

Процессы и аппараты пищевых производств

Оригинальная статья/Original article

УДК 664

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-17-23>

Резервы энергоэффективности конвективной сушки дисперсных материалов при переменных режимах

Александр А. Шевцов ¹	shevalol@rambler.ru
Алексей В. Дранников ¹	drannikov@list.ru
Владимир В. Ткач ²	tkachbalian@yandex.ru
Наталья А. Сердюкова ²	nata29m@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия

Реферат. В настоящее время широкое применение получили способы сушки дисперсных материалов в переменных режимах, когда не только температура и скорость сушильного агента изменяется во времени, но и состояние слоя материала претерпевает изменения, обусловленные управляемой гидродинамикой в рабочем объеме сушильной установки. Переменные режимы используются при сушке в осциллирующих режимах, при ступенчатых гидродинамических и температурных режимах, а также при сушке в изотермическом цикле. Если осциллирующая сушка с чередованием зон нагрева и охлаждения материала и сушка материала при ступенчатых режимах, прежде всего, направлена на сохранение качества целевого продукта, то изотермическая сушка заключается в предварительном нагреве материала до предельно допустимой температуры при последующем высушивании без ее снижения в течение всего процесса с максимальной скоростью влагоудаления. Снижение теплоэнергетических затрат в процессах сушки при переменном теплоподводе достигается благодаря максимальной рекуперации теплоты в замкнутых термодинамических циклах по теплоносителю, в том числе с использованием теплонасосных технологий. На примере многоступенчатой барабанной сушилки, укомплектованной двухступенчатым парокompрессионным тепловым насосом, показана возможность существенной экономии теплоэнергетических затрат в процессе сушки дисперсного материала без дополнительного калориферного подогрева. Из анализа процесса сушки в I-d диаграмме следует, что утилизация и рекуперация теплоты в замкнутом термодинамическом цикле по теплоносителю позволяет снизить удельные энергозатраты. Предложен алгоритм управления технологическими параметрами в области допустимых технологических свойств высушиваемого материала.

Ключевые слова: дисперсный материал, конвективная сушка, энергоэффективность, тепловой насос, переменный режим

Energy efficiency reserves convective drying dispersed materials under variable conditions

Alexandr A. Shevtsov ¹	shevalol@rambler.ru
Aleksey V. Drannikov ¹	drannikov@list.ru
Vladimir V. Tkach ²	tkachbalian@yandex.ru
Natalia A. Serdyukova ²	nata29m@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Military training and research center air force "The air force academy named after the professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Old Bolsheviks str., 54a, Voronezh, Russia

Summary. At present, methods of drying dispersed materials in variable regimes, when not only the temperature and speed of the drying agent varies with time, but also the state of the material layer undergoes changes, due to controlled hydrodynamics in the working volume of the drying plant. Variable modes are used for drying in oscillating modes, with stepped hydrodynamic and temperature modes, and also when drying in an isothermal cycle. If oscillating drying with alternation of heating and cooling zones of the material and drying of the material in stepwise modes, first of all, is aimed at preserving the quality of the target product, then isothermal drying consists in preheating the material to the maximum permissible temperature with subsequent drying without reducing it during the whole process with a maximum rate of moisture removal. Reduction of heat energy costs in drying processes with variable heat supply is achieved due to the maximum heat recovery in closed thermodynamic cycles for the heat carrier, including using heat pump technology. Using the example of a multi-zone drum dryer, equipped with a two-stage steam compression heat pump, the possibility of a significant saving of heat energy costs during the drying of dispersed material without additional calorific heating. From the analysis of the drying process in the I-d diagram it follows that the utilization and heat recovery in a closed thermodynamic cycle by the heat carrier can reduce the specific energy consumption. An algorithm for controlling technological parameters in the field of permissible technological properties of the dried material is proposed.

