

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СУШКЕ ТВЕРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ВОСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ БИОГАЗА

Фролов Д.И., Чекайкин С.В., Терентьев А.Б.

В настоящее время в качестве теплоносителя в сушилках в основном используется горячий воздух, высокая температура которого обеспечивается применением различных нагревательных устройств. Работа этих устройств требует значительных затрат различных традиционных видов энергии. Сами сушилки имеют сложную конструкцию, большие массогабаритные характеристики, сложны в техническом обслуживании и высокую стоимость. Свести к минимуму зависимость сушки в «кипящем» слое от применения традиционных источников энергии и обеспечить полную автономность процесса, значительно упростить конструкцию сушилки может применение в качестве сушильного агента высоконагретых продуктов горения альтернативных источников энергии (биогаза или попутного газа), разгоняемых в сушилке в условиях естественной конвекции. Запас таких источников тепловой энергии практически неисчерпаем, весьма доступен, и их использование не влечет за собой больших экономических затрат. Для разработки математической модели расчета теплового баланса сушки в установке была составлена схема теплоприхода и теплоотвода в ней. Для исследования зависимости энергии продуктов горения смеси биогаза с воздухом от перечисленных факторов был использован современный программный комплекс TERRA «Программа термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем, а также их термодинамических и транспортных свойств». В результате расчетов для 7 смесей получены текстовые и графические данные. Графические зависимости показывают, что с ростом равновесной температуры ПГ их энтальпия увеличивается. В то же время значительное влияние на значение энтальпии оказывает исходный состав смеси «биогаз – воздух». Проведенные термодинамические расчеты показали, что теплотворная способность ПГ смесей «биогаз – воздух» обеспечивает требуемые условия по сушке твердых сыпучих материалов в «кипящем» слое, создаваемом в разрабатываемой установке.

Ключевые слова: биогаз, энергетический баланс, энергосбережение, тепловой баланс, сушка горячим воздухом, сушка в псевдосжиженном (кипящем) слое, конвекция.

Введение

Теплообменом называется передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому через разделяющую их стенку (поверхность теплопередачи) или при смешении теплоносителей (разделяющая стенка отсутствует и поверхностью теплопередачи является поверхность контакта фаз обоих теплоносителей) [2–5]. Процессам сушки сыпучих материалов в восходящем потоке продуктов горения биогаза (в «кипящем» слое) соответствует второй случай. Передача тепла осуществляется путем конвекции и теплопроводности.

Конвекция – перенос тепла частицами жидкостей и газов путем их перемещения из одной части пространства в другую.

Теплопроводность – передача тепла между соприкасающимися частицами тела без перемещения этих частиц. Частицы, совершая колебательное движение, сталкиваются друг с другом. При этом более нагретые частицы тела сообщают соседним частицам часть своей кинетической (тепловой) энергии.

Все эти процессы нашли применение в сушилках, где в качестве теплоносителя в основном используется горячий воздух. Для протекания процесса сушки требуются значительные затраты энергии. Обеспечить полную автономность процесса и значительно упростить конструкцию сушилки может применение в качестве сушильного агента высоконагретых продуктов горения альтернативных источников энергии – биогаза или попутного газа. Данный способ использования попутного газа поможет свести к минимуму зависимость сушки в «кипящем» слое от применения традиционных источников энергии.

Целью работы являлось проведение анализа тепловых процессов, протекающих при сушке сыпучих твердых порошков в восходящем потоке продуктов горения биогаза.

Для решения цели исследования была поставлена задача по проведению тепловых расчетов установки, предназначенной для сушки твердых сыпучих материалов в восходящем нагретом газовом потоке.

