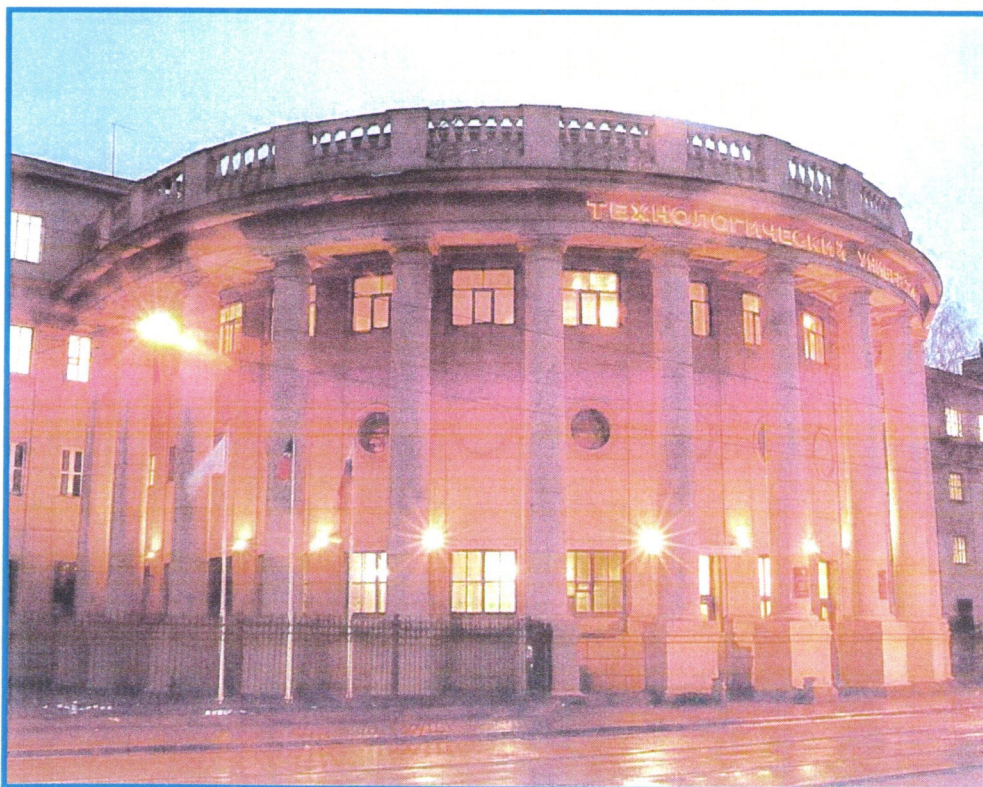


Вестник

Т. 18 № 24

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

**HERALD OF TECHNOLOGICAL
UNIVERSITY**



2015

Министерство образования и науки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

ВЕСТНИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

HERALD OF TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Т. 18

№ 24

2015

Основан в 1998 г.

Казань
Издательство КНИТУ
2015

УДК 662.6

М. А. Таймаров, И. Р. Додов, Т. О. Степанова

СЖИГАНИЕ СБРОСНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ТЕПЛОФИКАЦИИ В НЕФТЕХИМИИ

Ключевые слова: технологические печи, балластный воздух, природный газ, змеевики, радиантная камера, радиантные змеевики, форсунки, тепловая энергия, КПД.

В данной статье приведены результаты экспериментов по обследованию технологических печей при сжигании в них топливного природного газа с добавлением газообразных сдувок с установок заводов ОАО «Нижнекамскнефтехим».

Keywords: process furnace, ballast air, natural gas, the coils, radiant camera, radiant coils, nozzle, thermal energy, Efficiency.

In this article, experimental results on the survey process furnaces by burning them in fuel natural gas with the addition of gaseous waste flow from factories OJSC "Nizhnekamskneftekhim".

