

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Закиева, Р.Р.** Получение базовых масел III группы качества по классификации API из тяжелого углеводородного сырья с применением гидрокаталитических процессов / Р.Р. Закиева, С.М. Петров, Г.П. Каюкова, Н.Ю. Башкирцева // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – т. 17. – № 18. – С. 209-212.
2. **Буньковский, В.И.** Внедрение инновационного проекта получения высококачественных продуктов нефтепереработки в АО «Ангарская нефтехимическая компания» / В.И. Буньковский // Проблемы развития экономики и предпринимательства: Материалы XVI всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 23-28.
3. Вопросы о смазках. – Текст электронный // Engine Oil G-Energy. – URL: <https://clck.ru/36YXWR> (дата обращения: 10.11.2023)
4. **Колодин, В.С.** Проблемы модернизации нефтеперерабатывающей промышленности России в условиях санкционного давления / В.С. Колодин, Г.В. Давыдова. – DOI 10.17150/2411-6262.2022.13(2).19. – Текст электронный // Baikal Research Journal – 2022. – Т.13 – № 2. – URL: [clck.ru/ 36YXY5](https://clck.ru/36YXY5) (дата обращения: 02.11.2023).

УДК 66.041 : 66.012

Орлова Екатерина Сергеевна,
магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: pm888@mail.ru
Черниговская Марина Алексеевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: pm888@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА

Orlova E.S., Chernigovskaya M.A.

ANALYSIS OF FURNACE OPERATION FOR HEATING HYDROGEN-CONTAINING GAS

Аннотация. В статье проведен анализ эффективности работы вертикально-факельной печи, применяемой для нагрева водородсодержащего газа на установке гидродеалкилирования. Было выявлено, что печь имеет низкий КПД, на величину которого оказывают влияние множественные факторы. Для повышения эффективности действующей печи предложено комплексное решение, включающее реконструкцию змеевика, системы подачи топлива и окислителя, а также системы отвода дымовых газов.

Ключевые слова: энергосбережение, трубчатые печи.

Abstract. The article analyzes the efficiency of a vertical flare furnace used to heat hydrogen-containing gas in a hydrodealkylation plant. It was found that the furnace has low efficiency, the value of which is influenced by multiple factors. To increase the efficiency of the existing furnace, a comprehensive solution was proposed, including the reconstruction of the coil, the fuel and oxidizer supply system, and the flue gas removal system

Keywords: energy saving, tube furnaces.

Проблема энергосбережения широко распространена в химической технологии.

Наиболее энергозатратными аппаратами по праву считаются различные печи, причем не только реакционные, в которых протекают химические превращения сырья, но и обычные нагревательные, предназначенные для повышения температур технологических потоков. Часто величина потерь тепла в таких печах достигает 40-50 % [1].

Существует два основных направления потерь тепла:

1. Потери с отходящими дымовыми газами, возникающие вследствие недостаточного использования теплоты сгорания топлива;
2. Потери тепла в окружающую среду за счет теплового излучения, проникающего через стенку корпуса печи.

Также потери тепла могут быть связаны с неполнотой сгорания топлива.

В зависимости от направления, по которому происходят значительные потери тепла, подбирается способ их снижения.

В рамках данного исследования нами была проанализирована работа печи, предназначенной для нагрева водородсодержащего газа (ВСГ) для процесса гидродеалкилирования. Технологическая схема нагрева сырья представлена на рис. 1.

Процесс организован следующим образом. Поток ВСГ от компрессоров поступает на узел нагрева, где разделяется на два потока. Первый поток направляется непосредственно в печь, а второй – в обход печи. Нагретый в печи ВСГ делится на две части, первая из которых подается в нижнюю часть испарительной колонны, а вторая смешивается с потоком холодного водорода и направляется в верхнюю часть испарительной колонны, где расположен перегреватель, также для смешения с БТК-фракцией.

