

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ПШЕНИЦЫ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ТЕРМОСИФОНОМ

Безбах И.В., канд. техн. наук, доц., Воскресенская Е.В., инженер каф. ПАиЭМ
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Определены недостатки существующих аппаратов для сушки зерна пшеницы, а также достоинства аппарата с вращающимся термосифоном. Описаны его конструктивные особенности. Выложены результаты экспериментальных исследований процесса сушки зерна на разных режимах работы аппарата с вращающимся термосифоном.

The lacks of existent vehicles are certain for drying of grain of wheat, and also dignity of vehicle with the revolved thermosiphon. His structural features are described. The results of experimental researches of process of drying of grain are laid out on the different modes of operations of vehicle with the revolved thermosiphon.

Ключевые слова: вращающийся термосифон, конденсатор, парогенератор, термодары, частотный преобразователь

Сушка зерновых является энергоемким процессом. Физическая энергия, необходимая для превращения 1 кг воды в пар составляет порядка 2,5 МДж, однако сушильные технологии потребляют в 2,5...3 раза больше [1].

Стационарные шахтные зерносушилки представляют собой одну или две вертикальные прямоугольные шахты. Конструкции шахтных зерносушилок имеют следующие недостатки [3]:

- длительное непрерывное воздействие агента сушки на зерно, исключающее возможность применения высоких температур и отсюда относительно невысокий к. п. д. использования объема сушильного аппарата;
- малый удельный съем влаги ($\text{кг}/\text{м}^3$), что связано со значительными размерами шахтных зерносушилок и наличием в них одновременно большого количества зерна, осложняющего период пуска и остановки аппаратов и исключающего возможность, сушки малых партий;
- неравномерность распределения агента сушки по каналам и как следствие неравномерность нагрева зерна и его сушки в разных частях шахты;
- замедленное движение зерна около боковых стенок шахты, усиливающее неравномерность сушки;
- медленное движение зерна в шахте и его задержка на верхних гранях коробов, подводящих агент сушки; отсюда перегрев и ухудшение качества части зерна, находящегося длительное время в контакте с этими гранями (в результате указанных выше недостатков может снижаться качество зерна в процессе сушки, особенно качество клейковины);
- невозможность сушки высоковлажного зерна за один пропуск, что вызывает дополнительные трудности в работе и расходы на повторную сушку;
- невозможность точного измерения температуры зерна в процессе сушки, сложность процесса измерения и выемки проб;
- сложность регулирования равномерного выпуска зерна по сечению шахты и подачи агента сушки по коробам, а также невозможность устранения неравномерности нагрева и сушки зерна;
- невозможность сушки сорного зерна, поступающего непосредственно из-под комбайнов; наличие даже небольших количеств сорных примесей приводит часто к образованию застоев зерна между коробами и загоранию зерна;
- высокая первоначальная стоимость аппаратов на 1 т установленной мощности и большая продолжительность постройки зерносушильных цехов.

Указанные недостатки существующих конструкций шахтных зерносушилок вызвали поиски других решений по созданию новых зерносушильных аппаратов.

Сушилка с вращающимся термосифоном (ВТС) (рис. 2) состоит из корпуса 1, конденсатора 2, парогенератора 3, привода 4. ВТС представляют собой герметично закрытую полость, частично заполненную теплоносителем.

При подводе теплоты к испарителю теплоноситель начинает кипеть, образующийся пар направляется в конденсатор, где конденсируется на стенках, отдавая теплоту фазового перехода охлаждающей среде. Пар перемещается за счет разности давления в испарителе и конденсаторе в результате уменьшения объема при конденсации пара. Конденсат под действием гравитационных сил движется в испаритель.

Таким образом, в ВТС реализуется замкнутый испарительно-конденсационный цикл.

Экспериментальная установка (рис. 3) состоит из парогенератора 1; конденсатора 2; корпуса 3; привода 4; манометра 5; измерительного комплекса К-50; аналого-цифрового преобразователя 7; термодатчики 8; компьютера 9; частотного преобразователя 10.