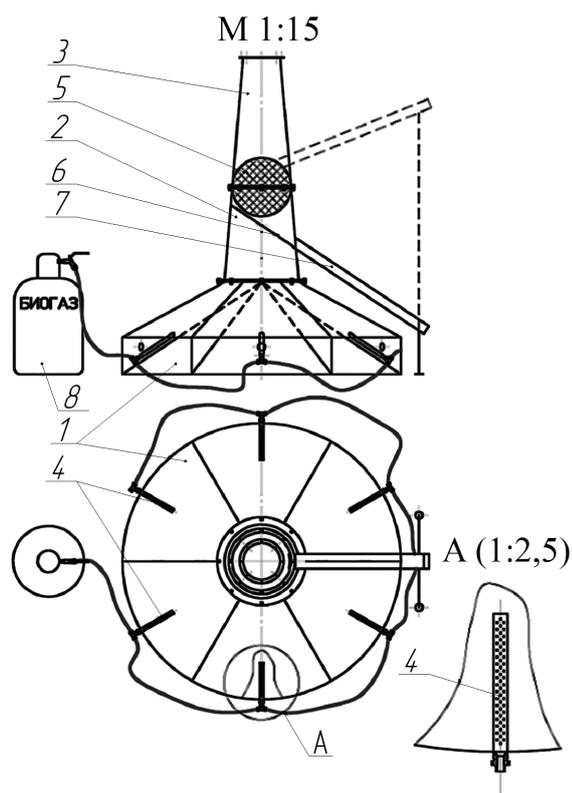


Рис. 1. Установка сушки в «кипящем» слое: 1 – сопловой блок; 2 – нижний конус; 3 – верхний конус; 4 – горелка; 5 – газораспределительная решетка; 6 – устройство загрузки материала; 7 – устройство выгрузки материала; 8 – баллон с биогазом (попутным газом)

Объекты и методы исследований

Для разработки математической модели расчета теплового баланса сушки в установке была составлена схема теплоприхода и теплоотвода в ней.

В соответствии со схемой тепло в сушильную камеру поступает:

- 1) с сушильным агентом (продуктами горения смеси биогаза с воздухом);
- 2) с объектом сушки (высушиваемым материалом);
- 3) с влагой, испаряемой из материала;
- 4) с решеткой, на которой размещается материал.

Из сушильной камеры тепло уносится:

- 1) с продуктами горения, выходящими из сушилки;
- 2) с материалом, выходящим из сушилки;
- 3) с влагой, удаляющейся в виде пара вместе с ПГ;
- 4) с потерями тепла через стенки корпуса сушильной камеры.

Таким образом, тепло, которое затрачивается на сушку, расходуется на нагревание материала, испарение воды и на нагрев корпуса сушильной камеры (потери в окружающую среду).

Для расчета количества тепла, необходимого для обеспечения сушки твердых сыпучих материалов, необходимо выбрать условия сушки, харак-

терные для разрабатываемой установки. Поэтому условия сушки заданы следующими исходными данными:

- 1) количество ПГ смеси биогаза с воздухом, поступающих в сушилку $L = 1,85$ кг/с;
- 2) энтальпия уходящих ПГ $I_2 = 789$ кДж/кг;
- 3) масса поступившего в сушилку сухого материала $G = 40$ кг;
- 4) теплоемкость высушенного материала $c = 1,27$ кДж/кг·град;
- 5) начальная температура материала $t_n = 20$ °С;
- 6) количество влаги, поступающей в сушилку с материалом $\omega = 10$ кг;
- 7) теплоемкость воды $c_b = 4,2$ кДж/кг·с;
- 8) масса решетки $G_4 = 40$ кг;
- 9) теплоемкость материала, из которого изготовлена решетка $c_4 = 0,47$ кДж/кг·град;
- 10) начальная температура решетки $t_4 = 20$ °С;
- 11) конечная температура материала, выходящего из сушилки $t_k = 120$ °С;
- 12) энтальпия водяного пара $i = 2650$ кДж/кг;
- 13) потери тепла через стенки корпуса сушильной камеры $Q_4 = 90$ кДж/кг.

После теоретического решения находим количество теплоты $Q_1 = 30704$ кДж/кг.

Таким образом, получаем, что для обеспечения выбранных условий сушки ПГ смеси биогаза (попутного газа) должны обладать энергией, равной 30704 кДж/кг.

Значение энергии ПГ зависит от многих факторов. В связи с этим рассмотрены важнейшие из этих зависимостей с целью оптимизации условий подачи ПГ в сушильную камеру разрабатываемой установки.

Продукты горения образуются при сжигании биогаза (попутного газа) в атмосфере воздуха на входе в сопловой блок сушилки (рис. 1).

Очевидно, что количество продуктов горения будет зависеть от следующих факторов:

- массоприхода биогаза из баллона 8 в зону горения (сопловой блок);
- степени смешения биогаза с воздухом (стехиометрическое соотношение горючих компонентов и окислителя в смеси).

