

УДК 681.3.067

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУШИЛКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

А. Б. Терентьев, К. Ю. Мокроусова, С. В. Чекайкин

Статья посвящена рассмотрению тепловых процессов, протекающих в сушилках «кипящего слоя», которые работают на дешевом и доступном топливе – биогазе и попутном газе.

Ключевые слова: зерносушилка, биогаз, попутный газ, горение, тепловой баланс, энергоэффективность.

Введение

Одним из наиболее эффективных способов сушки зерна и других сыпучих сельскохозяйственных продуктов является сушка в восходящем потоке нагретых газов, образующем «кипящий слой» материала.

В качестве нагретых газов в основном используется горячий воздух, высокая температура которого обеспечивается применением различных нагревательных устройств. Работа этих устройств требует значительных затрат различных видов энергии. В настоящее время известна конструкция энергоэффективной зерносушилки [1, 2], которая обеспечивает формирование восходящего потока горячих газов за счет перепада температур на входе и выходе установки, а также благодаря особенностям ее конструкции.

Целью работы является анализ работы зерносушилки.

В данной статье исследуется устройство сушилки кипящего слоя и энергоэффективность ее работы. Для оценки энергоэффективности аппарата, произведен тепловой расчет протекающих процессов.

Работа сушилки зависит от внешних условий – температуры окружающего воздуха, наличия солнечной радиации и т.д. Свести к минимуму такую зависимость и обеспечить полную автономность работы сушилки может применение в качестве сушильного агента высоконагретых продуктов горения либо биогаза, либо попутного газа. Запас таких источников тепловой энергии практически неисчерпаем, весьма доступен, и их использование не влечет за собой больших экономических затрат [2].

На рис. 1 представлена схема установки для сушки зерна и других сыпучих материалов, работающей на сжигании биогаза (попутного газа).

Установка «кипящего слоя» предназначена для сушки твердых сыпучих материалов в восходящем нагретом потоке газов, температура и скорость которого зависит от степени нагрева и расхода продуктов горения биогаза или попутного нефтяного газа, образующихся на входе в сопловые блоки при работе горелок.

Установка содержит следующие основные узлы и детали:

сопловой блок из шести одинаковых секций 1 прямоугольного переменного сечения, суживающихся к центру;

конусоидальная башня, состоящая из нижнего конуса 2 и сопрягаемого верхнего конуса 3, в которой размещены решетка 5, устройства загрузки и выгрузки материала 6, 7;

система генерации высоконагретых газообразных продуктов горения биогаза (попутного газа), включающая баллон с биогазом (попутным газом) 8, горелки 4 и газопроводы.

Установка работает следующим образом. Влажный материал через устройство загрузки 7 (в верхнем положении) подается на решетку 5. Конструкции соплового блока, нижнего и верхнего конусов способствует созданию естественной тяги при определенном перепаде температур на входе в сопловой блок 1 и выходе из верхнего конуса 3. Однако параметры воздушного потока сильно зави-