Описание объекта исследования

Теплофикационные водогрейные печи П-3/1, П-3/2, П-3/3, П-3/4, П-3/5 в которых сжигаются сбросные газы сдувок, расположенные в цехе 1517 на заводе «Синтетического каучука» ОАО «Нижнекамскнефтехим» и имеют одинаковую конструкцию и состоят из нижней радиантной и верхней конвективной топочных камер. В конвекционной камере расположены три змеевика: верхний, средний и нижний. Трубы этих змеевиков расположены горизонтально. Змеевики в радиантной камере расположены вертикально, образуя настильный однорядный экран одностороннего облучения (рис. 1). Радиантные трубы расположены от стены печи на расстоянии 100... 150 мм и крепятся на специальных якорях и упорах. Поскольку радиантные трубы состоят из большого числа гибов, то на переходных режимах циркуляции пароводяной смеси следует ожидать появления гидравлических ударов. Каждая из печей оборудована 40 подовыми диффузионными газовыми горелками (рис. 2, 3) Т-образного типа, которые расположены параллельно продольному сечению печи снизу радиационной камеры в два ряда по 20 шт. в каждом ряду (рис. 4) [1]. Воздух для горелок поступает из атмосферы снизу через отверстия пода печи. На верхней стенке конвективной камеры печи установлены три трубы для отвода дымовых газов. Газовая горелка представляет собой трубу с высверленными в ней отверстиями, на отверстия на резьбе установлены газовые сопла (см. рис. 2, 3). Пунктиром (см. рис. 2) условно показана труба $\varnothing 60$ мм, на которой крепятся симметрично по 5 сопел и к которой подходит труба подвода газа $\varnothing 108$ мм. Всего на горелке 10 сопел, расположенных с шагом около 150 мм. Количество подсосываемого воздуха регулируется открытием шиберов на коробах горелок. Для осуществления настильного сжигания газа сопла горелок направлены под углом 7 градусов к перьевальной стене, которая расположена по продольной оси печи. Габариты стенок печей следующие: длина – 25925 мм, ширина – 6900 мм, высота – 23170 мм. Печи расположены на фундаментных столбах. В данном случае явным недостатком конструкции является малая вертикальная протяженность газохода и большой объем радиационной части при невысоких температурах факела, что вынудило разработчиков к размещению в конвективной части большого числа тепловоспринимающих поверхностей.

дило разработчиков к размещению в конвективной части большого числа тепловоспринимающих поверхностей.

Методика измерений

Погрешность измерений при экспериментах по определению КПД составляла $\pm 4,6\%$ и определялась по методике, изложенной в работах [2–6]. Расход топливного газа на входе в каждую печь измерялся штатным прибором. Топливный газ поступает в печь двумя потоками. На каждом потоке топливного газа установлены отсекающие клапаны, которые закрываются автоматически при падении давления в линии топливного газа до 0,02 МПа, при снижении расхода воды меньше $400 \text{ м}^3/\text{ч}$, при повышении температуры воды на выходе выше 115°C , при повышении давления воды на выходе выше 1,05 МПа и при понижении давления воды на выходе из водонагревателя ниже 0,4 МПа.

Предусмотрена также сигнализация по повышению давления воды на выходе до 1,0 МПа и понижению давления до 0,45 МПа.

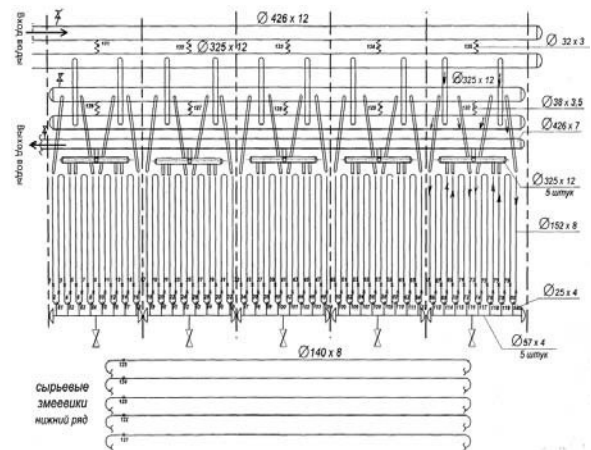


Рис. 1 – Схема радиантных змеевиков в печах П-3/1, П-3/2, П-3/3, П-3/4, П-3/5

Температура и давление на каждом потоке воды контролируется по месту термометром и манометром и тем самым осуществляется качественное регулирование теплопроизводительности печей П-3/1, П-3/2, П-3/3, П-3/4, П-3/5 цеха 1517 согласно графика $150-70^\circ\text{C}$ со срезкой $114-65^\circ\text{C}$. Вода через об-

щий коллектор поступает тремя потоками в верхние конвекционные змеевики середины, левой и правой стороны конвекционной камеры водонагревателя.