Энтальпия ПГ смеси биогаза с воздухом зависит от факторов, определяемых термодинамикой процесса. К ним относятся:

- исходный состав смеси биогаза с воздухом;
- давление, при котором протекает горение;
- температура горения.

Следует отметить, что горение смеси биогаза с воздухом в сопловом блоке сушилки будет всегда протекать при атмосферном давлении (0,1 МПа), поэтому энтальпия ПГ будет зависеть от состава исходной смеси и одного термодинамического параметра – температуры горения.

Для исследования зависимости энергии продуктов горения смеси биогаза с воздухом от перечисленных факторов воспользуемся современным программным комплексом TERRA «Программа

термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем, а также их термодинамических и транспортных свойств». Программа TERRA (АСТРА) разработана в МГТУ им. Н. Э. Баумана [6–8].

Энергия ПГ смеси биогаза с воздухом (теплота горения) является термодинамическим параметром. Термодинамический расчет состава и свойств ПГ энергонасыщенных систем, к которым относится и смесь биогаза с воздухом, является частью многих задач высокотемпературной энергетики и характеризуется большим разнообразием методов. Одним из наиболее используемых методов решения системы уравнений химического равновесия является метод Ньютона [6–8], реализуемый на ЭВМ. Метод заключается в последовательном нахождении поправок относительно неизвестных величин решением системы линейных уравнений [9, 10].

Однако решение системы уравнений химического равновесия методом Ньютона не всегда обеспечивает сходимость последовательных приближений. В частности, «отказ» модели расчета может произойти при наличии многокомпонентного состава конденсированной фазы в продуктах горения. В этих случаях можно воспользоваться либо специальными приемами, либо современными универсальными средствами расчета состава и свойств ПГ, например, «Программой термодинамического расчета состава фаз произвольных гетерогенных систем, а также их термодинамических и транспортных свойств» TERRA (АСТРА). Программный комплекс TERRA является универсальным, поэтому отметим лишь физическую сущность построения модели расчета равновесного состава и свойств продуктов горения.

В соответствии со вторым законом термодинамики равновесие системы характеризуется максимумом энтропии S относительно термодинамических степеней свободы, к числу которых относятся концентрации компонентов равновесной смеси M_i , температура T и давление P [11–16]. Удельный объем W , как и внутренняя энергия U при этом остаются независимыми переменными.

Внутренняя энергия и удельный объем также связаны с концентрацией компонентов термодинамической системы, с температурой и давлением.

Расчет термодинамических параметров ПГ с помощью программного комплекса TERRA (АСТРА) возможен, когда известны любые два термодинамических параметра и элементарный состав смеси биогаза с воздухом. В условиях горения смеси биогаза с воздухом удобно использовать в качестве входных параметров давление продуктов горения и их температуру.

Горение смеси биогаза с воздухом протекает на входе в сушилку в нижней части соплового блока. Высокотемпературные ПГ разгоняются в диффузорах соплового блока 1 и далее в конусе 2 общего диффузора за счет естественной тяги и тяги, развиваемой за счет сужения канала течения. Продукты горения

несут тепло Q_1 слою высушиваемого материала, находящегося на решетке сушилки.

Результаты и их обсуждение

Для того, чтобы оценить возможности разрабатываемой сушилки по теплотворной способности, проведены термодинамические расчеты с использованием программы TERRA с целью определения энтальпии ПГ, образующихся при сгорании смесей биогаза с воздухом различного состава при различных температурах. В частности, составы смесей биогаза с воздухом выбраны, исходя из их соотношений от 20/80 до 80/20 биогаза и воздуха соответственно. Термодинамические расчеты проводились при температурах 1500, 2000 и 2500 К.

В результате расчетов для 7 смесей получены текстовые и графические данные. Ниже приведена текстовая информация (рисунок 2), полученная для смеси № 1 состава «биогаз – воздух 20/80».

Далее на рисунке 3 представлены графики, полученные в результате обработки результатов расчета для этой же смеси. Они характеризуют состав ПГ при различных температурах.

Основной информацией из результатов расчета, необходимой в данном случае, являются полученные данные по энтальпии ПГ при различных температурах. В частности, для смеси № 1 состава «биогаз – воздух 20/80» энтальпия ПГ оказалась равной 384 кДж/кг при температуре 1500 К, 1306 кДж/кг (2000 К) и 2409 кДж/кг (2500 К).

