

УДК 66.071.9

**Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВЫБОРНОВ, Д. В. САВИЧ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦИАЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены характеристики запыленных газовых потоков от обжига различного сырья в производстве огнеупорной промышленности, определяющим образом влияющих на тепловой потенциал и состав уходящих газов. Выполнен анализ состава и качества уходящих газов данного вида производства.

**Ключевые слова:** огнеупорная промышленность, тепловое загрязнение, запыленный газовый поток, тепловой потенциал.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Постоянная интенсификация производственной деятельности человека, сопряженная с тепловыми выбросами, приводит к изменению химического состава и физических свойств грунтовых и подземных вод, а также поверхностного водостока, структуры почв, усилению геохимических процессов, изменению всего ландшафта. Неразумное использование природных ресурсов приводит к загрязнению и изменению биосферы [1].

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

На сегодняшний день научно-технический прогресс на своей стадии развития достиг огромного потенциала для повышения комфортности и качества жизни человека. Тем не менее он также создал угрозу существованию человека и всего живого на Земле из-за нарушения естественного круговорота веществ в биосфере сложившихся в ходе эволюции процессов обмена веществом, энергией, информацией в биогеоценозах. По данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время используется более 500 000 различных химических соединений, из которых около 40 000 имеют вредные для человека свойства, а 12 000 токсичны. В биосферу Земли ежегодно поступает более 30 млрд т промышленных и бытовых отходов [1]. Многими авторами [2–4] рассматривались проблемы неэффективного использования теплоты уходящих газов на обжиговых производствах, однако предложенный материал не дает возможности оценить в достаточной мере полный тепловой потенциал данных мероприятий. При этом выдвигались интересные решения, к примеру разместить оборудование для глубокой утилизации тепла продуктов сгорания при их движении между сушильным барабаном и электрофильтром. В виду того, что остатки водяных паров, содержащихся в дымовых газах, после утилизации способны продолжать конденсироваться на стенках газоотводящих каналов, тягодутьевого оборудования и дымовой трубы, а следовательно – и в электрофильтре, рекомендуется поддерживать температуру дымовых газов за теплоутилизатором выше температуры точки росы путём байпасирования или подмешиванием горячего воздуха из холодильной установки [2].

### **ЦЕЛЬ**

Целью данной статьи является анализ теплового потенциала выбросов запыленных дымовых газов от теплотехнологического оборудования производства огнеупорной промышленности для его реализации в энергосберегающих мероприятиях в виде глубокой утилизации теплоты водяных паров.

© Б. В. Кляус, Д. В. Выборнов, Д. В. Савич, 2017

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Высокотемпературные процессы лежат в основе производств строительных и других материалов. Данные процессы совершаются в промышленных печах, в которых материалам придаются свойства, требуемые для конечного продукта или необходимые для дальнейшей обработки. В печах для тепловой обработки материалов одновременно протекает ряд сложных процессов: газификация и горение топлива, движение дымовых газов в рабочем пространстве, передача тепла от горящего факела и дымовых газов к обрабатываемому материалу (непосредственно или посредством вторичного излучателя – кладки), продвижение теплового потока от поверхности изделий внутрь, экзотермические и эндотермические процессы при изменении свойств обрабатываемого материала и т. д. Все эти сложные процессы взаимно связаны, их совокупность составляет суммарный процесс тепловой обработки [5].

Вся производственная пыль и большая часть дымовых газов, обладающих высокой температурой, выносимых из печей производства огнеупорной промышленности, являются частью обрабатываемого сырья или уже готового продукта. Поэтому анализ их состава является важной ступенью перед тем, как улавливать вредные вещества и возвращать в технологический процесс. Улавливание твердых и отдельных газообразных составляющих дымовых газов является обязательным по условиям создания нормальных санитарно-гигиенических условий как в цехе, так и в районе размещения предприятия. Помимо этого, печи, как и все другие теплотехнологические агрегаты, являются источниками теплового загрязнения биосферы. Например, при производстве цементного клинкера во вращающихся печах потери теплоты достигают порядка 600...650 кДж на килограмм готовой продукции [6].

