

ОБРАЗЦОВА ЕКАТЕРИНА ИГОРЕВНА

ОПТИМАЛЬНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗМЕЕВИКА
ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНОМ
ОТБОРЕ ПАРОВОЙ ФАЗЫ

Специальность 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы
(машиностроение в нефтеперерабатывающей промышленности)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2004

Актуальность темы

В современных условиях развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности актуальной задачей становится повышение эффективности эксплуатации применяемого в отрасли топливоиспользующего оборудования, в особенности трубчатых печей, так как их стоимость достигает 25% от стоимости всей технологической установки. Трубчатые печи являются основным оборудованием технологических установок нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). В связи с этим особую важность приобретает повышение надежности работы печи, которая определяется сроком службы (долговечности) трубчатых змеевиков, испытывающих в процессе эксплуатации значительные нагрузки и деформации, обусловленные воздействием высоких температур с одной стороны, и состоянием потока внутри труб с другой стороны.

Нагревательные печи являются важнейшим оборудованием любой технологической установки. В связи с этим их эксплуатации должно уделяться особое внимание, как с технологической стороны, так и с точки зрения материального оформления. При модернизации нагревательных печей необходимо учитывать конкретные технологические особенности процесса, а также состояние нагреваемого продукта в змеевике печи.

Углубление переработки нефти, увеличение производительности установок и повышение качества конечных продуктов требует модернизации печей или замену их на более высокоэффективные, поскольку существующие мощности установок ограничены теплопроизводительностью нагревательного блока. Анализ показывает, что увеличение производительности большинства печей невозможно по причине отсутствия резерва повышения производительности по сырью. Это обусловлено образованием на конечном участке змеевика (участке испарения) большого количества паровой фазы. Поскольку отмеченное обстоятельство приводит к возрастанию линейных скоростей жидкой и паровой фаз, то оно определяет также повышенное давление на линии нагнетания сырьевого насоса (свыше 2 МПа).

Цель работы

Обоснование возможности увеличения производительности нагревательной трубчатой печи без повышения давления на входе в змеевик путем промежуточного отбора паровой фазы.

Основные задачи исследования

- 1 Проведение анализа методов теплового расчета в змеевиках трубчатых печей.
- 2 Определение оптимальной точки отбора паровой фазы для реального змеевика нагревательной трубчатой печи.
- 3 Оптимальное конструирование змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы.

Научная новизна

В работе получены следующие новые результаты:

- 1 Определен участок змеевика печи, в пределах которого достигается наибольшая эффективность промежуточного отбора паровой фазы. Место отбора паровой фазы находится на расстоянии 0,9ℓ от общей длины змеевика.
- 2 Показано, что степень стеснения деформаций змеевика в направлении вертикальной оси трубы не должно превышать 10 мм.

Теоретическая и практическая ценность работы

- 1 Теоретическая ценность работы заключается в изучении и научном обосновании применения метода промежуточного отбора паровой фазы из змеевика трубчатой печи с целью увеличения производительности установок.
- 2 Результаты расчетов оптимизации конструкции змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы приняты ООО «Проектным институтом ВНЗМ» к использованию в работе по реконструкции действующих установок АВТ нефтеперерабатывающих заводов.

3 Методика исследования оптимизации конструкции змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы используется в учебном процессе УГНТУ при проведении теоретических и практических занятий по дисциплине "Машины и аппараты нефтегазопереработки" студентов специальности 17.17.00 «Оборудование нефтегазопереработки».

На защиту выносятся результаты теоретических и экспериментальных исследований оптимизации конструкции змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы.

Апробация работы

Основные результаты работы представлялись:

- на 50-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Уфа, 1999 г.);
- на 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Уфа, 2002 г.);
- на 53-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2002 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов, содержит 238 страниц машинописного текста, в том числе 44 рисунка, список использованных источников из 86 наименований и четыре приложения.

По вопросам проведенных исследований консультировал М.И. Баязитов (кандидат технических наук, доцент кафедры МАХП).

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи, научная новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований.