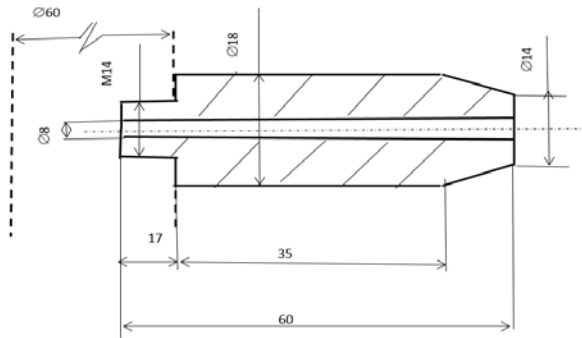


Рис. 2 – Схема форсунки (газового сопла) для сжигания топливного газа в печах П–3/1, П–3/2, П–3/3, П–3/4, П–3/5 (материал сопла – сталь 20)

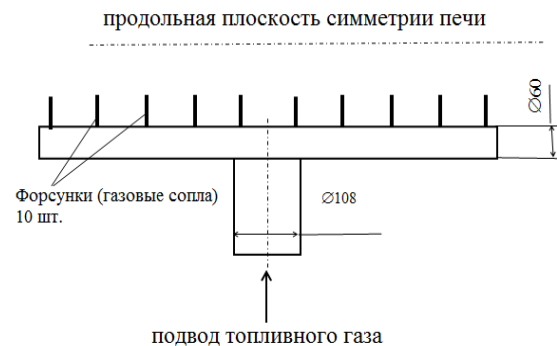


Рис. 3 – Схема горелки с насаженными соплами для сжигания топливного газа в теплофикационных (водогрейных) печах П–3/1, П–3/2, П–3/3, П–3/4, П–3/5

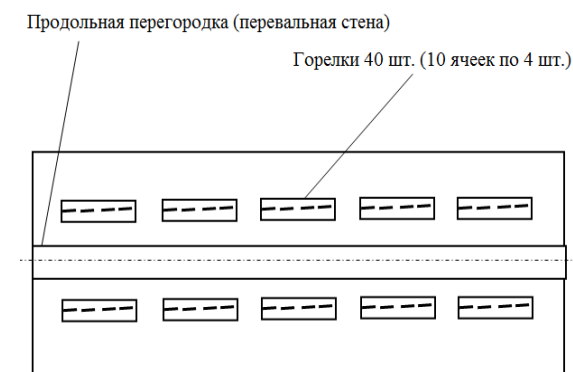


Рис. 4 – Схема компоновки 40 шт. горелок при виде сверху на поде в печах П–3/1, П–3/2, П–3/3, П–3/4, П–3/5

Результаты экспериментов

На момент проведения исследования в работе находились печи П–3/1, П–3/2, П–3/4. Остальные печи были в ремонте. Первичные сводные показатели режимы работы теплофикационных печей П–3/1, П–3/2, П–3/4 в период испытаний по результатам измерений с помощью стационарных приборов приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, единичная средняя загруженность одной печи по нагреваемой

воде составляет 1255,2 м³/час, что равно 62,7% от проектной единичной производительности одной печи равной 2000 м³/час. Средняя температура теплофикационной воды на выходе из печи 75,1°С при среднем давлении 9,1 кгс/см². Средняя температура теплофикационной воды на входе в печь 56,1°С при среднем давлении 9,5 кгс/см². Средний расход топливного газа на нагрев воды при среднем перепаде температур нагреваемой воды составляет 117,5 нм³/Гкал. В табл. 2 приведены значения режимных параметров работы печей П–3/1, П–3/2, П–3/4 при испытаниях, из которых следует, что работа печей характеризуется высокими значениями содержания кислорода в продуктах сгорания на выходе из печи. Эти значения для печи П–3/4 составляют 9,1%, а для печей П–3/1, П–3/2 соответственно 15,7 и 12,4% (по объему). Нормальным (экономичным) считается значение содержания кислорода в продуктах сгорания на выходе из печи 2% (по объему).