Содержание пыли в газах, выбрасываемых в атмосферу, по нормам различных стран колеблется от 80 до 1 000 мг/м<sup>3</sup>. Независимо от вида обрабатываемого сырья в печи вся пыль, которая содержится в обрабатываемом материале и размер частиц которой меньше критического, при своем движении по печи захватывается газом и вместе с ним поступает в обрабатываемую зону, где частично задерживается, частично же выносится из печи [6].

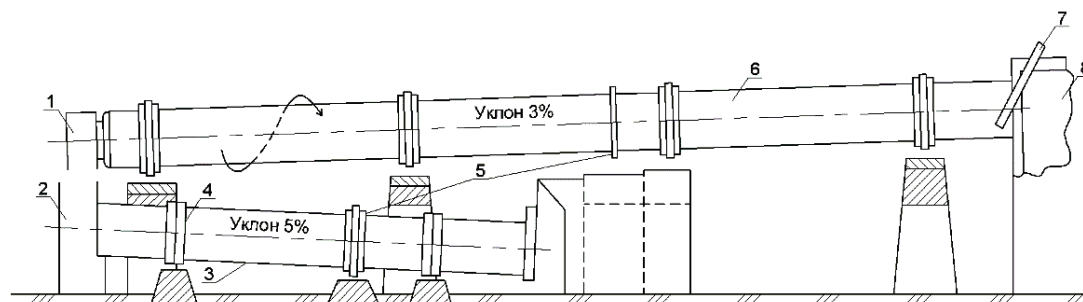
Проведём анализ данных выбросов запыленных дымовых газов на примере технологического процесса вращающихся печей производства огнеупорной промышленности. Вращающиеся печи относятся к наиболее высокопроизводительным и механизированным печным агрегатам для обжига глины, доломита, магнезита и известняка с целью изменения их физико-химических свойств [7]. На территории Донбасса располагаются три крупнейших предприятия по производству огнеупорных изделий:

- ПАО «Часовоярский огнеупорный комбинат» с максимальной годовой мощностью предприятия – 314,246 тыс. т огнеупоров, 38 тыс. т огнеупорных материалов, 800 тыс. т формовочных песков;
- ПАО «Великоанадольский огнеупорный комбинат», в состав которого входят 2 огнеупорных цеха производительностью свыше 300 тыс. т в год;
- ОАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» с ежегодной мощностью оборудования, составляющей 50 тыс. т.

Вращающаяся печь представляет собой длинный барабан, его устанавливают под небольшим углом к горизонту 3...50, вращающийся со скоростью 0,5...1,2 об./мин. В верхний холодный конец барабана, входящий в пылевую камеру, подается обжигаемый материал. Нижний горячий конец барабана входит в откатную головку, через которую в печь подается природный газ. Обожженный материал через щели откатной головки поступает в холодильник. Барабан печи делают сварным или клепаным из листовой стали толщиной 15...40 мм, диаметром 2,0...5,0 м, длиной от 40 до 185 м. Внутреннюю поверхность печи футеруют огнеупорным кирпичом. Для улучшения условий теплопередачи в печи встраивают различные теплообменные устройства типа перегревающих лопастей. С этой же целью футеровку печей выполняют сложной формы, например ячеистой. Пример схемы конструкции печи приведен на рис. 1.

В результате производства огнеупоров в промышленных печах образуются большие объёмы дымовых газов, включающих в себя оксиды углерода и азота, а также пыль от обрабатываемого сырья. Объём каждого компонента дымовых газов зависит от эффективности работы печи, вида применяемого топлива и характеристики изготавливаемого продукта, способа обжига сырья (сухой или мокрый) [8]. В табл. 1 [6] указаны объёмы дымовых газов от обжига различных материалов, а также количество и приблизительный фракционный состав уносимой ими пыли.

При освоении технологии очистки отходящих пылегазовых систем и оценке теплового потенциала уходящих газов важно знать основные свойства пыли, к которым можно отнести: химический



**Рисунок 1** – Схема вращающейся печи: 1 – головка; 2 – горячая камера; 3 – холодильник; 4 – бандаж; 5 – шестерня; 6 – печь; 7 – течка; 8 – холодная камера.