При движении нефти через змеевик трубчатой печи на конечном участке змеевика (участке испарения) образуется большое количество паровой фазы, что приводит к возрастанию линейных скоростей жидкой и паровой фаз, что в свою очередь определяет также повышенное давление на линии нагнетания сырьевого насоса (свыше 2 МПа) и делает невозможным увеличение производительности печи по сырью. Удаление образовавшейся паровой фазы из змеевика позволит снизить давление на входе в печь, повысив тем самым производительность нагревательной печи. Увеличить производительность установки по сырью можно путем отбора паровой фазы в расчетной точке F змеевика АВ печи П-2 и соединения его с основным потоком (на выходе из печи) по схеме, показанной на рисунке 1.

Давление паров в точке F позволит снизить давление на входе в печь, поскольку при этом будет иметь место снижение линейных скоростей и увеличение эквивалентного сечения змеевика на участке FB.



Рисунок 1 - Схема предлагаемой организации потоков в печи

Однако в целях предотвращения разложения сырья необходимая скорость восстанавливается за счет дополнительного ввода продукта в змеевик, доводя давление на выходе из сырьевого насоса до значения в существующем варианте.

Данный прием при незначительных затратах (установка дополнительной

линии для отвода паров) позволит увеличить производительность печи.

Выбор координаты отбора паров производится расчетным путем с шаговым поиском согласно разработанной методике. Наиболее оптимальным является такое решение, при котором достигается максимальный прирост производительности при конструктивном оформлении узла отбора паровой фазы согласно рисунку 2.

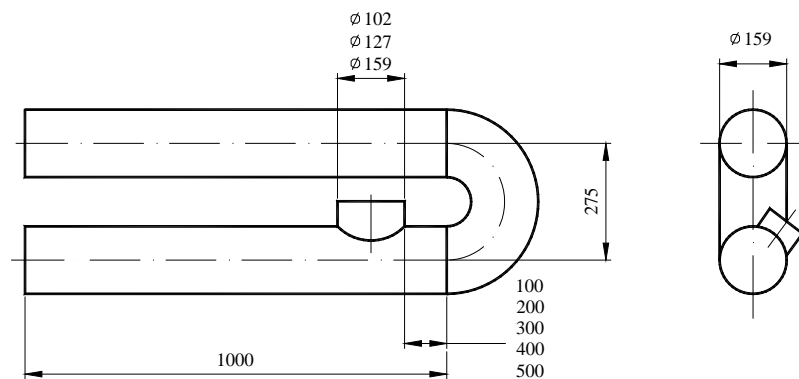


Рисунок 2 - Модель трубчатого змеевика с узлом отбора паровой фазы

В первой главе диссертационной работы проведен анализ существующих конструкций трубчатых нагревательных печей и обоснован объект исследования, в качестве которого выбрана нагревательная радиантно-конвекционная вертикальная печь с вертикальной трубной системой. Такие печи широко распространены на НПЗ (50-60% от общего количества печей), широко описаны в литературе и имеют обширные статистические данные по температурным полям и отказам труб. Вертикальная трубная система также имеет ряд преимуществ:

- возможны простые конструктивные решения при создании практически любого числа сырьевых потоков. Потоки, направленные в отдельные трубчатые змеевики, могут пройти по змеевикам одинаковой конструкции и находиться в одинаковых рабочих условиях;

- узлы трубных опор, работающих только на растяжение (изгибающие напряжения отсутствуют), размещены вдали от горелок, в зоне низких температур. Для их изготовления применяют недорогие материалы, что значительно снижает затраты на сооружение и эксплуатацию печей.

Во второй главе на основании данных отдела технического надзора НПЗ был проведен статистический анализ наиболее часто возникающих дефектов змеевиков трубчатых печей, а также относительный анализ долговечности печных труб нагревательных печей установок АВТ-2, АВТ-6 и УВП-20, принадлежащим одному из нефтеперерабатывающих заводов (таблица 1).