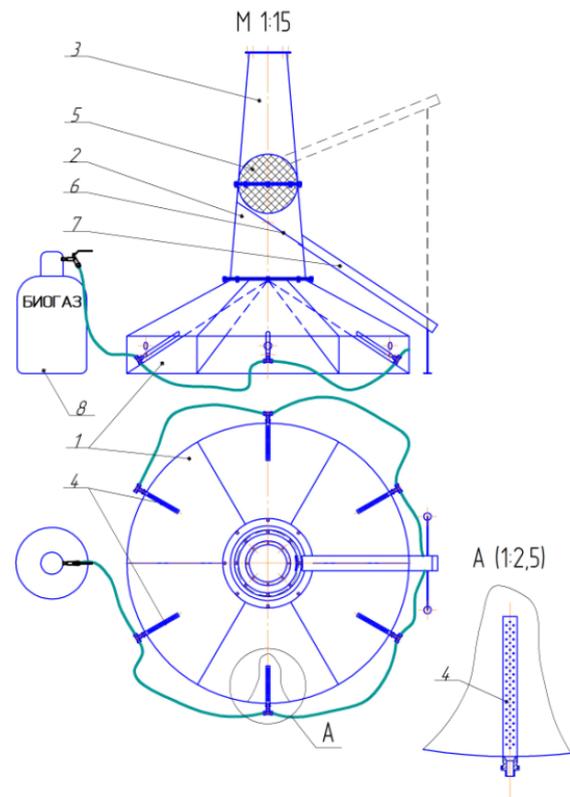


Рис.1. Установка кипящего слоя

сят от внешних погодных условий. Этот недостаток устраняется применением биогаза или природного газа в качестве источников энергии для обеспечения необходимого режима сушки.

Биогаз (попутный газ) по газопроводам поступает в горелки 4, где происходит его сжигание. Образующиеся высоконагретые газообразные продукты горения, смешиваясь с воздухом, создают значительный перепад температур на входе в сопловой блок 1 и выходе из верхнего конуса 3. Необходимые температура сушки и скорость газового потока, обеспечивающая псевдоожижение материала, регулируются расходом биогаза (попутного газа) в горелках.

По окончании сушки решетка 5 складывается и материал ссыпается на решетку 6, к концу суши принимающую наклонное положение по углом 45°. Материал перемещается в псевдоожиженном состоянии по решетке 6 и выгружается по лотку 7.

Объекты и методы исследований

Для анализа энергоэффективности работы сушилки был проведен тепловой расчет процессов, протекающих в установке, при сушке зерна. Тепловой баланс составлен из расчета прихода и расхода теплоты.

Приход теплоты складывается из значений:

- 1) физической теплоты топлива;
- 2) теплоты, вносимой топливом при его сжигании;
- 3) теплоты, вносимой атмосферным воздухом;
- 4) теплоты, вносимой атмосферным воздухом, смешиваемым с продуктами горения топлива;
- 5) теплоты, вносимой влагой материала,
- 6) теплоты, вносимой материалом [3,4].

Значения перечисленных параметров рассчитаны по следующим формулам:

1. Физическая теплота топлива:

$$Q_m = B \cdot c_m \cdot t_m = 1,2 \text{ кВт}$$

где B – расход сжигаемого топлива, кг/с;

c_m – удельная теплоемкость топлива, кДж/кг;

t_m – начальная температура топлива, °С.

2. Теплота, вносимая топливом при его сжигании:

$$Q_m^{cж} = B Q_H^p = 2501 \text{ кВт}$$

где Q_H^p – теплота, выделяющаяся при сжигании 1 кг топлива.

3. Теплота, вносимая атмосферным воздухом:

$$Q_B = \alpha_0 L_0 B c_B t_0 = 116 \text{ кВт}$$

где α_0 – количество избытка воздуха;

L_0 – теоретическое количество сухого воздуха, затрачиваемое на сжигание 1 кг топлива, кг/кг;

c_B – удельная теплоемкость воздуха при начальной температуре t_0 , кДж/(кг·К);

4. Теплота, вносимая атмосферным воздухом, смешиваемым с продуктами горения топлива:

$$Q_B^{CM} = I_0 L_{CG}^{CM} B = 203 \text{ кВт}$$

где I_0 – теплосодержание атмосферного воздуха, кДж/кг;

L_{CG}^{CM} – общая удельная масса сухих газов, получаемая при сжигании 1 кг топлива и разбавлении газов воздухом, кг/кг.

5. Теплота, вносимая влагой материала:

$$Q_{BL} = W c_{BL} t_M^H,$$

где W – количество влаги, удаляемой в процессе сушки, кг/с;

c_{BL} – удельная теплоемкость влаги при начальной температуре, кДж/кг;

t_M^H – начальная температура материала, °С;

6. Теплота, вносимая материалом:

$$Q_{M1} = G_2 c_M t_M^H = 16 \text{ кВт},$$

где G_2 – производительность по высушенному материалу, кг/с;

Расход теплоты определяется:

- 1) количеством тепла, уносимым продуктами горения;
- 2) количеством тепла, уходящим с сухим материалом;
- 3) потерями тепла в сопловых блоках;
- 4) потерями тепла в окружающую среду.