**Таблица 1** – Характеристика запыленности дымовых газов

Обрабатываемое в печи сырье	Размеры печи, м×м	Количество образующихся дымовых газов, м <sup>3</sup> /с	Фракции образующейся пыли, мкм	Количество выносимой пыли		Запыленность дымовых газов, г/м <sup>3</sup>
				кг/т	кг/ч	
Магнезит	170×4,5	51	0–60	145	7 000	120
	90×3,6	24		190	6 000	104
Доломит	90×3,6	36	5–25	170	5 500	90
Глина	65×2,5	14	–	75	800	36
Известняк	60×2,5	12	0–45	83	1 200	44

состав, плотность, абразивность, угол естественного откоса, слипаемость, смачиваемость, удельное электрическое сопротивление, дисперсность, токсичность, воспламеняемость и взрываемость, адгезионные свойства. Состав пыли в газах, при обжиге, определяется в основном составом исходных сырьевых компонентов материалов и зависит от технологических процессов производства. Рассмотрим характеристики ряда пылей, образующихся при производстве огнеупорных материалов [9]. Химические составы пылей в газах, образующихся в процессе обжига материалов, представлены в табл. 2. Следует обратить внимание на наличие оксидов натрия и калия Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, присутствие которых в водных растворах понижают поверхностное натяжение последних [3]. Физико-механические свойства пылей представлены в табл. 3.

**Таблица 2** – Химический состав огнеупорных материалов, %

Материал	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Потери при прокаливании
Глина Часов-Ярского месторождения	51,9	1,37	0,9	33,32	0,53	0,57	0,69	2,59	–	8,42
Доломит Щелковского месторождения	3,4	–	1,8	0,7	39	30,5	0,2	0,5	2,2	12,2
Известняк Студеновского месторождения	7	–	4,5	2,9	66,8	2,34	0,3	2,5	4,9	8,1
Магнезит	1,1	–	1,6	0,5	1,3	78,9	2,9	2,9	6,0	7,7

Исходя из характеристик, приведенных выше в таблицах, можно сделать вывод о том, что пыль выбросов производства огнеупорной промышленности, в частности глины и магнезита, сильнослипающаяся, что определяет эксплуатационную надежность работы пылеуловителя, а именно полное

Таблица 3 – Физико-механические свойства пылей

Физико-механические свойства пыли	Размерность	Глина Часов-Ярского месторождения	Доломит Щелковского месторождения	Известняк Студеновского месторождения	Магнезит
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	2 670	2 960	2 700	2 750
Угол естественного откоса	град	37	36	40	50
Слипаемость	Па	более 600	116	178	526
Смачиваемость	%	образует коллоидный раствор	99	99	85,6
Удельное электрическое сопротивление	Ом·м	1,3·10 <sup>8</sup>	3·10 <sup>6</sup>	1,8·10 <sup>8</sup>	1,3·10 <sup>8</sup>
Температура пылегазового потока	°С	150	250	150	190

или частичное забивание аппаратов осажженной пылью. По удельному электрическому сопротивлению и характеру влияния на эффективность электрофильтров пыль огнеупорного производства – эффективно осаждается в электрофильтрах. По результатам промышленных экспериментов методом пленочной флотации все пыли строительного производства относятся к среднесмачиваемым (поглощают до 80 % влаги) и хорошо смачиваемым (80...100 % влаги), что в свою очередь дает возможность применять мокрый способ очистки. Следовательно, при утилизации теплоты проблемы запыленности потока следует решать путем применения электрофильтров или аппаратов, работающих по мокрому способу очистки.

Температура пылегазового потока характеризует уходящие газы, содержащие в своём объёме пыль от процесса обжига перед пылеулавливающим оборудованием, а также показывает потенциал утилизации теплоты, что равным образом снизит нагрузку на это оборудование. Температура дымовых газов на выходе из печи составляет порядка 200...500 °С в зависимости от обжигаемого материала и реализуемого технологического процесса. В зависимости от объемов дымовых газов, образующихся при процессе обжига, а также их температур перед пылеулавливающим оборудованием существует потенциал использования технологии глубокой утилизации теплоты. В табл. 4 представлен тепловой потенциал, который может быть полезно использован при конденсации водяных паров уходящих газов.