Таблица 1 - Дефекты печных труб

Установка	Вид дефекта	Кол-во дефектов, %
1	2	3
АВТ-2	прогар	10,7
	износ наружной поверхности	18,6
	износ внутренней поверхности	16,3
	прогиб	2,5
	окалина	13,0
	прочие	17,9
АВТ-6	прогар	12,3
	износ наружной поверхности	18,2
	износ внутренней поверхности	15,6
	прогиб	0,6
	окалина	10,7
	прочие	15,3
УВП-20	прогар	30,3
	износ наружной поверхности	18,3
	износ внутренней поверхности	24,8
	прогиб	20,0
	прочие	4,3

В результате обобщения и систематизации результатов обследований печных змеевиков различных установок завода, проводимых во время плановых и аварийных ремонтов отделом технического надзора предприятия, были получены данные, характеризующие структуру дефектов.

Анализ работы змеевиков трубчатых печей П-1, П-2 и В0301 установок АВТ-2, АВТ-6 и УВП-20 выявил зависимость, характеризующую количество замененных труб от срока их эксплуатации, при этом наиболее часто выходят из строя одни и те же трубы на тех участках, где более вероятно отложение кокса.

Наибольшая частота отказов печных труб приходится на 2 – 5-й год их эксплуатации.

Подобная тенденция имеет место и на других печах. Также в ходе анализа было выявлено то обстоятельство, что отложение кокса в трубах наиболее вероятно в зоне начала участка испарения (рисунок 3).

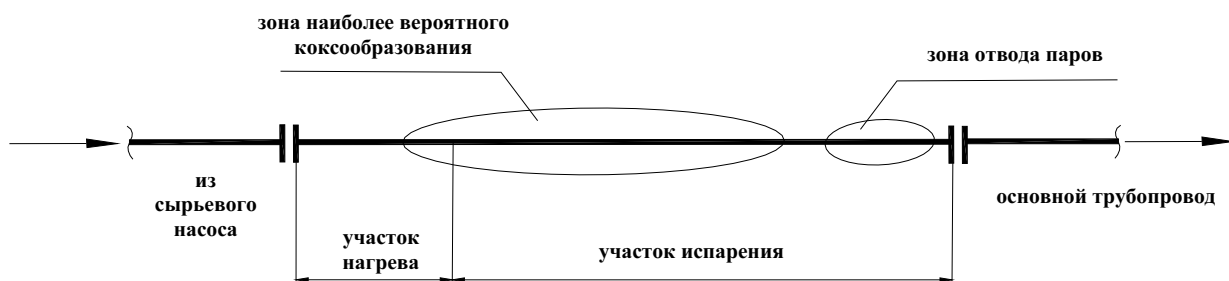


Рисунок 3 – Зона отвода паров

Таким образом, воспользовавшись статистическими данными, определена целесообразность применения конструктивного метода, рассматриваемого в данной работе, что позволяет значительно повысить ресурс эксплуатируемых трубчатых печей и создать предпосылки для разработки эффективных печных агрегатов различного технологического назначения.