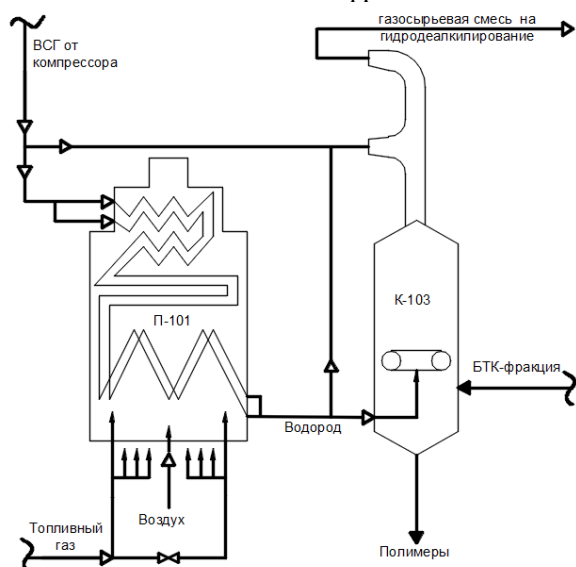


Рис. 1 – Принципиальная схема узла нагрева сырья установки гидродеалкилирования

К-103 – испаритель; П-101 – печь нагрева ВСГ

Установленная на узле нагрева печь относится к вертикальному типу и снабжена пятью горелками прямого пламени. В качестве топлива в ней используется топливный газ из сети завода. По способу нагрева печь

является радиально-конвективной, причем все полезное тепло используется для нагрева ВСГ до требуемой температуры (450-560 °С).

Наличие переменных нагрузок по сырью свидетельствует о том, что тепловая нагрузка печи может изменяться в значительных пределах, что должно сказываться на значениях КПД печи. Это может негативно сказываться не только на экономической составляющей производства за счет повышения затрат на топливо, но и на безопасности производства, т.к. повышение тепловой нагрузки может привести к нарушению целостности элементов конструкции печи, и, как следствие, к возникновению аварийной ситуации, опасной как для человека, так и для окружающей среды.

Анализ работы печи для оценки ее эффективности, выявления источников тепловых потерь и поиска возможных способов их снижения включал решение следующих задач:

1. Проведение поверочного расчета печи нагрева ВСГ для процесса гидродеалкилирования;
2. Сравнение полученных показателей с проектными данными с целью выявления проблем в работе печи;
3. Разработка возможных вариантов решения выявленных проблем.

Данные о режиме работы печи и о составе основных потоков были приняты на основании производственных данных. Расчет проводился по методике [2], включая:

1. определение свойств основных потоков для выбранных параметров процесса;
2. расчет процесса горения, полезной тепловой нагрузки и общего КПД печи;
3. расчет радиантной камеры, в том числе расчет тепловой нагрузки и КПД, расчет теплонапряженности радиантных труб, расчет лучистого и конвективного теплообмена;
4. расчет камеры конвекции.

Основные результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение проектных и фактических показателей работы печи

Параметр, единица измерения	Значение	
	Проект	Факт
Расход ВСГ, т/ч	4÷5	3,7
Тепловая нагрузка, ГДж/ч	до 29,12	13,76

КПД печи, %	84	75,2
Потери в окружающую среду, %	2,76	13,8
Низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг	46090÷49023	55488
Теплонапряженность радиантных труб, кВт/м ²	20÷25	24,8
Коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией от дымовых газов к трубам экрана, Вт/(м ² ·К)	10÷40	~7,5
Суммарный коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к трубам змеевика конвекции, Вт/(м ² ·К)	10÷40	~11

По результатам расчета было выявлено, что при относительно невысокой тепловой нагрузке по сравнению с проектными значениями расчетные потери тепла в окружающую среду составляют от 14 до 25 %, а общий КПД печи находится в диапазоне от 68 до 75 %, что свидетельствует о более низкой эффективности печи по сравнению с проектным вариантом.

Значение теплонапряженности радиантных труб находится близко к верхней допустимой границе, т.е. при повышении нагрузки по сырью теплонапряженность стенок змеевика резко возрастает, что может привести к преждевременному разрушению (прогару) змеевика. Также прогару змеевика может способствовать использование более высококалорийного топлива по сравнению с проектным вариантом.