Keywords: particulate material, convective drying, energy efficiency, heat pump, variable mode

Для цитирования

Шевцов А.А., Дранников А.В., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. Резервы энергоэффективности конвективной сушки дисперсных материалов при переменных режимах // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 17–23. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-17-23

For citation

Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Energy efficiency reserves convective drying dispersed materials under variable conditions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 17–23. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-17-23

Введение

В настоящее время широкое применение получили способы сушки дисперсных материалов в переменных режимах, когда не только температура и скорость сушильного агента изменяется во времени, но и состояние слоя материала претерпевает изменения, обусловленные управляемой гидродинамикой в рабочем объеме сушильной установки. Переменные режимы используются при сушке в осциллирующих режимах [1–3, 8], при ступенчатых гидродинамических и температурных режимах [7, 9], а также при сушке в изотермическом цикле [1, 3]. Если осциллирующая сушка с чередованием зон нагрева и охлаждения материала и сушка материала при ступенчатых режимах, прежде всего, направлена на сохранение качества целевого продукта, то изотермическая сушка заключается в предварительном нагреве материала до предельно допустимой температуры при последующем высушивании без ее снижения в течение всего процесса с максимальной скоростью влагоудаления.

Снижение теплоэнергетических затрат в процессах сушки при переменном теплоподводе достигается благодаря максимальной рекуперации теплоты как отработанного сушильного агента, так и утилизации теплоты высушенного материала в замкнутых термодинамических циклах по сушильному агенту, в том числе с использованием теплонасосных технологий [1, 4, 6, 9].

В прямоточной зерносушилке с двумя зонами сушки и зоной охлаждения, укомплектованной парокомпрессионным тепловым насосом (ПКТН), рассмотрена возможность существенной экономии теплоэнергетических затрат, а программно-логический алгоритм микропроцессорного управления технологическими параметрами с использованием разработанных моделей и программ [1] позволяет гарантированно обеспечить высокое качество высушенного продукта (рисунок 1).

Позиции на рисунке 1: 1 – сушиллка; 2, 3 – зоны сушки зерна; 4 – зона охлаждения зерна; 5 – камера предварительного нагрева; 6, 7 – калориферы; 8, 9, 10 – вентиляторы; 11, 12 – циклоны; 13 – компрессор; 14, 15 – секции конденсатора; 16 – терморегулирующий вентиль; 17, 18 – секции испарителя; 19, 20 – переключатели потоков; 21 – микропроцессор; линии: 0.2 – подачи влажного зерна на сушку; 0.2.1 – отвода высушенного зерна; 3.1 – отвода отработанного сушильного агента; 3.2 – подачи кондиционированного сушильного агента; 3.3 – подачи нагретого в конденсаторе сушильного агента в калориферы; 2.2 – подачи греющего пара в калориферы; 1.4 – отвода конденсата; 4.0 – рециркуляция хладагента; датчики: FE – расхода; TE – температуры; ME – влажности и влагосодержания; И – исполнительные механизмы.

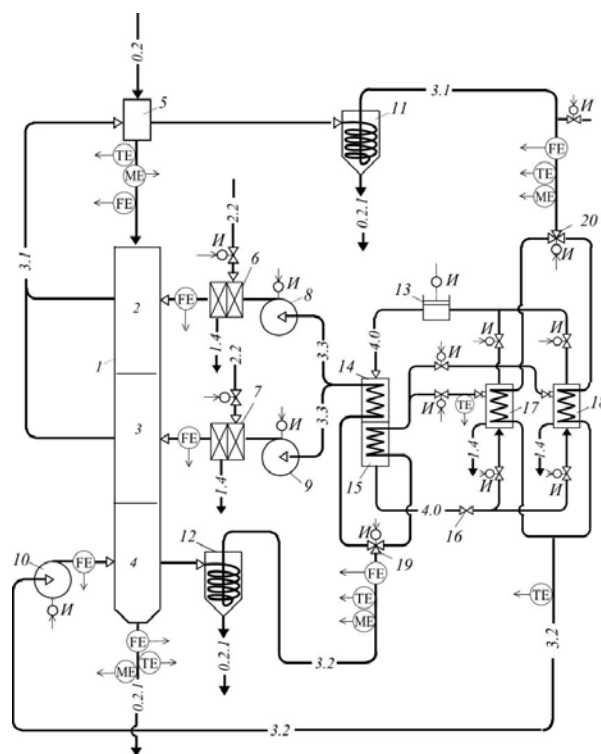


Рисунок 1. Схема управления процессом сушки в шахтной зерносушилке с парокомпрессионным тепловым насосом

Figure 1. The scheme of drying process control in a shaft dryer with a steam compression heat pump

Повышение эффективности многозонной сушиллки с замкнутым контуром рециркуляции сушильного агента заключается в том, что осушенный и охлажденный сушильный агент после рабочей секции испарителя подается на охлаждение высушенного зерна. За счет теплообмена между сушильным агентом и зерном без границы раздела фаз температура сушильного агента повышается более, чем на 15 °С, а температура зерна снижается более чем на 20 °С [1].