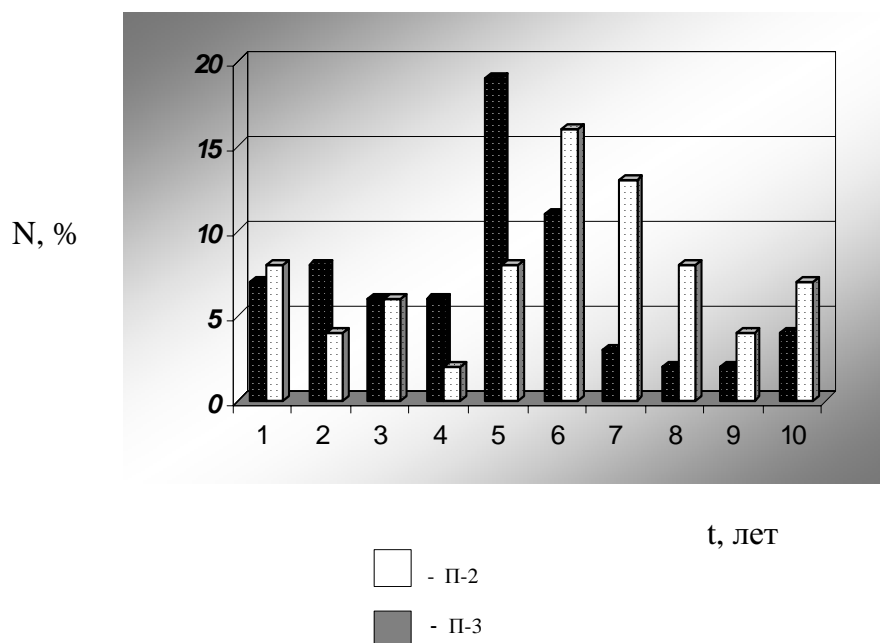


Рисунок 4 - Гистограмма распределения частоты отказов печных труб в зависимости от длительности их эксплуатации

Также в этой главе рассмотрены некоторые способы реконструкции трубчатых змеевиков, позволяющие воспользоваться ранее полученным опытом.

В заключении **второй главы** диссертационной работы приведены известные методики теплового и гидравлического расчета печного змеевика при однократном испарении системы, на основании которых была разработана математическая модель итерационного расчета точки отбора паровой фазы из змеевика трубчатой печи с целью ее последующей оптимизации.

В **третьей главе** в качестве сырья для нагревательной печи П-2 данного расчетного эксперимента были выбраны нефти Волго-Уральского региона России, что наиболее экономически выгодно для нефтяной промышленности Башкортостана. Общие физико-химические характеристики нефтей Волго-Уральского региона представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие физико-химические характеристики нефтей Волго-Уральского региона

№ п/п	Наименование нефти (район добычи)	ρ_{4}^{20}	Молек. вес	v_{20} , ссм	v_{50} , ссм	Давление насыщенных паров, мм.рт.ст.	Парафин, %	Сера, %	Азот, %
1	Туймазинская (Башкортостан)	0,8520	232	9,76	4,46	156	5,90/50°	1,47	0,32
2	Александровская (Башкортостан)	0,8466	237	9,69	4,45	354	3,54/53°	1,30	0,12
3	Краснокамская* (Пермская обл.)	0,8454	215	9,91	5,14	413	6,51/48°	0,95	0,12
4	Ромашкинская* (Татарстан)	0,8408	207	6,54	3,77	516	4,97/50°	1,62	0,15
5	Покровская (Самарская обл.)	0,8548	220	13,9	4,84	143	5,57/52°	1,16	0,18
* - смесь нефтей									

На основе данных таблицы 2 можно выделить такие особенности рассмотренных нефтей данного региона: рассмотренные нефти Башкортостана, как и все нефти Волго-Уральской региона, являются сернистыми (серы от 0,95 до 1,62%); и парафиновыми (парафина от 3,54 до 6,51%).

Расчетной моделью выбрана радиантно-конвекционная вертикальная печь П-2 с вертикальной трубной системой установки АВТ-6 с характеристиками: производительность по сырью $Q = 127 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($G = 34,7 \text{ кг/с}$); температура на выходе из печи $t_{\text{вых}} = 325 \text{ }^\circ\text{C}$; температура на входе в печь $t_{\text{вх}} = 185 \text{ }^\circ\text{C}$; давление на выходе из печи $P_{\text{вых}} = 1,7 \text{ МПа}$.

Характеристика змеевика: длина радиантных труб $l_3 = 361 \text{ м}$; размер радиантных труб $159 \times 8 \text{ мм}$; размер конвекционных труб $127 \times 8 \text{ мм}$; размер труб потолочного экрана $127 \times 8 \text{ мм}$; длина конвекционных труб $l_1 = 681 \text{ м}$; длина труб потолочного экрана $l_2 = 158 \text{ м}$.

Целью экспериментального расчета в **третьей главе** данной работы является обоснование возможности увеличения производительности установки по сырью без повышения давления на входе в змеевик на примере рассматриваемой печи вторичной перегонки П-2 установки АВТ-6 НПЗ путем отбора паровой фазы из предварительно рассчитанной точки змеевика.

Разделение парожидкостного потока в печном змеевике основано на явлении сепарации фаз при их движении в криволинейном канале.

