

Зависимость температуры наружной стенки металлического каркаса печей пиролиза и конструкции футеровки

Жесткое соблюдение требований нормативной документации, обоснование технических параметров работы технологического оборудования — основа договорных отношений заказчика и подрядчика при выполнении проектных, строительно-монтажных и ремонтных работ в нефтепереработке и нефтехимии. Однако не всегда нормативная документация разъясняет все требования эксплуатации, а реальная картина параметров работы оборудования не всегда соответствует этим требованиям.

Рассмотрим нормативную документацию в части требований к температуре наружных поверхностей стенок печей пиролиза предприятий нефтехимии, и фактическое состояние дел в этой области.

Температура наружной стенки технологического агрегата, работающего при повышенных температурах, является важнейшим параметром с точки зрения энергосбережения (теплопотерь) и безопасности работы обслуживающего персонала. Технологические печи (нагревательные и реакционные) — наиболее распространенные в отрасли агрегаты с внутренней температурой рабочих сред от 600 до 1300 °С. Требования к температуре наружной стенки печей отражены в ПБ 03-540-03 и РД 3688-00220302-003-04 [1, 2]. Поскольку в последние годы многие заказчики считают необходимым соблюдать требования американского стандарта API 560 «Нагревательные печи» [3] при проектировании печей для российских заводов, данный документ также следует учитывать.

Сравнение требований данных документов по температуре стенки (табл. 1) показывает, что все российские документы устанавливают максимальную температуру стенки в зоне обслуживания 60 °С.

Это требование обусловлено, прежде всего, безопасностью работы персонала по обслуживанию печи. Требования по учету отсутствия или наличия ветра и его силы, наружной температуры воздуха различны. Американский стандарт указывает 82 °С, температура окружающего воздуха 27 °С, требование по ветру — безветрие. В табл. 1 также указаны нормативные документы, устанавливающие требования к расчету футеровки и граничным условиям.

При этом, важно отметить, что все эти нормативные документы (включая стандарт API 560) распространяются на нагревательные печи, температура в которых не превышает 900 °С. В реакционных печах, к которым относятся печи пиролиза, температура достигает 1300 °С. В настоящее время в России не существует нормативного документа, устанавливающего единые требования к проектированию и изготовлению реакционных печей. Нормативная база для печей этого типа представлена лишь частично (например, РД 3689-001-00220302/31-2004 [4]). Требования к наружной температуре стенки не выделены, поэтому заказчики сегодня опираются только на ПБ 03-540-03, где указана температура 60 °С. Опыт ООО «Альтер-Акси» показывает, что добиться расчетной температуры стенки ниже 70 °С крайне сложно. Особенно это проблематично, если температура дымовых газов составляет 1200 °С и более.

В общем случае расчет футеровки представляет собой расчет теплопередачи через многослойную стенку с определенными граничными условиями. Основы расчета описаны в СНиП 2.03.04-84 [5], более подробная методика циклического расчета приведена в ВСН 314-73 [6]. В данных документах наблюдается разный подход к определению граничных условий расчета.

Так, в СНиП 2.03.04-84 при расчете коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности в общем случае учитывается ветер со скоростью не менее 1 м/с, хотя при расчете распределения температурного поля по толщине футеровки и температуры анкеров рекомендуется принимать среднюю максимальную температуру наиболее жаркого месяца без учета ветра. В ВСН 314-73 описаны несколько граничных условий для различных видов расчетов. В качестве граничных условий для выбора материала футеровки, а также расчета температуры стенки в ВСН 314-73 принимается средняя температура наиболее жаркого месяца при отсутствии ветра. Различия в подходе определения граничных условий между общими отраслевыми нормативными документами также видны из табл. 1. Отсутствие единого подхода к условиям теплового расчета футеровки усложняет оценку работы футеровки и выбор материала.

Таблица 1

Параметр	Общие отраслевые нормативные документы			Нормативные документы для расчетов	
	API 560	ПБ 03-540-03	РД 3688-00220302-003-04	СНиП 2.03.04-84	ВСН 314-73
Температура стенки в зоне обслуживания и обслуживаемой зоне	60	60	60		
Наличие ветра	Нет			Да	Нет
Температура окружающего воздуха, °С	27		Средняя максимальная наиболее жаркого месяца	Средняя максимальная наиболее жаркого месяца	Средняя наиболее жаркого месяца
* Условия для расчета температуры стенки и выбора материалов.					
** Условия для расчета температурного поля по толщине футеровки (например для выбора материалов). В общем случае теплового расчета ветер учитывается.					

В высокотемпературных печах пиролиза используют несколько типов футеровки

- В первых печах постройки 60-х годов прошлого века использована футеровка из легковесных кирпичей.
- Широко применяется футеровка, состоящая из комбинации легковесных плит и легковесных огнеупорных кирпичей.
- Современные печи, поставленные по импорту (например, печь пиролиза F-120 ОАО «Сибур-Нефтехим», г. Кстово), имеют футеровку, состоящую из комбинации волокнистых материалов, плит и легковесных огнеупорных кирпичей в рабочем слое.
- Все более широкое применение находят печи с бетонной футеровкой рабочего слоя с волокнистыми материалами и (или) легковесными плитами в качестве теплоизоляционного слоя.