Медь - константановые термодатчики, отградуированные в диапазоне температур $0 \div 100$ °С, размещены в капиллярах из нержавеющей стали. Наружный диаметр капилляров 1 мм, длина термодатчика 50 мм. Термодатчики выполнены в виде термошупов и позволяют измерять температуру продукта в различных точках объема продукта. Спаи термодатчиков герметизированы и электролизированы тонким слоем эпоксидной смолы. Термодатчики коммутировались к АЦП.

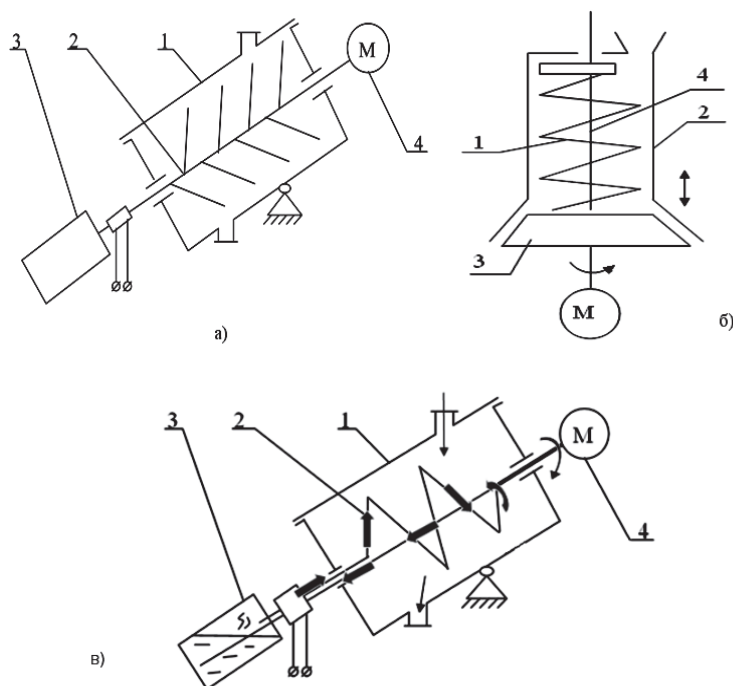
Величина электрического напряжения, подаваемого на нагреватель парогенератора, регулировалась и измерялась с помощью комплекса К-50.

Величина давления теплоносителя в конденсаторе ВТС контролировалась при помощи манометра МВРЗ-У.

Для модельных продуктов был выбран различный диапазон измеряемых величин (табл. 1).

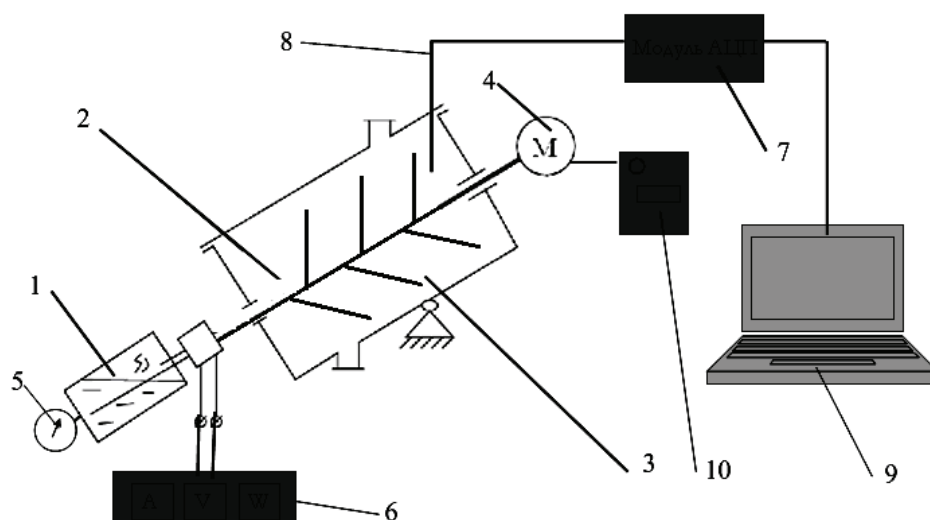
Таблица 1 – Условия экспериментальных исследований

Продукт	Наклон ВТС, γ	Частота оборотов ВТС, n	Давление в конденсаторе ВТС, Р	Подводимая мощность	Влажность продуктов начальная, ω , %
	градус	мин-1	МПа	кВт	
Пшеница	30...45	14	0,05...0,15	0,8...1,5	20
Варенный горох					25
Амарант					20



- а) с разветвленным конденсатором;
 б) с вертикальным шнековым конденсатором;
 в) с наклонным шнековым конденсатором.