Значения этих теплот рассчитаны следующим образом:

1. Тепло, уносимое продуктами горения:

$$Q_{2CM} = L_{CG}^{CM} I_2 B = 2433 \text{ кВт},$$

где I_2 – теплосодержание дымовых газов, кДж/кг.

2. Тепло, уходящее с сухим материалом:

$$Q_{M2} = G_2 C_M t_M^K = 72 \text{ кВт},$$

где C_M – теплоемкость влажного материала на выходе из сушилки, кДж/(кг·К);

t_M^K – конечная температура материала, °С.

3. Потери тепла в сопловых блоках:

$$Q_{POT}^m = B Q_H^p (1 - \eta_m) = 124 \text{ кВт},$$

где η_m – термический к.п.д.

4. Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{POT}^{OKR} = q_{POT} W = 29 \text{ кВт},$$

где q_{POT} – удельный тепловой поток, кДж/кг.

Результаты теплового расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1-Тепловой баланс процесса сушки

Приход	кВт	%	Расход	кВт	%
Физическая теплота топлива	1,2	0,05	Тепло, уносимое продуктами горения	2433	84,7
Теплота, вносимая топливом при его сжигании	2501	87,1	Тепло, уходящее с сухим материалом	72	2,6
Теплота, вносимая атмосферным воздухом	116	4	Потери тепла в сопловых блоках	124	4,3
Теплота, вносимая атмосферным воздухом, смешиваемым с продуктами горения топлива	203	7	Потери тепла в окружающую среду	29	1
Теплота, вносимая влагой материала	34	1,2			
Теплота, вносимая материалом	16	0,56			
			Невязка прихода с расходом	213,2	7,4
Итого:	2871,2	100	Итого:	2871,2	100

Результаты и их обсуждение

Результаты расчета теплового баланса зерносушилки «кипящего слоя» показывают:

1) сушка зерна в рассматриваемых условиях на 50...60% эффективнее по расходу тепла традиционных способов сушки [3,4];

2) для обеспечения работы зерносушилки применяются дешевые и доступные источники тепла – биогаз и попутный газ.

Выводы

Проанализировав полученные результаты, необходимо заметить, что сушилка «кипящего слоя» является экологически безопасным, энергоэффективным, инновационным аппаратом, предназначенным для сушки зерна, фруктов, сахара и аналогичных сыпучих продуктов. Аппарат адаптирован к условиям средней полосы России, в частности Пензенского региона.

Список литературы

1. Терентьев А. Б., Голощапов В. М., Баклин А. А. Автономная энергоэффективная установка для сушки зерна сыпучих материалов.//Патент RU № 2440543 04.06.2010 г.
2. Автономная зерносушилка на альтернативных источниках энергии/А. А. Баклин, В. М. Голощапов, А. Б. Терентьев//Аграрный вестник Урала. – 2011. – N 6. – С. 40–42
3. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств/А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Гордеев, А. И. Завражнов. – М.: КолосС, 2007. – 591 с.: ил.

ANALYSIS OF ENERGY WORK DRYER FLUIDIZED BED

A.B. Terentev, K.Y. Mokrousova, S.V. Chekaykin

The article considers the thermal processes occurring in the dryer «fluidized layer» that run on cheap and affordable fuel - biogas and associated gas.

Keywords: grain dryer, biogas, passing gas, combustion, heat balance, energy efficiency.

References

1. Terentev A. B., Goloshchapov V. M., Bucklin A. A. Autonomous energy-efficient system for drying grain bulk materials.//Patent RU № 2440543 04.06.2010.
2. Autonomous grain dryer on alternative energy sources/A. A. Bucklin, V. M. Goloshchapov, A. B. Terentev//Agrarian bulletin of the Urals. – 2011. – N 6. – P. 40–42
3. Equipment and automation of processing industries/A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, A. Gordeev, A. I. Zavrzhnov. – M.: KolocS, 2007. – 591 p.: ill.