ООО «Алитер-Акси» реализовано пять проектов футеровки таких печей, состоящих из комбинации волокнистых материалов, легковесных плит и бетонной футеровки в рабочем слое. Эта футеровка подробно описана в работе [7].

Общим для всех футеровок является жесткое ограничение по толщине и массе. В рабочем слое в этих печах должен быть достаточно плотный и прочный огнеупорный материал. Это связано с использованием горелок, пламя которых стелится по футеровке (настильные горелки), нагревая стены, которые излучением равномерно нагревают змеевик. Волокнистая футеровка в таких условиях не применима, так как вследствие воздействия факела горелки будет происходить ее изнашивание.

Был проведен сравнительный анализ наружной температуры стенки печей пиролиза с футеровкой различной конструкции. Съемка температурных полей печей проводилась прибором марки TernaCAM E300 фирмы FLIR Sistem. Результаты замеров температурных полей некоторых печей представлены в табл. 2.

Исходя из представленных данных, можно отметить следующее: на большинстве печей наружная средняя температура стенки превышает 60 °С. Фактическое состояние дел на большинстве печей значительно хуже. На печах имеются многочисленные места локального перегрева до 150–200 °С (места установки смотровых окон-гляделок, прохода технологических труб через футеровку и т.п.).

Наилучшие результаты достигнуты на печах после капитального ремонта (с конструктивными изменениями футеровки, уменьшающими теплопотери) при применении кирпичной футеровки и большого количества волокнистых материалов — печи F-120 (ОАО «Сибур-Нефтехим», г. Кстово) и F-1001 (ООО «Лукойл-Ставролен», г. Буденновск), а также при применении бетонной футеровки в рабочем слое и комбинации легковесных плит и волокнистых материалов — печи F-06В (ОАО «Сибур-Нефтехим», г. Кстово) и П-001/2 (ОАО «Сибур-Химпром», г. Пермь), для которых характерны достаточно низкие температуры продукта и температуры «перевала».

На рис. 1, 2 представлен вид печей пиролиза в ОАО «Сибур-Химпром».

Печь П-001/1 имеет старую кирпичную футеровку. Из рис. 1 видно, что температурный фон в наиболее горячей зоне печи находится в пределах 80–100 °С, а локальные

Таблица 2

Показатель	Печи пиролиза нефтехимических предприятий						
	«Сибур-Нефтехим», г. Кстово			«Сибур-Химпром», г. Пермь		«Лукойл-Ставролен», г. Буденновск	
	F-02В	F-06В	F-120	П-001/1	П-001/2	F-1002	F-1001
Температура дымовых газов, °С							
в камере радиации	1050	1050	1100	880	995	1050	1050
в камере конвекции	300	300	150–200	400–800	460–850	560–650	650
Температура продукта на выходе, °С	810–860	810–860	810–860	765	820	850	850
Тип горелок	АГГ-2, акустические	АГГ-2, акустические	John Zink PSFFG-30, вертикально-факельные	АГГ-3М, акустические	АГГ-3М, акустические	Акустические	Акустические
Количество горелок	24	24	20	8	8	160	160
Разработчик проекта футеровки	ГУП «Башгипро-нефтехим»	ООО «Алитер-Акси»	Фирма КТИ	ОАО «Гипрокаучук»	ООО «Алитер-Акси»	Фирма Lindor (Германия)	ООО «Алитер-Акси»
Состав футеровки стен	Кирпич, легковесные плиты	Бетон, легковесные плиты, волокнистые материалы	Кирпич, легковесные плиты, волокно	Кирпич	Бетон, легковесные плиты, волокнистые материалы	Кирпич, легковесные плиты	Кирпич, легковесные плиты, волокнистые материалы
Толщина футеровки, мм	285	285	300	335	335	280	280
Год строительства печи	1981	1981	2005	1973	1973	1980	1980
Год ремонта	2003	2004	–	2004	2005	2009	2009
Средняя температура, °С:							
стенки	147	60	55	75	40	83	65
свода	–	90	65	75	65	65	65