Таблица 1 – Первичные показатели режимов работы печей П–3/1, П–3/2, П–3/4

Наименование показателя	Единица измерения	Номера печей		
		ПЗ/1	ПЗ/2	ПЗ/4
Расход нагреваемой воды через печь	м ³ / час	1247,6	1306,4	1211,7
Температура нагреваемой воды на выходе из печи t _{вых}	°С	73,7	71,85	79,84
Давление нагреваемой воды на выходе из печи	кгс/см ²	9,15	9,10	9,06
Температура дымовых газов:				
в 1 ^{ой} дымовой трубе	°С	209,3	209,3	236,7
в 2 ^{ой} дымовой трубе	°С	231,6	210,6	270,0
в 3 ^{ей} дымовой трубе	°С	190,4	219,0	254,9
Температура нагреваемой воды на входе в печь t _{вх}	°С	56,3	55,69	56,18
Давление нагреваемой воды на входе в печь	кгс/см ²	9,62	9,54	9,35
Расход топливного газа	нм ³ / час	2940,0	2501,0	2992,3
Давление топливного газа	кгс/см ²	0,04	0,02	0,04
Температурный напор Δt=t _{вых} -t _{вх}	°С	17,4	16,16	23,66
Удельный расход газа на нагрев воды q _v	нм ³ /Гкал	123,76	100,16	129,52

Коэффициент избытка воздуха для нормальной работы котлов, печей, сжигающих природный газ, составляет 1,2. Во всех трех печах измеренный коэффициент избытка воздуха выше нормативного значения и составляет соответственно для печи П–3/4 α=1,68, для печи П–3/2 α=2,28, для печи П–3/1 α=3,65. Поэтому потери тепловой энергии с дымовыми газами высокие потому, что энергия уходит на нагрев избыточного балластного воздуха. При этом значительно снижены КПД процессов горения в печах.

Даже после охлаждения дымовых газов балластным воздухом температура дымовых газов остается высокой. Средняя температура дымовых газов на выходе из печи, равная 219°С, превышает нормативную 150°С практически на 69°С. Это указывает

на то, что процессы теплопередачи из дымовых газов в нагреваемую воду затруднены. На основе данных испытаний (см. табл. 2) можно также утверждать, что коэффициенты теплопередачи в печах снижены в результате образования накипи на внутренних стенках и нагара на наружных поверхностях змеевиков. В связи с тем, что в природный газ добавляются сдувки с технологических установок заводов, содержащие различные предельные и непредельные углеводороды, образование нагара на наружных стенках змеевиков тепловоспринимающих труб идет постоянно. Следовательно, для улучшения КПД печей, необходимы периодические чистки от нагара наружных поверхностей, отмыывать от накипи внутренние поверхности змеевиков. В целом, по результатам испытаний при номинальных нагрузках, получено, что КПД брутто для всех исследованных печей П-3/1, П-3/2, П-3/4 в среднем $\eta_{б.ср}=77,8\%$.

Обсуждение результатов исследования

Расчет выработки фактического количества тепловой энергии в топке печи определяется по количеству выделяемой тепловой энергии при сжигании топлива. Топливом для печей служит природный газ смешанный с газообразными сдувками из производств ОАО «НКНХ» с низшей теплотворной способностью меняющейся от $Q_{н}^p=8500$ до 11000 ккал/нм³ (по периодическим анализам). Имеет место сжигание смешанного газа с $Q_{н}^p=6400$ ккал/нм³.

Расчет выработки тепловой энергии в печи проводится по формуле:

$$Q_n = GQ_n^p \times 10^{-6}, \text{ Гкал/час}, \quad (1)$$

где G – расход топлива на печь, нм³/час;
 Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, ккал/нм³.

Результаты расчета выработки теплоты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета выработки теплоты в печах П-3/1, П-3/2, П-3/4

Номер печи	Выработка тепла в печи, Q_n Гкал/час	Расход топлива, G , нм ³ /час	Средняя теплотворная способность	Удельный расход топлива, нм ³ /Гкал
Печь П-3/1	29,40	2940,0	8000	100
Печь П-3/2	25,01	2501,0		100
Печь П-3/4	29,92	2992,3		102,5
Суммарно по печам	84,33	8433,3		100

Теплота, полученная водой в печи Q_v определяется по разности температур воды на входе и на выходе из печи, а также ее теплоемкостью.

$$Q_v = DC_p(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \times 10^{-6}, \text{ Гкал/час}, \quad (2)$$

где D – расход воды через печь, м³/час;
 $t_{\text{вых}}$ – температура воды на выходе из печи, °С;

$t_{\text{вх}}$ – температура воды на входе в печь, °С;

C_p – теплоемкость воды, ккал/м³×°С.