Количество тепла, необходимого для сушки, равно произведению количества (массоприхода) ПГ на суммарную энтальпию ПГ. Поэтому, зная энергосодержание (энтальпию) ПГ, можно регулировать подачу биогаза и воздуха в зону горения, обеспечивая требуемые условия по энтальпии ПГ.

Таким образом, проведенные термодинамические расчеты показывают, что теплотворная способность ПГ смесей «биогаз – воздух» обеспечивает требуемые условия по сушке твердых сыпучих материалов в «кипящем» слое, создаваемом в разрабатываемой установке.

Выводы

Для разработки математической модели расчета теплового баланса сушки в установке составлена схема теплоприхода и теплоотвода в ней. В соответствии со схемой тепло в сушильную камеру поступает с сушильным агентом (ПГ смеси биогаза с воздухом), высушиваемым материалом, влагой, испаряемой из материала, и решеткой, на которой размещается материал. Из сушильной камеры тепло уносится с ПГ, выходящими из сушилки, материалом, выходящим из сушилки, влагой, удаляющейся в виде пара вместе с ПГ, и с теплопотерями в окружающую среду. Тепло, которое затрачивается на сушку, расходуется на нагревание материала,

Исходный состав: (C12.7952H35.874N42.4756O13.4948 - 100)
 Состав, моль/кг: С 12.786 Н 35.849 N 42.446 O 13.485
 1-й параметр: Т =1500-2500/500
 2-й параметр: р =0.1

Равновесные параметры при р=0.1 МПа, Т=1500 К (единицы СИ):

p=0.1	T=1500	v=6.47686	S=12.0544	I=383.885
U=-135.066	M=51.9332	Cp=1.77881	k=1.32056	Cp'=1.78667
k'=1.3189	Ap=0.0006668	Bv=0.0006668	Gt=0.00001	MMg=19.2555
Rg=431.791	Cpg=1.77881	kg=1.32056	Cp'g=1.78667	k'g=1.3189
Mu=0.0000504	Lt=0.187056	Lt'=0.187056	Pr=0.479231	Pr'=0.48135
A=924.233	z=0			

Равновесные концентрации (моль/кг):

O = 0.1245e-10	H = 0.5293e-3	H2 = 17.376	OH = 0.4730e-6
H2O = 0.5468	N = 0.2015e-11	N2 = 21.223	NO = 0.5906e-8
NH = 0.3367e-9	NH2 = 0.3060e-7	NH3 = 0.4002e-3	HNO = 0.1005e-11
CO = 12.633	CO2 = 0.15287	CH2 = 0.3332e-11	CH3 = 0.1301e-6
CH4 = 0.2028e-3	C2H2 = 0.3026e-7	C2H3 = 0.6108e-11	C2H4 = 0.2730e-8
C2H6 = 0.7955e-11	CHO = 0.2098e-6	CH02 = 0.1108e-8	CH2O = 0.1907e-5
CH2O2 = 0.6763e-7	CN = 0.4039e-10	C2N2 = 0.1311e-10	HCN = 0.3481e-3
HNC = 0.8939e-9	C3HN = 0.1402e-10	N2C = 0.5913e-9	

Равновесные параметры при р=0.1 МПа, Т=2000 К (единицы СИ):

p=0.1	T=2000	v=8.63997	S=12.584	I=1306.08
U=570.88	M=51.9581	Cp=1.85455	k=1.30368	Cp'=1.93225
k'=1.29233	Ap=0.0005032	Bv=0.0005031	Gt=0.00001	MMg=19.2463
Rg=431.999	Cpg=1.85455	kg=1.30368	Cp'g=1.93225	k'g=1.29233
Mu=0.0000608	Lt=0.236958	Lt'=0.26244	Pr=0.475558	Pr'=0.447374
A=1056.55	z=0			

Равновесные концентрации (моль/кг):