Низкие значения коэффициента теплопередачи как в радиантной, так и в конвективной секции свидетельствуют о затрудненности процесса теплоотдачи, в первую очередь, со стороны дымовых газов.

Полученные данные свидетельствуют о наличии в работе печи следующих проблем:

1. повышенная тепловая нагрузка на радиантный змеевик печи;
2. низкая скорость теплоотдачи в радиантной и конвективной секции печи;
3. высокие потери тепла.

Причины возникновения данных проблем могут быть различны. Так, проблема повышения тепловой нагрузки на змеевик радиантной камеры печи может быть связана с повышенной калорийностью используемого топлива в сочетании с отсутствием системы автоматического контроля и регулирования процесса горения. Еще одной причиной повышения теплонапряженности радиантных труб может являться малая площадь теплопередающей поверхности. Особенно остро это заметно при повышении нагрузки по сырью – ВСГ. При этом возрастает расход топ-

лива, соответственно, возрастает тепловая нагрузка на единицу площади поверхности змеевика.

Проблема низких значений теплоотдачи в обеих секциях печи может быть связана с гидродинамическим режимом движения потоков, в первую очередь, потока дымовых газов. Относительно невысокие (2-4 м/с) скорости движения дымовых газов свидетельствуют о ламинарном режиме течения, что затрудняет отвод тепла от дымовых газов к трубе змеевика за счет конвекции.

Также затруднению теплоотдачи через стенку может способствовать наличие на стенках труб загрязнений, имеющих большое термическое сопротивление. Особенно это будет влиять на работу конвективной камеры, змеевик которой имеет развитую поверхность за счет установленных на ней «пальцев». Расположенные в шахматном порядке такие элементы способствуют турбулизации потока дымовых газов, но при недостаточной скорости на них могут оседать частицы сажи или продукты конденсации, затрудняя процесс теплоотдачи.

В случае потерь тепла необходимо уточнить, чем они могут быть вызваны. Наиболее частыми причинами нецелевого использования теплоты горения топлива являются:

1. недостаточная теплоизоляция корпуса печи;
2. неполное извлечение тепловой энергии из потока дымовых газов (то есть недостаточное их охлаждение);
3. неполное сгорание топлива за счет нарушений работы системы подачи топлива и воздуха, системы отвода дымовых газов (например, неисправность шиберной задвижки), либо из-за использования неэффективных горелок.

Таким образом, для обеспечения стабильной и эффективной работы печи необходимо учитывать все вышеперечисленные проблемы и применять комплексные меры по

их устранению. Так, использование автоматической системы контроля и регулирования подачи топлива и окислителя, а также организация автоматического управления системой отвода дымовых газов позволят обеспечить максимальную полноту сгорания топлива, достаточную тягу в печи и необходимую скорость движения дымовых газов. Замена действующих горелок Вентури на более эффективные беспламенные позволят турбулизировать потоки топлива и воздуха, обеспечив более равномерный нагрев змеевика в радиантной секции печи. Также данные меры будут направлены на минимизацию загрязнений теплопередающей поверхности, что позволит обеспечить более эффективный теплообмен.

Реконструкция змеевика радиантной секции с заменой материала змеевика на более жаростойкий, а также добавление второго ряда труб позволят снизить тепловую нагрузку единицы площади поверхности змеевика, а также минимизировать потери в окружающую среду за счет экранирования полученной конструкцией стенок радиантной камеры печи.

Замена способа оребрения змеевика конвекции с «пальцев» на «пластины» позволит сохранить или увеличить площадь поверхности змеевика и минимизировать количество загрязнений на его поверхности за счет лучшей проходимости пластин по сравнению с «пальцами».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ентус, Н.Р.** Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Н.Р. Ентус, В.В. Шарихин. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
2. **Кузнецов, А.А.** Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп. / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков – Л.: Химия, 1974. – 344 с.