Поток сушильного агента после охлаждения зерна освобождается от взвешенных частиц в циклоне и направляется в конденсатор теплового насоса и затем в первую и вторую зоны сушки зерна через калориферы, в которых температура сушильного агента доводится до значений, обеспечивающих заданный температурный режим сушки. Из анализа процесса сушки в $I-d$ диаграмме (рисунок 2) следует, что утилизация теплоты высушенного зерна позволяет снизить нагрузку на калорифер на величину $\Delta t_1 = t_7 - t_6$, а нагревание сушильного агента в конденсаторе теплового насоса на $\Delta t_2 = t_1 - t_7$ и обеспечить снижение удельных энергозатрат на 10–12%.

Точки на $I-d$ диаграмме: 1–2', 1–2'' – основной нагрев сушильного агента в калориферах перед первой и второй зонах сушки зерна; 2'–3', 2''–3'' процессы сушки зерна в первой и второй зонах сушки; 3'–3–3'' – получение смеси сушильного агента после первой и второй зон сушки; 3–4 – охлаждение сушильного агента за счет предварительного нагрева

зерна в камере 5; 4–5–6 – осушение и охлаждение сушильного агента в рабочей секции испарителя; 6–7 – нагрев сушильного агента за счет утилизации теплоты высушенного зерна при его охлаждении; 7–1 – нагрев сушильного агента в конденсаторе.

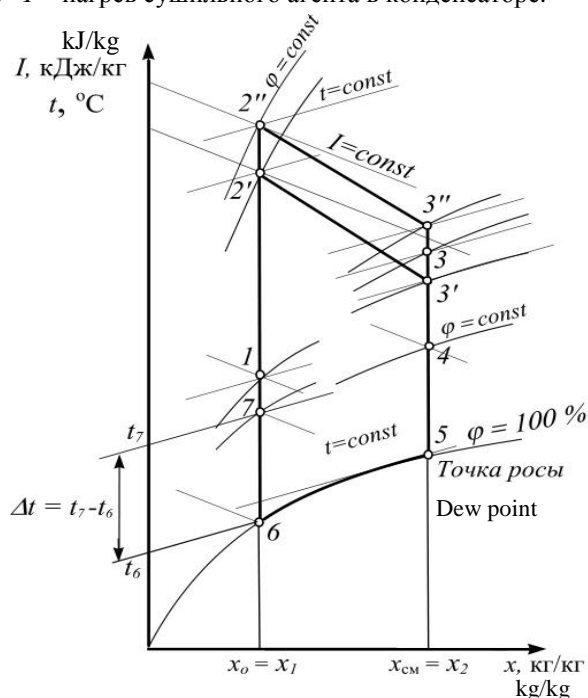


Рисунок 2. Термодинамическое изображение процесса сушки с ПКНТ и утилизацией теплоты высушенного зерна
Figure 2. Thermodynamic image of drying process with PKNT and heat recovery of dried grain

Анализ резервов эффективности

Предложенная ранее технология сушки имеет ряд неиспользованных резервов энергосбережения, вызванных следующими соображениями. Во-первых, использование одноступенчатой холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса, не обеспечивает подготовку сушильного агента более высокого энергетического потенциала с целью реализации высокотемпературной сушки. Во-вторых, рекуперация теплоты сушильного агента на потоке между испарителем и конденсатором теплового насоса не позволяет снизить нагрузку на конденсатор. В-третьих, влагосодержание сушильного агента, подаваемого на сушку, устанавливается путем коррекции мощности привода компрессора, что может привести к нарушению режима конденсации паров хладагента, а, следовательно, к непредвиденному отклонению температуры сушильного агента от заданной. И наконец, имеет место инерционность управления влажностью высушенного продукта по влагосодержанию сушильного агента на входе в сушилку, значительный интервал времени с момента времени получения информации о конечной влажности продукта до момента воздействия на изменение влагосодержания сушильного агента.