Рис. 2 – Сушилка с вращающимся термосифоном (ВТС)



1 – парогенератор; 2 – конденсатор; 3 – корпус; 4 – привод; 5 – манометр;
6 – измерительный комплекс К-50; 7 – АЦП; 8 – термопары;
9 – компьютер; 10 – частотный преобразователь

Рис. 3 – Схема экспериментальной установки

Начальная влажность продуктов поддерживалась на уровне либо технологических требований, либо выбиралась из соответствующих таблиц.

Конечная влажность продуктов обычно выбиралась из таблиц как равновесная для данных атмосферных условий.

Температура поверхности конденсатора ВТС поддерживалась такой, чтобы не происходило перегрева продукта выше технологических требований.

Частота вращения конденсатора ВТС регулировалась при помощи частотного преобразователя типа Altivar.

Температуру зерна пшеницы измеряли при помощи медь-константановых термопар. Температуры измеряли в нескольких разных точках объема, после чего усредняли. Данные первичных преобразователей температуры поступали на АЦП, преобразовывались в цифровой сигнал и вводились в ПК. Интервал регистрации данных – 10 с. Температуру теплоносителя определяли по величине давления в конденсаторе сушилки. Интервал регистрации данных – 600 с. Из графиков (рис. 4) видно, что с самого начала процесса температура зерна повышается

В начале процесса сушки с ВТС уже происходит интенсивное парообразование над поверхностью зерна. Температура зернового слоя непрерывно увеличивается, что связано с уменьшением количества влаги в зерне. Зерно сушили до состояния несколько ниже равновесной влажности. Средняя влажность воздуха в лаборатории 80 %. Средняя температура зерна в опытах 60...80 °С. По данным Резчикова В.А. при таких условиях равновесная влажность зерна 14...16 % [4]. Аппарат работал периодическом режиме. Единоновременная загрузка аппарата составляла $G_3=1,5$ кг, средняя температура воздуха в помещении $T_{oc} = 25$ °С, частота оборотов ВТС $n = 14$ об/мин.

Получены следующие графики по изменению температуры зерна пшеницы при сушке в аппарате с ВТС (рис. 4).

Период нагрева зерна продолжается около 1000 с, для различных температур поверхности ВТС. После чего температура зерна стабилизируется графики изменения температуры приобретают автомодельный характер.

Температуры зерна в некоторых опытах превышают технологически допустимые при сушке пшеницы (см. рис. 5). Так при температурах конденсатора ВТС 100...120 °С происходит перегрев зерна выше 60 °С, что превышает технологические требования. Такие режимы выбраны для того, чтобы максимально расширить диапазон экспериментальных значений, определить возможности экспериментальной установки.

Проведено более двадцати опытов, по сушке зерна в аппарате с ВТС. Термограммы в большинстве опытов имеют аналогичный характер, в работе представлены наиболее характерные. Установлено влияние температуры поверхности конденсатора ВТС на степень нагрева зерна в аппарате при постоянной частоте вращения ВТС. При увеличении температуры конденсатора ВТС в 1,5 раз температура пшеницы

изменяется в 1,5 раза.