Единственной зоной, где можно реализовать указанный принцип - это отвод безретурбентного змеевика. Поскольку врезка каких-либо штуцеров в этих местах нежелательна, то, приняв во внимание обстоятельство, когда парожидкостный поток, минуя криволинейный участок, не сразу стабилизируется, точка отбора паровой фазы выбирается на расстоянии диаметра трубы змеевика от соединения двойника с гладкой частью печной трубой, как это показано на рисунке 5.

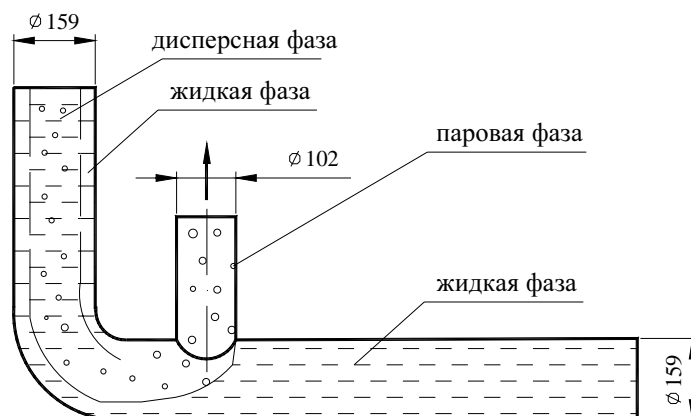


Рисунок 5 - Схема разделения фаз

Разделение фаз происходит вследствие разности удельных весов жидкости и пара. При этом паровая фаза будет двигаться по внутреннему контуру, а жидкая - по внешнему. При нисходящем движении потока разделение становится более эффективным, так как к действию инерционной (центробежной) составляющей добавляется гравитационная сила (сила тяжести).

В основу расчета выбрано уравнение Б.Д. Бакланова для определения давления на участке испарения (1):

$$p_n = \sqrt{p_k^2 + A\ell_u p_k \left(1 + \frac{K}{\ell_u}\right) + B\ell_u^2 \left(1 + \frac{2K}{\ell_u}\right)}, \quad (1)$$

где p_n и p_k — начальное и конечное абсолютные давления на рассматриваемом участке, Па;

ℓ_u — длина рассчитываемого участка испарения, м;

A , B и K — коэффициенты соответственно.

В ходе расчетного эксперимента исследования проводились для конкретного печного змеевика, в котором нефть подвергалась нагреву с частичным испарением. Скорость сырья на входе в змеевик $W_{вх} = 1,5$ м/с.

На основе данных из справочной литературы по разгонке нефтей, был проведен расчет зависимости давления насыщенных паров i -го компонента нефти от температуры в змеевике, в результате которого выявлено, что в ходе постепенного частичного испарения нефти по длине змеевика наблюдается характерное повышение давления насыщенных паров, как показано на рисунке 6.

Номера кривых на графиках соответствуют номерам нефтей в таблице 2, т.е. кривая 1 — туймазинская нефть;

2 — александровская нефть;

3 — краснокамская смесь нефтей;

4 — ромашкинская смесь нефтей;

5 — покровская нефть.