Методы повышения энергоэффективности

По результатам анализа неиспользованных резервов энергосбережения предложен подход к разработке энергоэффективной технологии сушки в подвижном слое дисперсного материала с применением двухступенчатого теплового насоса, обеспечивающей снижение теплоэнергетических затрат, а также алгоритм управления технологическими параметрами в области допустимых свойств материала.

Методы повышения энергоэффективности основаны на утилизации и рекуперации теплоты отработанных теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах с использованием теплового насоса. Их реализация достигалась в многоступенчатой барабанной сушилке с профильной канальной насадкой (рисунок 3) при поперечной подаче теплоносителя.

Влажный дисперсный материал через загрузочную воронку 1, установленную в неподвижном фланце 2, поступает в перфорированный барабан 3 с канальной насадкой 4. Барабан вращается в неподвижном секционном кожухе 5 посредством приводного зубчатого венца, связанного с приводом. В секции кожуха, разделенного кольцевыми перегородками 7, через патрубки 8 подается сушильный агент с разной температурой и скоростью, обеспечивая переменный температурный и гидродинамический режим сушки при движении материала через I–III зоны сушки и IV зону охлаждения по канальной насадке к разгрузочному бункеру 9.

Отработанный сушильный агент, в качестве которого используется воздух, выводится из сушилки через патрубок 10 и вытяжным вентилятором 11 направляется последовательно на предварительный нагрев материала в камеру 12; на очистку от взвешенных частиц в циклон 13; на осушение и охлаждение в испарителе второй и первой ступени соответственно 16, 15.

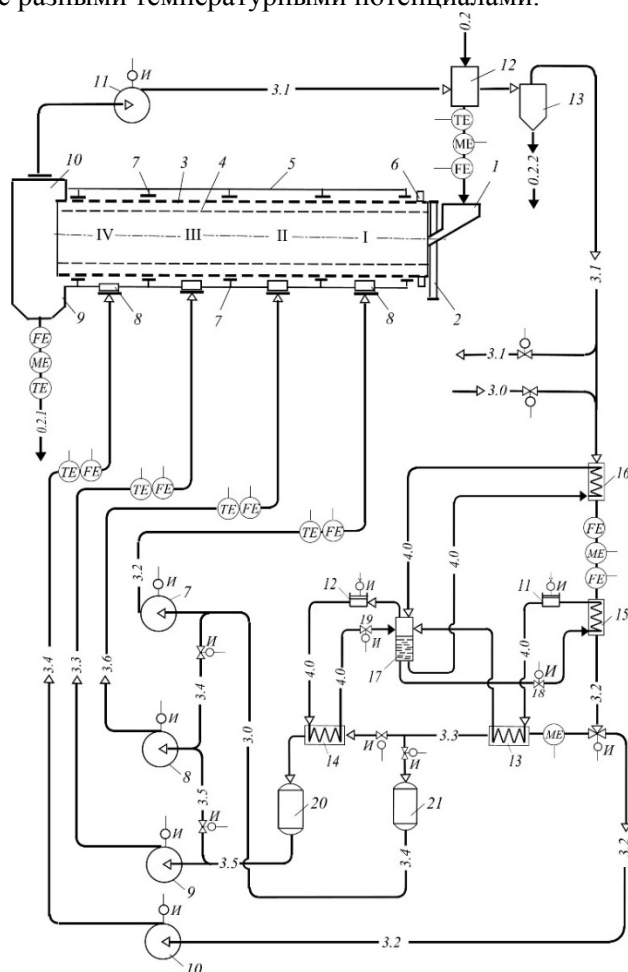
Осушенный сушильный агент после испарителя 15 разделяется на два потока, один из которых подается на сушку материала, а другой на его охлаждение.