Результаты расчета теплоты фактически уносимой с водой Q_v приведены в табл. 4. Из табл. 4 видно, что при фактически меньшем расходе воды теплота, полученная водой в печи П-3/4 выше, чем в печах П-3/1 и П-3/2, в среднем на 7,11 Гкал/час или на 31,73%.

Это указывает на загрязненность наружной и внутренней труб печей П-3/1, П-3/2: с наружной – нагаром, с внутренней – накипью. Для удаления наружных загрязнений необходимо установить обдувочные устройства, для удаления внутренних – применять отмывание от накипи и ингибирование с помощью «композиции ККФ».

Выводы

1. Сжигание в печах газообразных сдувок с технологических установок для теплофикационных целей сопровождается повышенным образованием накипи на внутренних стенках и нагара на наружных поверхностях змеевиков тепловоспринимающих труб.

2. Увеличение коэффициента избытка воздуха для лучшего смесеобразования при горении не приводит к исключению образования отложений и нагара на поверхностях змеевиков и сопровождается высокими потерями теплоты с уходящими газами равными $q_2=18,4\%$, вместо требуемых нормативных $q_2=5\%$.

Литература

- Хзмаян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. М. Энергия, 1976. 488 с.
- Таймаров М.А. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы». Казань: КГЭУ, 2004. 107 с.
- Таймаров М.А., Сафин Р.Г. Форсунка для сжигания обводненного мазута. Вестник Казанского Технологического Университета, Herald of Kazan Technological University, 2012, Т. 15, №16, с.144–145
- Трембовля В.И. и др. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия, 1977. 297 с.
- Муринов Г.А. Теплотехнические измерения. М.: Энергоиздат, 1990. 544 с
- Таймаров М.А., Лавирко Ю.В., Хаертдинова А.Р. Повышение эффективности работы радиантных топок. Вестн. Казан. технол. ун-та. - 2014. - Т.17, N 21. - С.136-138.
- Таймаров М.А., Забелкин С.А., Гильфанов К.Х., Грачев А.Н. Экспериментальное исследование термической переработки древесины. Вестн. Казан. технол. ун-та. - 2012. - Т.15, N 4, с.52-53
- Таймаров М.А. Технология котлостроения. Учебное пособие. Казань: КГЭУ. 2004.
- Таймаров М.А. Котельная установка с поворотными горелочными устройствами. Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2013. 11 -13 сентября 2013 г. Казань, 2013.
- Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Беляева А.В., Зиятдинова Д.Ф. Основы систем автоматизированного проектирования / Уч. пособие. КГТУ, Казань, 2006 г.

11. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Современные строительные материалы на основе древесных отходов. // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. –Т. 17. №20. - С. 123-128.
12. Сафин Р.Г., Исаков Т.Д., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О., Хабибуллина А.Р. Разработка композиционных материалов на основе древесных отходов. // Деревообрабатывающая промышленность. - 2014. – №6. - С. 32-37.
13. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Исаков Т.Д., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Новые исследования и разработки в области получения древесно-композиционных материалов на основе древесных отходов. // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. –Т. 18. №6. - С. 139-142.
14. Степанова Т.О., Мусин Х.Г., Хабибуллин И.Г. Тепло-влажностная обработка древесно-композиционных материалов. // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова. Москва, 2015. С. 324-326.
15. Сафин Р.Г., Зиатдинова Д.Ф., Сафина А.В., Степанова Т.О., Крайнов А.А. Современные направления переработки лесных ресурсов. // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. –Т. 18. №15. - С. 144-148.
16. Сафин Р.Г., Галиев И.М., Степанова Т.О., Разработка террасных досок и плит из древесины-полимерных композиционных материалов / Деревообрабатывающая промышленность. 2015, в.3, с.56-60.

© **М. А. Таймаров** – д-р техн наук, профессор каф. ПДМ КНИТУ, Taimarovma@yandex.ru; **И. Р. Додов** – магистр каф. КУПГ, КГЭУ; utisey@gmail.com; **Т. О. Степанова** – магистрант каф. ПДМ КНИТУ, stepanova-211190@yandex.ru.

© **М. А. Taimarov** - Doctor of Engineering, professor of chair of processing of wood materials, KNRTU, Taimarovma@yandex.ru; **I. R. Dodov** – master of the department BISG, utisey@gmail.com; **T. O. Stepanova** – undergraduate of chair of processing of wood materials, KNRTU, stepanova-211190@yandex.ru.