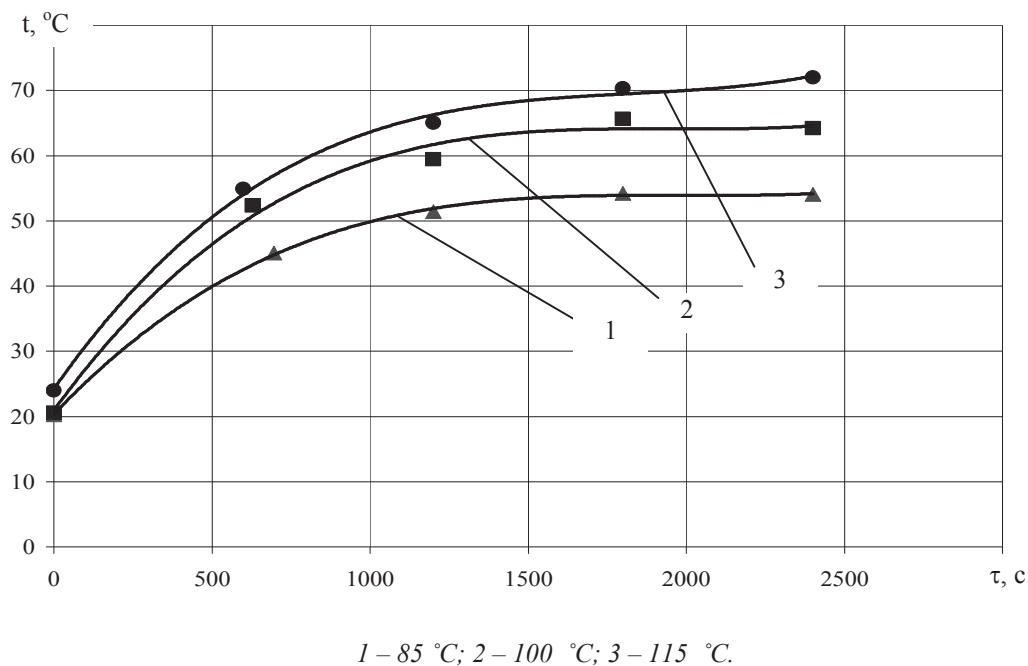
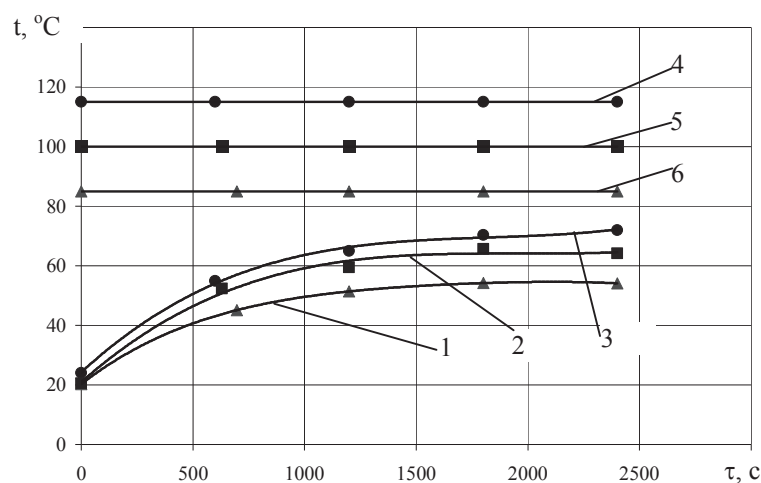