После конденсатора первой ступени одна часть сушильного агента направляется в конденсатор второй ступени 14, а другая его часть в I зону сушки. Поток сушильного агента после конденсатора второй ступени направляется в III зону сушки. Поток сушильного агента во II зону сушки получают путем смешивания частей сушильного агента, подаваемых в I и III зоны сушки. Во избежание технологических сбоев в линиях подачи сушильного агента после конденсаторов 13 и 14 установлены ресиверы 21 и 22.

Работа двухступенчатого теплового насоса характеризуется последовательным сжатием паров компрессорами первой 11 и второй 12 ступени

с промежуточным охлаждением за счет кипения, подаваемого в промежуточный сосуд 17, хладагента. При этом уменьшается объем паров и затрата работы для их последующего сжатия. Уменьшение перепада давлений в каждой ступени ослабляет теплообмен паров со стенками цилиндров и улучшает условия рабочего процесса в компрессоре.

При двухступенчатом сжатии снижается температура перегрева нагнетаемых паров, что способствует лучшей смазке цилиндров. Кроме этого, возможна работа теплового насоса с двумя температурами кипения хладагента, и соответственно с двумя температурами конденсации и, как следствие, подготовкой кондиционированного сушильного агента с разными температурными потенциалами.



Термодинамическое изображение изменения параметров сушильного агента в многозонной барабанной сушилке с двухступенчатым тепловым насосом в *I-d* диаграмме свидетельствует о возможности осуществлять его подготовку в широком диапазоне температур (рисунок 4).

Точки на рисунке 4: *a* – сушка материала в изотермическом цикле, *б* – сушка материала с повышением температуры теплоносителя; 1–2 – нагрев сушильного агента за счет охлаждения материала

Установка теплообменника-рекуператора 20 на потоке сушильного агента между испарителем 15 и конденсатором 13 первой ступени теплового насоса позволяет, с одной стороны, повысить температурный потенциал сушильного агента перед нагреванием его в конденсаторе 14, а с другой, снизить температуру охлаждающего воздуха перед подачей его в зону охлаждения дисперсного материала 5.

Предусмотрена подпитка сушильного агента свежим воздухом или его сброс (по мере необходимости) перед испарителем теплового насоса, что позволяет снизить воздействие случайных факторов на стабилизацию заданного влагосодержания сушильного агента в линии его рециркуляции.

Рисунок 3. Схема управления технологическими параметрами в барабанной сушилке с двухступенчатым тепловым насосом

Figure 3. Scheme of technological parameters control in a drum dryer with a two-stage heat pump

1 – загрузочная воронка; 2 – перфорированный барабан; 3 – канальная насадка; I, II, III – первая, вторая и третья зоны сушки; IV – зона охлаждения; 6 – камера предварительного нагрева материала; 7, 8, 9, 10 – вентиляторы; 11, 12 – компрессоры теплового насоса соответственно первой и второй ступени; 13, 14 – конденсаторы и 15, 16 – испарители первой и второй ступени; 17 – промежуточный сосуд; 18, 19 – терморегулирующие вентили; 20, 21 – ресиверы; потоки: 0.2 – влажный дисперсный материал; 0.2.1 – высушенный материал; 0.2.2 – взвешенные частицы; 4.0 – хладагент; 3.0 – воздух из атмосферы; 3.1 – отработанный сушильный агент, 3.2 – кондиционированный низкопотенциальный сушильный агент (охлаждающий воздух); 3.3 – кондиционированный сушильный агент после конденсатора I ступени; 3.4 – кондиционированный высокопотенциальный сушильный агент после конденсатора II ступени; 3.5 – смесь сушильного агента из потоков 3.3 и 3.5; датчики: FE – расхода; TE – температуры; ME – влажности и влагосодержания; И – исполнительные механизмы а б

в IV зоне; 2–3 – нагрев сушильного агента в конденсаторе первой ступени 13, подаваемого в I зону сушки 4; 2–4 – нагрев сушильного агента в конденсаторе второй ступени 14, подаваемого в III зону сушки; 5 – параметры смеси сушильного агента после конденсаторов первой и второй ступеней, подаваемого во II зону сушки; 4–6 – сушка материала в I зоне (*a*); сушка материала в III зоне (*б*); 5–8 – сушка материала во II зоне; 3–7 – сушка материала в III зоне (*a*); сушка материала в I зоне (*б*); 8 – параметры смеси отработанного сушильного

