

## 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-

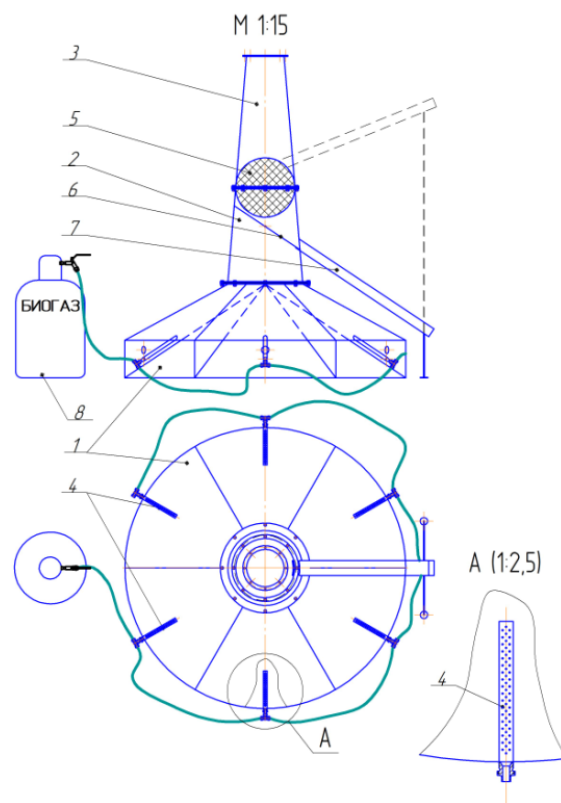


Рис. 1. Установка кипящего слоя

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  $\alpha_0$  – 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  $\eta_m$  – 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
<b>Итого:</b>	<b>2871,2</b>	<b>100</b>	<b>Итого:</b>	<b>2871,2</b>	<b>100</b>

### 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.