Таблица 4 – Потенциал использования глубокой утилизации теплоты дымовых газов

Обжигаемый материал	Количество образующихся дымовых газов, м <sup>3</sup> /ч	Температура пылегазового потока до утилизации, t, °С	Температура пылегазового потока после утилизации, t, °С	Потенциал для тепловой утилизации, кДж
Глина	50 400	150	50	840...3 500
Доломит	129 600	250		1 680...7 000
Известняк	43 200	150		840...3 500
Магнезит	86 400	190		1 200...4 900
	183 600			

## ВЫВОДЫ

Рассмотренные выше характеристики запыленных газовых потоков от технологических процессов производства огнеупорной промышленности указывают на то, что необходимо уделять должное внимание в вопросе очистки уходящих газов в виду большого содержания вредных веществ, как газообразных, так и твёрдых. Расчетно-аналитические исследования позволяют сделать вывод о существенном, до 7 МДж, тепловом потенциале для применения теплоутилизационного оборудования с конденсацией водяных паров, содержащихся в дымовых газах в рамках энергосберегающих мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в защиту окружающей среды [Текст] / В. Ф. Панин, С. В. Романенко, А. А. Сечин, А. И. Сечин. – Т. : Изд. ТПУ, 2011. – 175 с.
2. Савич, Д. В. Очистка и утилизация теплоты дымовых газов на Часовоярском огнеупорном комбинате [Текст] / Д. В. Савич // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2013. – Вып. 2013-5(103). – С. 36–40.
3. Удовиченко, З. В. Исследование характеристик отходящих газов сушильных барабанов Часовоярского огнеупорного комбината [Текст] / З. В. Удовиченко, Д. В. Савич // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2014. – Вып. 2014-3(107). – С. 37–40.
4. Kiosov, A. D. Deep recovering and storing of the heat of flue gases from boilers [Текст] / A. D. Kiosov, G. D. Avrutskii // Thermal Engineering (Теплоенергетика). – 2011. – Volume 58, Issue 11. – P. 948–952.
5. Щукин, А. А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов [Текст] / А. А. Щукин. – М. : Энергия, 1973. – 224 с.
6. Лисиенко, В. Г. Вращающиеся печи теплотехника, управление и экология [Текст]. Книга 2 / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2004. – 588 с.
7. Лисиенко, В. Г. Вращающиеся печи теплотехника, управление и экология [Текст]. Книга 1 / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2004. – 687 с.
8. Долина, Л. Ф. Техноэкология для строителей [Текст] / Л. Ф. Долина. – Д. : Континент, 2006. – 256 с.
9. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования [Текст] : Справочник. Том 1 / А. С. Тимонин. – К. : Изд. Н. Бочкаревой, 2003. – 914 с.

Получено 09.09.2017

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВИБОРНОВ, Д. В. САВИЧ  
АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГАЗІВ ВИРОБНИЦТВА  
ВОГНЕТРИВКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У даній статті розглянуті характеристики запиленних газових потоків від випалювання різноманітної сировини у виробництві вогнетривкої промисловості, що визначальним чином впливають на тепловий потенціал і склад газів. Виконано аналіз складу і якості відхідних газів даного виду виробництва.

**Ключові слова:** вогнетривка промисловість, потепління, запилений газовий потік, тепловий потенціал.

BOGDAN KLYAUS, DMITRY VYBORNOV, DARYA SAVICH  
ANALYSIS OF THE HEAT POTENTIAL OF THE EXHAUST GASES PRODUCED  
BY THE REFRACTORY INDUSTRY  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The characteristics of dusty gas flows from roasting of various raw materials in the production of the refractory industry, which affect the thermal potential and composition of the exhaust gases, have been considered in this article. The composition and quality of the exhaust gases of this type of production has been analyzed.

**Key words:** refractory industry, warming, dusty gas flow, thermal potential.

**Кляус Богдан Валентинович** – магистрант кафедри теплотехники, теплогазоснабження і вентиляції ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения.

**Выборнов Дмитрий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование теплонасосных технологий.

**Савич Дарья Владимировна** – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосберегающие технологии.

**Кляус Богдан Валентинович** – магістрант кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

**Виборнов Дмитро Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплопостачання, використання теплонасосних технологій.

**Савич Дар'я Володимирівна** – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадні технології.

**Klyaus Bogdan** – master's student, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

**Vybornov Dmitry** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat supply with usage of heat pumps technologies.

**Savich Darya** – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy saving technology.