. В связи с этим в последние годы появились работы, в которых обоснованы несколько конструктивно-технологических схем установок для тепловой обработки зерна (УТОЗ) контактного типа [4, 8, 14].

УТОЗ, в которой подвод теплоты от ее источника к обрабатываемому материалу осуществляется контактным способом, в общем случае включает в себя цилиндрический кожух, с соосно расположенным в нем транспортирующим рабочим органом, загрузочный бункер, выгрузное окно, а также охлаждающее устройство, состоящее из вентилятора и воздуховода.

В качестве транспортирующего рабочего органа в большинстве УТОЗ применен шнек, который хорошо зарекомендовал себя в различных конструкциях оборудования для переработки сыпучих зерновых продуктов [2, 5–7, 10].

Нагрев обрабатываемого материала в этой установке осуществляется с помощью электрических нагревательных элементов [4, 8, 14].

**Цель исследования** – обоснование рациональной конструктивно-технологической схемы энергоэффективной зерносушилки с контактным способом подвода теплоты.

**Задача исследования** – на основе теоретического анализа рабочего процесса сушильной установки контактного типа предложить рациональную конструктивно-технологическую схему, позволяющую повысить ее энергоэффективность.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования является сушилка с контактным способом подвода теплоты от ее источника к обрабатываемому материалу.

### Результаты и их обсуждение

Аналитическое выражение закона Дальтона дает основание утверждать, что скорость процесса

сушки при внешней диффузии, т. е. движение влаги в виде водяных паров с поверхности влажного зерна в окружающую среду зависит в основном от разности давления паров, находящихся на поверхности высушиваемого зерна и в окружающей среде [4, 13]

$$\frac{dm}{d\tau} = K \cdot S \frac{P_0 - P_n}{P_b}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса испарившейся влаги;

$\tau$  – время сушки;

$K$  – коэффициент, учитывающий гидродинамические условия на поверхности испарения высушиваемого зерна;

$S$  – площадь поверхности испарения зерна;

$P_0$  – давление насыщенного пара на поверхности зерна (при температуре поверхности материала);

$P_n$  – парциальное давление в окружающей среде;

$P_b$  – барометрическое давление в окружающей среде.

Из уравнения (1) следует, что скорость испарения влаги будет возрастать в случае увеличения коэффициента, учитывающего гидродинамические условия на поверхности испарения зерна, площади его поверхности, разности давлений  $P_0$  и  $P_n$ , характеризующей дефицит влажности воздуха и вычисленный по температуре испаряющей поверхности, а также при уменьшении барометрического давления в окружающей среде. При этом влияние барометрического давления в окружающей среде обусловлено тем, что с его ростом затрудняется отрыв молекул воды от испаряющей поверхности.

При наличии внутренней диффузии, т. е. движения влаги в виде воды или водяных паров из внутренних слоёв зерновки к её поверхности, скорость процесса во многом зависит от вида и свойств высушиваемой зерновой культуры и может быть представлено в виде уравнения [4, 9]

$$\frac{dm}{d\tau} = a_m \cdot \rho_0 \cdot \nabla U - a_m^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla T - K_p \cdot \nabla P, \quad (2)$$

где  $a_m$  – коэффициент диффузии влаги;

$\rho_0$  – плотность сухого тела;

$\nabla U$  – градиент влажности;

$a_m^T$  – коэффициент термодиффузии;

$\nabla T$  – градиент температуры;

$K_p$  – коэффициент молярного переноса под действием градиента давления;

$\nabla P$  – градиент давления.

Следует отметить, что во время сушки обычно имеют место оба вида диффузии влаги, однако в отдельные периоды процесса степень влияния каждого из них различна.

Скорость передачи теплоты от стенки кожуха сушилки с контактным подводом теплоты к материалу выражается уравнением [4, 5]:

$$I_Q = \alpha_T \cdot S \cdot (t_{GP} - t_Z), \quad (3)$$

где  $I_Q$  – интенсивность передачи теплоты от

стенки кожуха УТОЗ к высушиваемому зерну, Дж/ч;

$\alpha_T$  – коэффициент теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$S$  – площадь поверхности контакта

подлежащего тепловому воздействию зерна с кожухом УТОЗ, м<sup>2</sup>;

$t_{GP}$  – температура внутренней поверхности

кожуха (греющей поверхности), °С.

$t_Z$  – температура обрабатываемого зерна, °С.

В уравнении (3) коэффициент теплообмена (теплоотдачи) характеризует интенсивность протекания процесса теплового воздействия и зависит от свойств зернового материала (формы и размеров), скорости движения агента сушки и др.