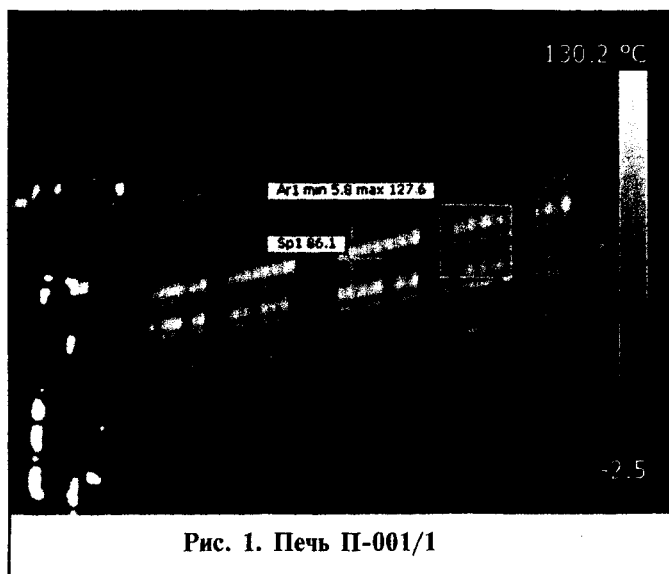


Рис. 1. Печь П-001/1

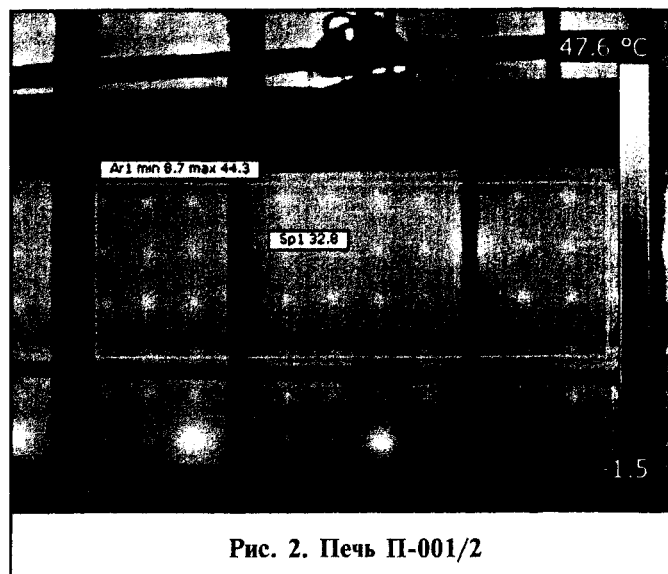


Рис. 2. Печь П-001/2

перегревы металла каркаса достигают 130 °С. Печь П-001/2 после замены кирпичной футеровки на комбинированную: бетонный рабочий слой, волокнистые материалы и легкие плиты в теплоизоляционном слое. Из рис. 2 видно, что температурный фон аналогичного места печи находится в пределах 50 °С. Отчетливо видны места приварки анкеров, где температура выше общего фона на 5–10 °С.

Достижению таких результатов способствовали конструкция и состав футеровки. В обоих случаях в конструкциях футеровок имеется рабочий слой, обеспечивающий механическую прочность и огнестойкость (бетон или кирпич), и теплоизоляционный слой (волокно и плиты). При этом, толщина волокнистых материалов и легких плит может достигать до 2/3 (и более) толщины футеровки. Очевидно, чем больше толщина и чем меньше коэффициенты теплопроводности теплоизоляционных материалов футеровки, тем значительно снижается температура стенки. Во многих случаях увеличение толщины футеровки невозможно по конструктивным причинам. В таких условиях для обеспечения температуры стенки 60 °С необходимо применение современных дорогостоящих микропористых материалов с малыми коэффициентами теплопроводности (в несколько раз ниже, чем у классической волокнистой теплоизоляции).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо унифицировать подход к требованиям по температуре стенки печей и внешним условиям ее расчета. По мнению специалистов ООО «Алитер-Акси», считать температуру следует исходя из условий — полное безветрие; температура окружающего воздуха равна средней для наиболее жаркого месяца (для России — в пределах 20 °С).

2. Для высокотемпературных, реакционных печей (пиролиз, водородный риформинг и т.п.) необходимо пересмотреть максимальную температуру наружной стенки в сторону ее увеличения до 80 °С. Разница с точки зрения теплотерь минимальная, но на толщине футеровки это скажется очень существенно. Для выполнения

требования достижения температуры стенки до 60 °С конструктору приходится либо существенно увеличивать толщину футеровки, либо применять необоснованно дорогостоящие материалы.

3. Необходимо нормативно закрепить локальные перегревы на печи, указать места возможных локальных перегревов (глядельки, проход технологических трубопроводов и т.п.), выработать требования по обозначению этих мест на поверхности печи (например, покраска этих мест желтой или красной термостойкой краской).

4. Для эффективной работы футеровки (достижения требуемых температур стенки, надежности и срока службы) необходимо разрабатывать и использовать сложные многослойные футеровки, состоящие из легких волокнистых материалов, легких плит, использовать специальные материалы для предотвращения прохода (циркуляции) дымовых газов между слоями футеровки. Для рабочего слоя можно использовать как легкие кирпичи, так и огнеупорные бетоны.

Список литературы

1. ПБ 03-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.
2. РД 3688-00220302-003-04. Трубчатые нагревательные печи. Требования к проектированию, изготовлению и эксплуатации.
3. ANSI/API STANDARD 560. Печи прямого нагрева общего назначения в нефтеперерабатывающем производстве.
4. РД 3689-001-00220302/31-2004. Трубы радиантные и их элементы для реакционных трубчатых печей. Требования к проектированию, изготовлению и поставке.
5. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур.
6. ВСН 314-73. Указания по тепловому расчету конструкций тепловых агрегатов.
7. Жидков А.Б., Денисов Д.Е. Перспективы реконструкции и капитального ремонта высокотемпературных печей предприятий нефтехимии // Химическая техника. 2006. № 3.