агента после трех зон сушки; 9 – параметры смеси отработанного сушильного агента после трех зон сушки и зоны охлаждения; 9–10 – охлаждение сушильного агента в камере предварительного нагрева материала 6; 10–11 – охлаждение сушильного агента в испарителе первой ступени 16; 11–12 – охлажде-

ние сушильного агента в испарителе второй ступени 15; 12–1 – конденсация ваги из сушильного агента на охлаждающей поверхности испарителя первой ступени; 1–2– 9–10–11–12–1 – контур рециркуляции подготовки холодного воздуха для охлаждения материала в IV зоне.

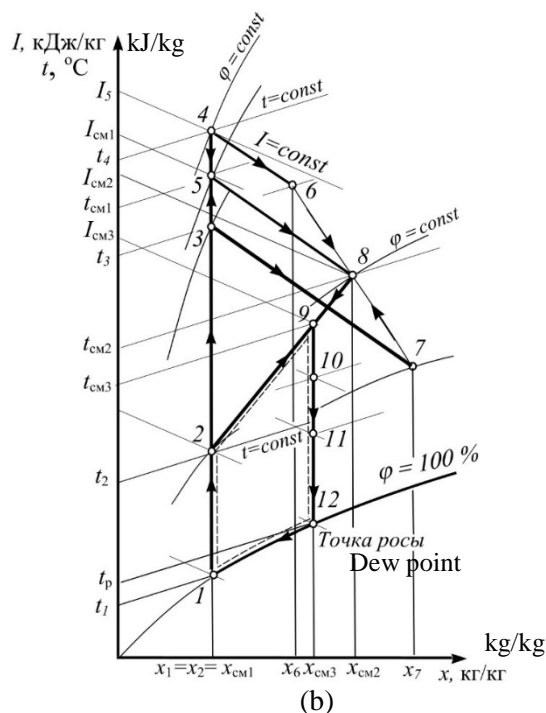
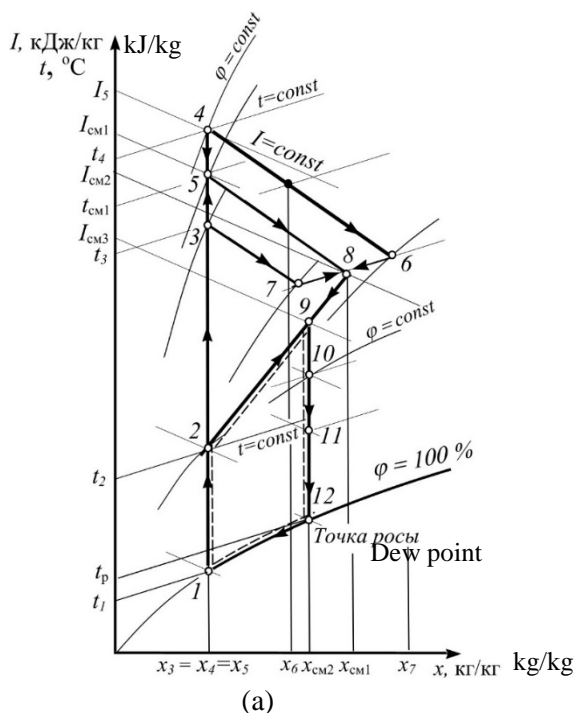


Рисунок 4. Варианты изменения параметров сушильного агента в замкнутом термодинамическом цикле многозонной барабанной сушилки с двухступенчатым ПКТН в I - d диаграмме

Figure 4. Variants of the drying agent parameters change in the closed thermodynamic cycle of a multi-zone drum dryer with a two-stage PKN in the I - d diagram

Для повышения точности и надежности управления процессом сушки составлен программно-логический алгоритм микропроцессорного управления технологическими параметрами сушки в условиях случайных возмущений как со стороны изменения начальной влажности материала, так и со стороны возможных технологических сбоев в работе вспомогательного оборудования.

По информации датчиков о текущих значениях расхода, температуры и влажности влажного материала после его предварительного подогрева в камере нагрева и очистки от взвешенных частиц в циклоне микропроцессор по заложенному в него алгоритму устанавливает заданный режим сушки и охлаждения материала.