Для установок контактного типа основным фактором, влияющим на этот коэффициент, является площадь поверхности контакта обрабатываемого зерна с греющей поверхностью (поверхности теплообмена). При этом, чем меньший объём зернового материала приходится на единицу площади его поверхности, тем интенсивнее проходит теплообмен. Например, при сушке мелкосеменных зерновых культур площадь теплообмена возрастает.

В связи с тем, что при сушке зернового материала в неподвижном слое не вся поверхность его частиц участвует в процессе теплообмена, увеличение активной площади теплообмена до величины, близкой к общей поверхности зернового материала имеет существенное практическое значение. Обычно это достигается сушкой в кипящем (псевдооживленном) слое, а также при сушке зерна единичном слоем и при постоянном движении и перемешивании обрабатываемого зерна [4, 15].

Следовательно, повышения скорости передачи теплоты от греющей поверхности установки к зер-

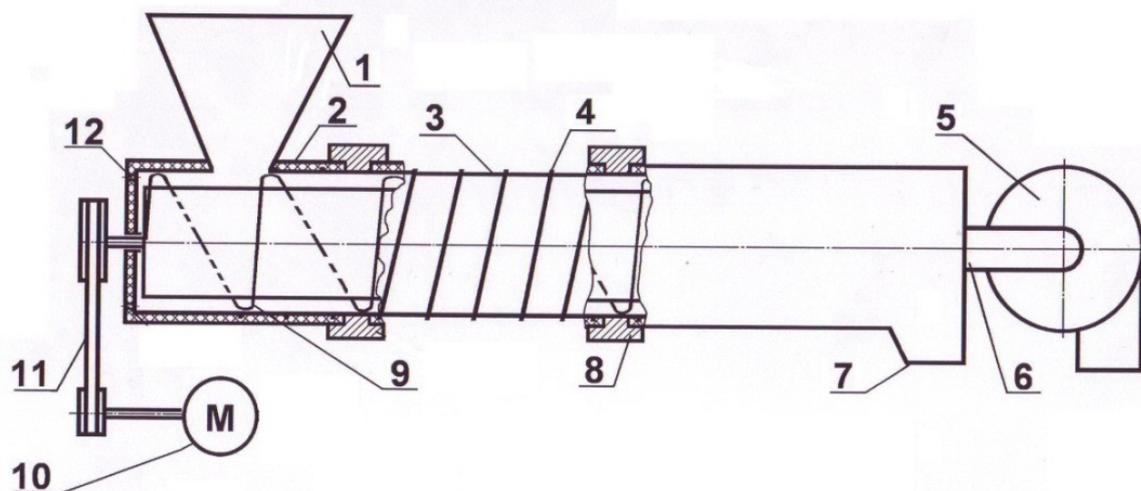


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема сушилки для зерна:

1 – загрузочный бункер; 2 – теплоизолирующий материал; 3 – кожух; 4 – нагревательный элемент; 5 – вентилятор; 6 – воздуховод; 7 – выгрузное окно; 8 – кольца; 9 – транспортирующий рабочий орган; 10 – электродвигатель; 11 – ременная передача

ну может быть реализовано в сушилке, в которой зерно движется слоем с толщиной, не превышающей размеры единичного зерна, а греющая поверхность представляет собой бесконечную плоскость.

На основе приведенной выше научной концепции разработана конструкция сушилки, в процессе работы которой обеспечивается минимально возможная толщина обрабатываемого слоя зерна [8, 14].

Сушилка включает в себя цилиндрический кожух 3 (рис. 1), с размещенным в нем рабочим органом, загрузочный бункер 1, охлаждающее устройство 5 с воздуховодом 6 и выгрузное окно 7. Для уменьшения потерь тепла при работе кожуха сушилки покрыт слоем теплоизолирующего материала 2.

Транспортирующий рабочий орган 9 размещен в кожухе и представляет собой шнек, витки которого имеют перфорацию и изготовлены в виде эластичного профиля.

В межвитковом пространстве шнека установлена сменная лента (на рис. не показана), выполненная из теплоизоляционного материала и имеющая на своей наружной поверхности светоотражающее покрытие.

С помощью ленты между ее поверхностью и внутренней полостью кожуха образовано рабочее пространство, в котором перемещается обрабатываемый материал. В зависимости от обрабатываемой зерновой культуры (размеров зерна) в сушилке устанавливается сменная лента определенной толщины, что обеспечивает необходимый рабочий зазор в рабочей камере.