O = 0.3468e-6	O2 = 0.5176e-8	H = 0.04882	H2 = 17.297
OH = 0.1686e-3	HO2 = 0.6085e-11	H2O = 0.60319	H2O2 = 0.1131e-10
N = 0.2993e-7	N2 = 21.223	NO = 0.6242e-5	N2O = 0.2538e-9
NH = 0.2993e-6	NH2 = 0.1238e-5	NH3 = 0.1291e-3	N2H2 = 0.2069e-10
HNO = 0.1253e-8	C = 0.1308e-11	CO = 12.69	CO2 = 0.09603
C2O = 0.2135e-10	CH = 0.4062e-11	CH2 = 0.4164e-9	CH3 = 0.1173e-6
CH4 = 0.2078e-5	C2H = 0.1874e-11	C2H2 = 0.9663e-8	C2H3 = 0.3050e-11
C2H4 = 0.2093e-10	CHO = 0.4256e-5	CH02 = 0.2440e-7	CH2O = 0.1758e-5
CH2O2 = 0.5593e-7	CN = 0.1553e-7	CN2 = 0.5662e-10	C2N2 = 0.2643e-10
NCO = 0.2287e-9	HCN = 0.2817e-3	HNC = 0.2162e-7	C3HN = 0.1372e-11
N2C = 0.1790e-7	e- = 0.1221e-10	H3O+ = 0.8808e-11	NH4+ = 0.2534e-11

Равновесные параметры при р=0.1 МПа, Т=2500 К (единицы СИ):

p=0.1	T=2500	v=10.8734	S=13.0735	I=2409.27
U=1451.6	M=52.3115	Cp=1.907	k=1.29546	Cp'=2.66594
k'=1.23125	Ap=0.0004316	Bv=0.0004301	Gt=0.0000101	MMg=19.1162
Rg=434.937	Cpg=1.907	kg=1.29546	Cp'g=2.66594	k'g=1.23125
Mu=0.0000702	Lt=0.285443	Lt'=0.570099	Pr=0.469277	Pr'=0.328473
A=1154.99	z=0			

Равновесные концентрации (моль/кг):

O = 0.1633e-3	O2 = 0.2431e-5	H = 0.7493	H2 = 16.928
OH = 0.00563	HO2 = 0.3013e-8	H2O = 0.61858	H2O2 = 0.9532e-9
N = 0.9730e-5	N2 = 21.223	N3 = 0.5412e-11	NO = 0.4063e-3
NO2 = 0.1719e-9	N2O = 0.1627e-7	NH = 0.1748e-4	NH2 = 0.1124e-4
NH3 = 0.6427e-4	N2H2 = 0.2711e-9	NH3 = 0.4828e-11	HNO = 0.9251e-7
HNO2 = 0.4049e-10	NH3O = 0.1197e-11	C = 0.1417e-8	CO = 12.711
CO2 = 0.07459	C2O = 0.5614e-9	CH = 0.9746e-9	CH2 = 0.7449e-8
CH3 = 0.1094e-6	CH4 = 0.1392e-6	C2H = 0.4128e-10	C2H2 = 0.5113e-8
C2H3 = 0.2065e-11	C2H4 = 0.1174e-11	CHO = 0.2584e-4	CH02 = 0.1589e-6
CH2O = 0.1683e-5	CH2O2 = 0.5186e-7	CH3O = 0.2876e-11	CN = 0.5599e-6
CN2 = 0.1441e-8	C2N = 0.1433e-11	C2N2 = 0.4370e-10	NCO = 0.8213e-8
HCN = 0.2534e-3	HNC = 0.1485e-6	N2C = 0.1467e-6	e- = 0.2427e-8
H- = 0.2768e-11	OH- = 0.1497e-11	H3O+ = 0.1725e-8	NO+ = 0.7525e-10
NH4+ = 0.3887e-10	CHO+ = 0.5942e-9	CN- = 0.2958e-11	

Рис. 2. Результаты расчета для смеси № 1

испарение воды и на нагрев корпуса сушильной камеры (потери в окружающую среду).

Для расчета количества тепла, необходимого для обеспечения сушки твердых сыпучих материалов, с использованием разработанной математической модели, выбраны условия сушки, характерные для разрабатываемой установки. По результатам

проведенных расчетов для обеспечения выбранных условий сушки ПГ смеси биогаза (попутного газа) должны обладать энергией, равной 30034 кДж/кг.

С целью оценки возможности разрабатываемой сушилки по теплотворной способности проведены термодинамические расчеты с использованием программы TERRA по определению энтальпии

ПГ, образующихся при сгорании смесей биогаза с воздухом различного состава при различных температурах. Составы смесей биогаза с воздухом выбраны, исходя из их соотношений от 20/80 до 80/20 биогаза и воздуха соответственно. Термодинамические расчеты проводились при температурах 1500, 2000 и 2500 К.