Рис. 4 – Изменение температуры для пшеницы при температуре поверхности ВТС

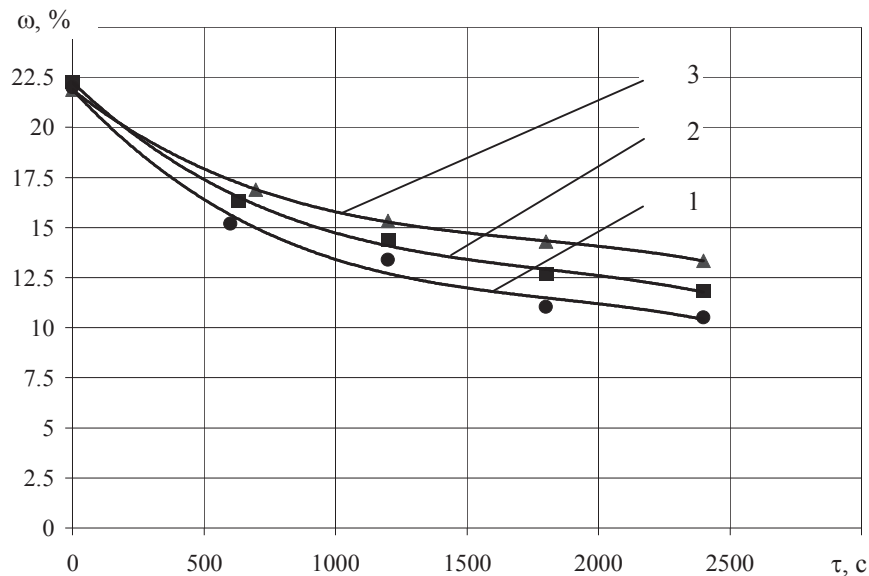


1 – пшеница, $P=0,05 \text{ МПа}$; 2 – пшеница, $P=0,075 \text{ МПа}$; 3 – пшеница, $P=0,1 \text{ МПа}$;
4 – поверхность ВТС, $P=0,1 \text{ МПа}$; 5 – поверхность ВТС, $P=0,075 \text{ МПа}$;
6 – поверхность ВТС, $P=0,05 \text{ МПа}$.

Рис. 5 – Изменение температуры зерна пшеницы и поверхности ВТС в течении сушки при различных давлениях теплоносителя в конденсаторе ВТС

Для удобства анализа температуры поверхности конденсатора ВТС нанесены на график совместно с температурами зерна (рис. 5).

Зерно увлажняли до состояния сырого. Начальная влажность зерна в опытах соответствует $\approx 22 \%$. За счет непосредственного контакта влажного зерна и поверхности нагрева зерно прогревается быстро. Периода прогрева материала на кривой сушки не наблюдается. Далее следует первый период сушки. Скорость сушки изменяется в пределах $0,0072 \dots 0,0056 \text{ \%}/\text{c}$, в зависимости от температуры материала. Продолжительность первого периода составляет около 1000 с.



1 - $T_n=115\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - $T_n=100\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 - $T_n=85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рис. 6 – Кривые сушки зерна пшеницы при различных температурах поверхности конденсатора ВТС

Влияние на скорость сушки оказывает изменение температуры поверхности конденсатора ВТС.

Влажность зерна в серии опытов снижается в среднем на 10%, что соответствует стандартным зерносушилкам.

Далее скорость сушки падает примерно в три раза и составляет 0,0024...0,0017 %/с.

Во первых это связано с тем, что сушка идет в стесненных условиях – в плотном зерновом слое. Поэтому постоянно присутствует поверхностная влага, что характерно для периода постоянной скорости сушки. Во вторых обеспечивается равномерный нагрев и сушка каждого отдельно взятого зерна. При интенсивном равномерном нагреве зерна увеличение коэффициента диффузии влаги в воздух замедляет углубление зоны испарения внутри зерна. Все это обуславливает постоянство скорости влагоотдачи.

Литература

1. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярнопористых телах [Текст] / А.В. Лыков – М.: Гостехиздат, 1954.
2. Атаназевич, В.И. Сушка зерна [Текст]: практ. пособие / В.И. Атаназевич - М.: Лабиринт, 1997. – 256 с.
3. Бурдо, О. Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах [Текст] / О. Г. Бурдо, Л. Г. Калинин – О.: Друк, 2008. – 348 с.
4. Бурдо, О. Г. Кінетика сушіння пшениці в апаратах на базі термосифонів [Текст] / О.Г. Бурдо, І.В. Безбах, В.І. Донкоглов // Наук. пр. / ОНАХТ – О, 2009. – Вип. 36, — Т. 1. – С. 297-302.
5. Безбах, И. В. Процессы термообработки дисперсных продуктов в аппаратах на базе термосифонов [Электронный ресурс] / И. В. Безбах, Е. В. Латанский, В. И. Донкоглов // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. „ Проблеми енергетичної ефективності харчових та хімічних виробництв ”, Одеса, 9-11 верес. 2009 р. / ОНАХТ. – О., 2009. – С. 276-278.