Массовый поток сушильного агента на входе в зоны сушки барабанной сушилки устанавливают воздействием на мощность регулируемых приводов вентиляторов 7–10, а температурный режим сушки воздействием на мощности регулируемых приводов компрессоров 6, 7 первой и второй ступени теплового насоса. Охлаждение материала осуществляют воздухом, охлажденным в испарителях 16, 15 с последующей подачей его в зону охлаждения

барабанной сушилки с образованием замкнутого цикла. В процессе сушки устанавливается необходимое соотношение расходов частей сушильного агента, подаваемых в зоны сушки.

По текущим значениям расхода и влагосодержания отработанного сушильного агента непрерывно определяется поток влаги с отработанным сушильным агентом, подаваемым в испарители первой и второй ступени теплового насоса. Исходя из технических возможностей испарителей и технологического регламента, вводятся ограничения на максимально возможный поток влаги, подаваемый в испаритель 8 первой ступени теплового насоса. При этом количество излишней влаги выводится из контура рециркуляции с отработанным сушильным агентом с одновременной подпиткой отработанного сушильного агента свежим, сохраняя при этом необходимое количество сушильного агента в линии рециркуляции.

По информации датчика о текущем влагосодержании сушильного агента после конденсатора первой ступени теплового насоса микропроцессор корректирует соотношение расхода сушильного агента в линии сброса 22 и линии подпитки 21.

Если изменение соотношения расходов в пределах заданных значений не обеспечивает стабилизацию влагосодержания сушильного агента после конденсатора первой ступени теплового насоса, что свидетельствует о недостаточном осушении сушильного агента, обусловленным уменьшением коэффициента теплопередачи на охлаждающих поверхностях испарителей, то рабочие секции испарителей отключаются на регенерацию и подключаются резервные секции (на схеме не показаны).

В процессе сушки микропроцессор непрерывно осуществляет слежение за влажностью высушенного продукта. При отклонении текущего значения влажности высушенного продукта от заданного значения микропроцессор изменяет производительность сушилки по влажному зерну.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бритиков Д.А., Шевцов А.А. Энергосбережение в процессах сушки зерновых культур с использованием теплонасосных технологий: монография, М.: ДеЛи плюс, 2012. 328 с.
- 2 Sinha A. и др. Trends and oscillations in the Indian summer monsoon rainfall over the last two millennia // *Nature communications*. 2015. Т. 6. С. 6309.
- 3 Riadh M. H. и др. Infrared heating in food drying: An overview // *Drying Technology*. 2015. Т. 33. № 3. С. 322-335.
- 4 Mujumdar A. S. (ed.). *Handbook of industrial drying*. CRC press, 2014.
- 5 Arif Hepbasli и др. Exergoeconomic analysis of plum drying in a heat pump conveyor dryer // *Drying Technology*. 2010. Т. 28. С. 1385–1395.
- 6 Saidi M. и др. Hydrodynamics of pulsed spouted beds: Effects of pulsation waveform, amplitude, and frequency // *Drying Technology*. 2016. Т. 34. № 13. С. 1546-1557.
- 7 Aghbashlo M. и др. Measurement techniques to monitor and control fluidization quality in fluidized bed dryers: A review // *Drying Technology*. 2014. Т. 32. № 9. С. 1005-1051.
- 8 Khanali M., Rafiee S. Investigation of hydrodynamics, kinetics, energetic and exergetic aspects of fluidized bed drying of rough rice // *International journal of food engineering*. 2014. Т. 10. № 1. С. 39-50.
- 9 Пат. РФ № 2511293 Способ осциллирующей сушки семян масличных культур с циклическим вводом антиоксиданта / Дранников А.В., Шевцов С.А., Фролова Л.Н., Острикова Е.А., Лесных А.С. Опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10.
- 10 Шевцов С.А., Остриков А.Н. Техника и технология сушки пищевого растительного сырья, Воронеж: ВГУИТ, 2014. 289 с.
- 11 Гавриленков А.М., Емельянов А.Б., Шаров А.В. Экологические аспекты интенсификации конвективной сушки // *Вестник ВГУИТ*. 2012. № 3. С. 137–139.