В результате расчетов для 7 смесей получены текстовые и графические данные. Основной информацией из результатов расчета, необходимой в данном случае, являются полученные данные по энтальпии ПГ при различных температурах. В частности, для смеси № 1 состава «биогаз – воздух 20/80» энтальпия ПГ оказалась равной 384 кДж/кг при температуре 1500 К, 1306 кДж/кг (2000 К) и 2409 кДж/кг (2500 К).

Проведенные термодинамические расчеты показали, что теплотворная способность продуктов

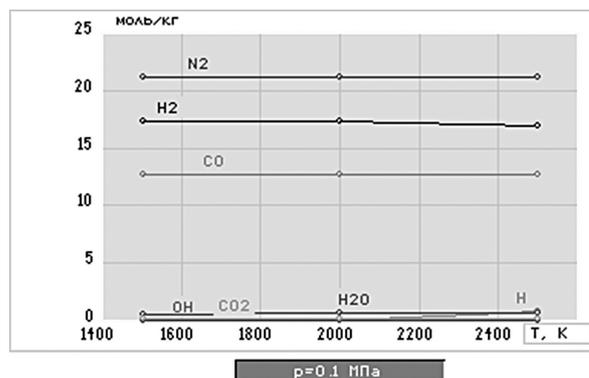


Рис. 3. Состав продуктов горения при различных температурах (смесь № 1)

горения смесей «биогаз – воздух» обеспечивает требуемые условия по сушке твердых сыпучих материалов в «кипящем» слое, создаваемом в разрабатываемой установке.

Список литературы

- [1] Мокросусова, К.Ю. Установка для сушки сыпучих материалов в восходящем потоке продуктов горения биогаза или попутного газа / К.Ю. Мокросусова, А.Б. Терентьев, С.В. Чекайкин. – Патент на изобретение № 2575491 от 16.01.2016 г.
- [2] Айнштейн, В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и [др.] – М.: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 1. – 912 с.
- [3] Айнштейн, В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и [др.] – М.: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 2. – 872 с.
- [4] Антипов, С.Т. Машины и аппараты пищевых производств. Часть 1 [Текст] / Под ред. Панфилова В.А. – Минск: БГАТУ, 2008. – 580 с.
- [5] Остриков, А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Часть 1 [Текст]. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
- [6] Трусов, Б.Г. Автоматизированная система термодинамических данных и расчетов равновесных состояний / В кн.: Математические методы химической термодинамики [Текст] / Б.Г. Трусов, С.А. Бадрак, В.П. Туров. – Новосибирск: Наука, 1982.
- [7] Трусов, Б.Г. Метод, универсальный алгоритм и программа термодинамического расчета многокомпонентных гетерогенных систем [Текст] / Б.Г. Трусов и [др.] – М.: МВГУ, 1978. – 54 с.
- [8] Синярев, Г.Б. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов [Текст] / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов. – М.: Наука, 1982. – 264 с.
- [9] Фролов Д.И., Курочкин А.А. Нелинейное оценивание динамических нагрузок модели ботвоудаляющего рабочего органа // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. № 2 (18). С. 299–305.
- [10] Анализ процесса движения воздуха внутри кожуха ботвоудаляющего рабочего органа с обоснованием оптимального угла наклона ножей / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.Е. Каширин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2015. № 4 (28). С. 67–72.
- [11] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 36–40.
- [12] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [13] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29–34.
- [14] Курочкин А.А., Фролов Д.И., Воронина П.К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.

- [15] Коновалов В. В., Курочкин А. А., Фролов Д. И. Методология проектирования смесителей-увлажнителей сыпучих пищевых продуктов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 189–196.
- [16] Фролов Д. И., Фудин К. П. Влияние конвективной сушки и температурного режима на содержание химических веществ в репчатом луке // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 1 (29). С. 84–89.

RESEARCH OF THERMAL PROCESSES AT DRYING OF SOLID LOOSE MATERIALS IN AN ASCENDING STREAM OF PRODUCTS OF BURNING OF BIOGAS

Frolov D.I., Chekaykin S.V., Terentev A.B.