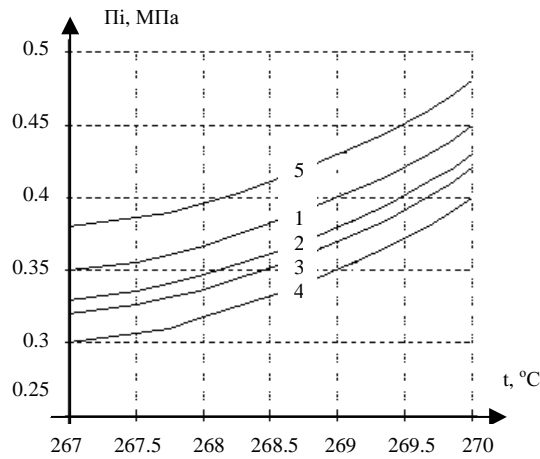
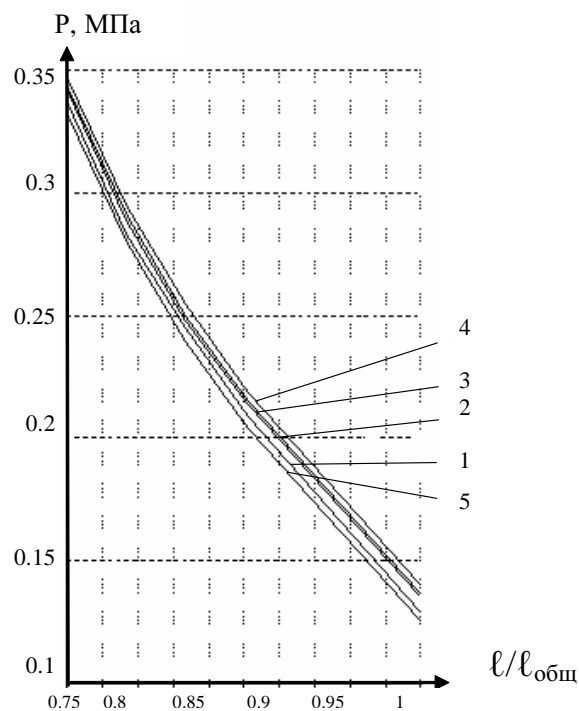


Рисунок 6 – График зависимости давления насыщенных паров P_i i -го компонента от температуры в змеевике t многокомпонентной смеси

Температуру в начале участка испарения примем $T_H = 267^\circ\text{C}$.

Давление при заданной температуре рассчитывается согласно уравнению Б.Д. Бакланова (1).

С учетом гидравлических потерь рассчитываем давление на входе в печь на графике (рисунок 7) показано, как изменяется давление внутри змеевика трубчатой печи по его длине.



$l/l_{\text{общ}}$ – относительная длина змеевика

Рисунок 7 – График изменения давления P в змеевике по длине l

Для определения давления на входе в печь с учетом отбора паровой фазы по длине змеевика на участке испарения с целью оптимального выбора координаты отбора паровой фазы, которая будет обеспечивать минимальное давление на входе в печь и давать максимальный прирост производительности, расчет производится с учетом того, что текущая массовая доля паровой фазы $y_i = 0$ при принятой температуре.

Полученное значение давления в начале участка испарения с учетом отбора паровой фазы сравнивается с ранее принятым, и в случае необходимости производится пересчет.

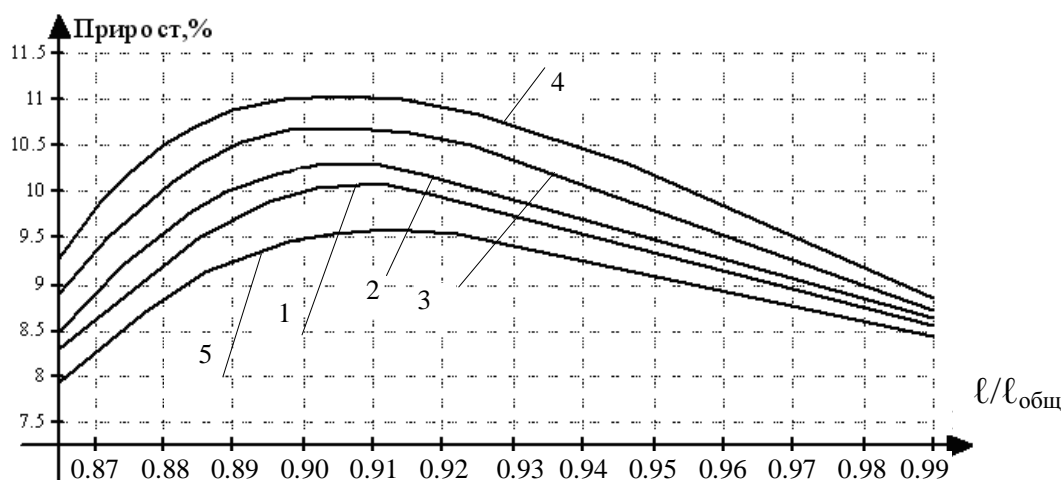


Рисунок 8 – График прироста производительности для нефтей различного состава

Нефть, выбранная в данной работе в качестве исследуемого сырья, представляет собой сложную смесь различных углеродсодержащих соединений, преимущественно углеводородов. Поэтому немаловажную роль играет состав нефти, в зависимости от которого, в значительной мере, зависит, насколько целесообразно применение данного метода на практике. В ходе расчета было выявлено, что точка отбора паровой фазы, даже при незначительном изменении состава, а соответственно и плотности, мигрирует в пределах 10 м, эта зависимость показана в таблице 3.