Транспортирующий рабочий орган получает вращение от электродвигателя 10 через ременную передачу 11. Тиристорная система управления электродвигателем позволяет в широких пределах бес-

ступенчато регулировать частоту вращения транспортирующего рабочего органа, а значит и время нахождения обрабатываемого материала в рабочей камере сушилки. Витки шнека выполнены перфорированными, с диаметром перфорации, не превышающим минимальный размер высушиваемого зерна.

Кожух 3 выполнен составным, причем его составные части разделены между собой кольцами 8, изготовленными из теплоизоляционного материала. Каждая часть кожуха 3 снабжена индивидуальным нагревательным элементом 4. Торцевая поверхность кожуха 3 со стороны загрузочного бункера 1 имеет отверстия 12.

Охлаждающее устройство включает в себя вентилятор 6 и воздуховод 7.

Рабочий процесс сушилки осуществляется следующим образом. После включения нагревательных элементов сушилки и достижения требуемой температуры в ее рабочей камере, обрабатываемое зерно с помощью заслонки в загрузочном бункере подается к транспортирующему рабочему органу. Шнек перемещает зерно к рабочей камере, где оно нагревается до необходимой температуры, и далее поступает к выгрузному окну.

Выделяющийся из зерна водяной пар воздушным потоком, создаваемым вентилятором, удаляется за пределы сушилки.

### Выводы

Для сушилки с контактным способом подвода теплоты от ее источника к обрабатываемому материалу, весьма перспективна конструктивно-технологическая схема, при котором в процессе работы данного оборудования обеспечивается единственный слой высушиваемого зерна.

### Список литературы

- [1] Байкин, С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьев. Под ред. А. А. Курочкина. М.: КолосС, 2007. – 445 с.
- [2] Денисов, С. В. Определение пропускной способности зоны загрузки пресс-экструдера / С. В. Денисов, В. В. Новиков, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009, – № 12. – С. 73–76.
- [3] Дипломное проектирование по механизации переработки сельскохозяйственной продукции / А. А. Курочкин, И. А. Спицын, В. М. Зимняков и др. Под ред. А. А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 424 с.
- [4] Курдюмов, В. И. Тепловая обработка зерна в установках контактного типа / В. И. Курдюмов, А. А. Павлушин, Г. А. Карпенко, С. А. Сутягин. – Ульяновск: УГСХА им. П. А. Столыпина, 2013. – 290 с.
- [5] Курочкин, А. А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, В. М. Зимняков. Под ред. А. А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 320 с.
- [6] Курочкин, А. А. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков, С. В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10). – С. 46–55.
- [7] Курочкин, А. А. Обоснование рациональных параметров шнека пресс-экструдера в зоне загрузки / А. А. Курочкин, В. В. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10). – С. 123–127.
- [8] Курочкин, А. А. Энергосберегающая зерносушилка контактного типа. / А. А. Курочкин, А. Б. Терентьев, С. В. Чекайкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 06 (22). – С. 197–200.
- [9] Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, В. М. Зимняков, А. Л. Мишанин, В. В. Новиков, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов. – Пенза, 2015. – 181 с.
- [10] Новиков, В. В. Определение объемного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера. / В. В. Новиков, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Н. А. Харыбина, Д. Н. Азиаткин. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011, – № 1 (75). – С. 91–94.
- [11] Оборудование перерабатывающих производств / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. М. Зимняков, П. К. Воронина. М.: ИНФРА-М, 2015. – 363.
- [12] Основы проектирования и строительства перерабатывающих предприятий / А. С. Гордеев, А. И. Завражнов, А. А. Курочкин и др. Под ред. А. И. Завражного. – М.: Агроконсалт, 2002. – 492 с.
- [13] Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Г. В. Шабурова // Монография. – Пенза, 2015. – 182 с.
- [14] Пат. 2402910 Российская Федерация МПК7 А23В9/08, F26В11/00. Устройство для сушки зерна / заявители: А. Б. Терентьев, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, С. В. Тимохин, Е. И. Кудашов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА. – № 2008149492/13 заявл. 15.12.2008; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31. – 7 с.
- [15] Пат. 2575491 Российская Федерация МПК7 F26В17/10. Установка для сушки сыпучих материалов в восходящем потоке продуктов горения биогаза или попутного газа / заявители: А. Б. Терентьев, С. В. Чекайкин, К. Ю. Мокроусова, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. М. Голошапов, П. К. Воронина; патентообладатель ООО НТК «Эврика!» – № 2013133203/06 заявл. 16.07.2013; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5. – 5 с.