At present, hot air is mainly used as the coolant in dryers, the high temperature of which is provided by the use of various heating devices. the operation of these devices requires considerable expenditure of various traditional types of energy. the dryers themselves have a complex design, large weight and size characteristics, are difficult to maintain and costly. to minimize the dependence of drying in the «boiling» layer on the use of traditional energy sources and to ensure complete autonomy of the process, the use of high-heated combustion products of alternative energy sources (biogas or associated gas) that can be accelerated in a dryer under natural conditions convection. The stock of such sources of thermal energy is practically inexhaustible, very accessible, and their use does not entail large economic costs. to develop a mathematical model for calculating the heat balance of drying in the installation, a heat input and heat removal scheme was compiled in it. to study the dependence of the energy of the combustion products of the biogas mixture with air on these factors, the modern program complex terra «program of thermodynamic calculation of the phase composition of arbitrary heterogeneous systems, as well as their thermodynamic and transport properties» was used. As a result of calculations for 7 mixtures, text and graphic data were obtained. the graphical dependences show that, as the equilibrium temperature increases, their enthalpy increases. At the same time, the initial composition of the «biogas-air» mixture has a significant influence on the enthalpy value. The thermodynamic calculations have shown that the calorific value of the biogas-air mixtures of pg provides the required conditions for drying the solid bulk materials in the «boiling» layer created in the system under development.

Keywords: biogas, energy balance, energy conservation, thermal balance, hot air drying, fan, burning grain dryer, fluidized bed drying, convection.

References

- [1] Mokronosova, K.Y. Installation for drying bulk materials in the upward flow of combustion products of biogas, or associated gas / K.Y. Mokrousov, A.B. Terent'ev, S.V. Chebykin. – Patent for the invention № 2575491 from G. 16.01.2016
- [2] Ainstein, V.G. General course of processes and apparatuses of chemical technology [Text] / V.G. Ainshtein, M.K. Zakharov, G.A. Nosov and [others]–M.: Logos, Higher school, 2003. KN. 1.– 912 p.
- [3] Ainstein, V.G. General course of processes and apparatuses of chemical technology [Text] / V.G. Ainshtein, M.K. Zakharov, G.A. Nosov and [others]–M.: Logos, Higher school, 2003. KN. 2.– 872 p.
- [4] Antipov, S.T. Machines and equipment for food production. Part 1 [Text] / ed. by Panfilov V.A. – Minsk: bhatu, 2008.– 580 p.
- [5] Ostrikov, A.N. Processes and devices of food manufactures. Part 1 [Text].–M.: Higher school, 2001.– 703 p.
- [6] Trusov, B.G. Automated system for thermodynamic data and calculations of equilibrium States / In kN.: Mathematical methods of chemical termodinamiki [Text] / B.G. Trusov, S.A. Badrak, V.P. Tours. – Novosibirsk: Nauka, 1982.
- [7] Trusov, B.G. Method, a versatile algorithm and software for thermodynamic calculation of multicomponent heterogeneous systems [Text] / B.G. Trusov, and [etc.]. – M. Bauman, 1978.– 54 s.
- [8] Siniarev, G.B. Application of computers for thermodynamic calculations of metallurgical processes [Text] / G.B. Siniarev, N.A. Vatolin, B.G. Trusov. – M.: Nauka, 1982.– 264 p.

- [9] Frolov D.I., Kurochkin A.A. the estimation of Nonlinear dynamic load models botopasie working body of // Models, systems, networks in Economics, technic, nature and society. 2016. No. 2 (18). P. 299–305.
- [10] Analysis of the process of air movement inside the housing botopasie working on a study of optimum tilt angle of the knives / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G. V. shaburova, D.E. Kashirin // Bulletin of Ryazan state agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2015. No. 4 (28). S. 67–72.
- [11] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Technology of production of feed based on the thermo-vacuum treatment of waste of agricultural production // Innovative technology. 2014. No. 4 (01). P. 36–40.
- [12] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Multicomponent extrudate based on wheat and milk Thistle seed // proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2015. No. 4. P. 76–81.
- [13] Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum chamber / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G. V. shaburova, P.K. Voronina // Innovative technology. 2015. No. 1 (02). S. 29–34.
- [14] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Determination of basic parameters of the vacuum chamber of the upgraded extruder // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural Academy. 2015. No. 4 (32). P. 172–177.
- [15] Kononov V.V., Kurochkin A.A., Frolov, D. I. a methodology for the design of mixers, humidifiers bulk foods // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2014. No. 6 (22). P. 189–196.
- [16] Frolov D.I., To K.P. the Influence of convective drying and temperature on the content of chemical substances in the bulb onions // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2016. No. 1 (29). P. 84–89.