Заключение

Использование двухступенчатой теплонасосной установки позволяет вести сушку в переменных режимах, при которых температура и скорость изменяются по времени, при этом плавное изменение температуры по зонам барабанной сушилки в соответствии с технологическими требованиями и гарантировано обеспечивает высокое качество высушенного материала.

Существенно расширяются возможности энергосбережения с использованием двухступенчатого теплового насоса в непрерывнодействующих сушильных установках при высоких температурах, поскольку они способны осуществлять подготовку теплоносителя с более высоким энергетическим потенциалом без дополнительного калориферного подогрева.

REFERENCES

- 1 Britikov D.A., Shevtsov A.A. *Energoberezhenie v protsessakh sushki zernovykh kul'tur s ispol'zovaniem teplonasosnykh tekhnologii, monografiya* [Energy saving in drying processes of grain crops with using heat pump technology, monograph]. Moscow, DeLi plus, 2012. 328 p. (in Russian).
- 2 Sinha A. et al. Trends and oscillations in the Indian summer monsoon rainfall over the last two millennia. *Nature communications*. 2015. vol. 6. pp. 6309.
- 3 Riadh M. H. et al. Infrared heating in food drying: An overview. *Drying Technology*. 2015. vol. 33. no. 3. pp. 322-335.
- 4 Mujumdar A. S. (ed.). *Handbook of industrial drying*. CRC press, 2014.
- 5 Arif Hepbasli et al. Exergoeconomic analysis of plum drying in a heat pump conveyor dryer. *Drying Technology*. 2010. vol. 28. pp. 1385–1395.
- 6 Saidi M. et al. Hydrodynamics of pulsed spouted beds: Effects of pulsation waveform, amplitude, and frequency. *Drying Technology*. 2016. vol. 34. no. 13. pp. 1546-1557.
- 7 Aghbashlo M. et al. Measurement techniques to monitor and control fluidization quality in fluidized bed dryers: A review. *Drying Technology*. 2014. vol. 32. no. 9. pp. 1005-1051.
- 8 Khanali M., Rafiee S. Investigation of hydrodynamics, kinetics, energetic and exergetic aspects of fluidized bed drying of rough rice. *International journal of food engineering*. 2014. vol. 10. no. 1. pp. 39-50.
- 9 Drannikov A.V., Shevtsov S.A., Frolova L.N., Ostriкова E.A., Lesnykh A.S. *Sposob ostsilliruyushchei sushki semyan maslichnykh kul'tur s tsiklicheskim vvodom antioksidanta* [The way oscillating drying of oilseeds with cyclic input antioxidant]. Patent RF, no. 2511293. Publ. 10.04.2014.
- 10 Shevtsov S.A., Ostrikov A.N. *Tekhnika i tekhnologiya sushki pishchevogo rastitel'nogo syr'ya* [Equipment and technology of drying edible raw]. Voronezh: VGUIT 2014. 289 p. (in Russian).
- 11 Gavrilencov A.M., Emel'yanov A.B., Sharov A.V. Environmental aspects of convective drying. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2012. no. 3. pp. 137–139. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр А. Шевцов д. т. н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

Алексей В. Дранников д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, декан факультета пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru

Владимир В. Ткач старший преподаватель, кафедра 208 общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия, tkachbalian@yandex.ru

Наталья А. Сердюкова к.т.н., старший преподаватель, кафедра 208 общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, Россия, nata29m@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.04.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.05.2017

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexandr A. Shevtsov doctor of technical sciences, professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shevalol@rambler.ru

Aleksey V. Drannikov doctor of technical sciences, professor, machines and apparatuses of food production department, Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

Vladimir V. Tkach candidate of technical sciences, senior lecturer, 208 General professional disciplines department, Military training and research center air force "The air force academy named after the professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Old Bolsheviks str., 54a, Voronezh, Russia, tkachbalian@yandex.ru

Natalia A. Serdyukova senior lecturer, 208 General professional disciplines department, Military training and research center air force "The air force academy named after the professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Old Bolsheviks str., 54a, Voronezh, Russia, nata29m@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.4.2017

ACCEPTED 5.11.2017