## THE JUSTIFICATION OF IS CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SCHEME OF ENERGY EFFICIENT DRYER CONTACT TYPE

*S. V. Chekaykin, G. V. Shaburova*

The paper presents arguments for the justification of the rational constructive-technological scheme of energy efficient dryer contact type. Based on the analysis of the theory of drying grain it is concluded that for the dryer with the contact method of supplying heat from its source to the processed material a very promising design, whereby in the operation of equipment provided by a single layer of the dried grain.

*Keywords: grain, processing, energy-efficient grain dryer, single layer, working on.*

## References

- [1] Baiken, S. V. Technological equipment for processing of crop production / S. V. Baiken, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, A. S. Afanasyev. Under the editorship of A. A. Kurochkin. Moscow: KolosS, 2007.– 445 p.
- [2] Denisov, S. V. Determining the capacities of the loading area of the press-extruder / S. V. Denisov, V. V. Novikov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova. Bulletin of Altai state agrarian University.– 2009,– № 12.– P. 73–76.
- [3] Graduate design for mechanization of processing of agricultural products / A. A. Kurochkin, I. A. Spitsyn, V. M. Zimnyakov and etc. Under the editorship of A. A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 424 p.
- [4] Kurdyumov, V. I. Thermal processing of grain in the units of the contact type / V. I. Kurdyumov, A. A. Pavlushin, G. A. Karpenko, S. A. Sutyagin.–Ulyanovsk: ULYANOVSK them. P. A. Stolypin, 2013.– 290 p.
- [5] Kurochkin, A. A. Fundamentals of calculating and designing machines and devices of food processing industry /A. A. Kurochkin, V. M. Zimnyakov. Under the editorship of A. A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 320 p.
- [6] Kurochkin, A. A. Methodological aspects of theoretical research extruder machines for processing starch-containing plant raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov, S. V. Denisov // XXI century: results and problems of the past with plus.– 2013.– № 06 (10).–P. 46–55.
- [7] Kurochkin, A. A. Substantiation of rational parameters of the screw press-extruder in the loading zone / A. A. Kurochkin, V. V. Novikov// XXI century: results and problems of the past with plus.– 2013.– № 06 (10).–P. 123–127.
- [8] Kurochkin, A. A. Energy-Saving dryer is of the contact type. / A. A. Kurochkin, A. B. Terent'ev, S. V. Chekalkin // XXI century: results and problems of the past with plus.– 2014.– № 06 (22).–P. 197–200.
- [9] Scientific support to the actual directions in the development of the edible thermoplastic extrusion / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, V. M. Zimnyakov, mishanin A. L., V. V. Novikov, G. V. Shaburova, D. I. Frolov.–Penza, 2015.– 181 p.
- [10] Novikov, V. V. Determination of the volumetric flow rate of extrudate in a zone of single-screw extrusion press extruder. / V. V. Novikov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, N. A. Kharybina, D. N. Aziatki. // Bulletin of Altai state agrarian University.– 2011,– № 1 (75).–P. 91–94.
- [11] The Equipment of the processing plants /A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. M. Zimnyakov, P. K. Voronina. M.: INFRA-M, 2015.– 363 p.
- [12] Fundamentals of design and construction of processing plants /A. S. Gordeev, A. I. Zavrashnov, A. A. Kurochkin etc. Under the editorship of A. I. Zavrashnov.–M.: Agrokonsalt, 2002.– 492 p.
- [13] Kurochkin, A. A. The Theoretical justification of using the extruded raw materials in food technologies /A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova //Monograph.–Penza, 2015.– 182 p.
- [14] Pat. 2402910 Russian Federation МПК7 А23В9/08, F26В11/00. Device for drying grain /applicants: A. B. Terent'ev, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. S. Timokhin, E. I. Kudashov; the patentee FGOU VPO Penza GTA.–No. 2008149492/13 Appl. 15.12.2008; publ. 10.11.2010, bull. No. 31.– 7 p.
- [15] Pat. 2575491 Russian Federation МПК7 F26В17/10. Installation for drying bulk materials in the upward flow of combustion products of biogas, or associated gas /applicants: A. B. Terent'ev, S. V. Chebykin, K. Y. Mokrousov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. M. Goloshchapov, P. K. Voronina; the patentee, NTK «Eureka!»–No. 2013133203/06 Appl. 16.07.2013; publ. 20.02.2016, bull. No. 5.– 5 p.