Таблица 3

Параметр	№ нефти				
	1	2	3	4	5
Длина участка испарения, м	343	344	347	349	342
Координата отбора паров ^x , м	89	90	93	95	88
Количество отбираемых паров	0,978	0,981	0,984	0,989	0,97
Давление на входе в печь, МПа	1,156 ^{xx}	1,155 ^{xx}	1,153 ^{xx}	1,152 ^{xx}	1,157 ^{xx}
Производительность по сырью, м ³ /ч	141,7	142,1	142,8	143,2	141,2
Прирост производительности, %	10,09	10,3	10,7	11,03	9,6
<p>x - отсчет с выхода радиантного змеевика; xx - давления приведены без учета прироста производительности</p>					

В четвертой главе представлен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) труб в узле разделения фаз змеевика нагревательной трубчатой печи в зоне соединения отвода паровой фазы с гладкой частью трубы змеевика для выявления картины распределения напряжений. Для решения поставленной задачи использовался язык программирования APDL, встроенный в пакет ANSYS.

Узел разделения фаз в печном змеевике представляет собой Т-образное соединение цилиндрических оболочек (труб). Толщина стенок и прочность в зоне сопряжения отвода с основной трубой определяется из условия равнопрочности.

Расчет производился исходя из следующих данных:

$P_p = 0,3$ МПа; $t_p = 265^\circ\text{C}$; s (толщина стенки) = 8 мм; \varnothing труб змеевика = 159 мм.

Описание задачи:

Стальной отрезок трубы змеевика со штуцером жестко закрепляется с двух сторон, как показано на рисунке 9, по внутренней поверхности трубы равномерно приложено давление $P=0,3$ МПа, нужно определить распределение напряжений при температуре $T=265^\circ\text{C}$.

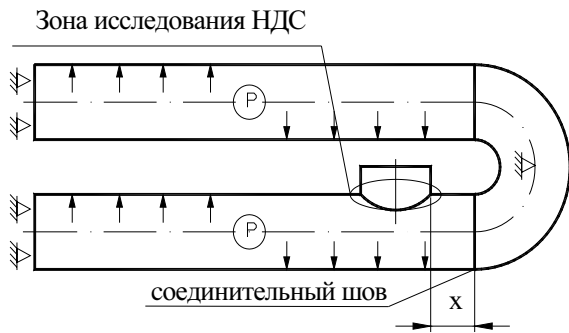


Рисунок 9 - Схема нагружения и закрепления узла разделения фаз змеевика

Для данных рабочих условий выбираем материал 15X5M, который согласно ГОСТ 10498 имеет следующие характеристики:

- $[\sigma]_{300} = 70$ МПа;
- модуль упругости 2×10^5 МПа;
- коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Постановка задачи:

Рассчитываются максимальные эквивалентные напряжения в заданных точках с относительной координатой.

$$L = \frac{L_i}{L_{\max}},$$

где, согласно рисунку 10:

L_i – расстояние от начальной точки до расчетной точки;

L_{\max} – общая длина зоны сопряжения.

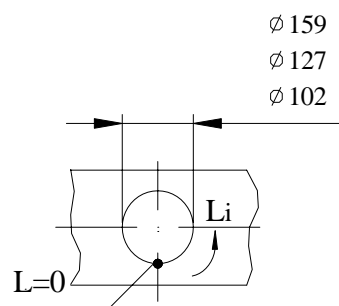


Рисунок 10 - Зона исследования напряженно-деформированного состояния узла разделения фаз змеевика

Для определения оптимального месторасположения узла разделения фаз змеевика нагревательной трубчатой печи, расчет производился для различных вариантов соединения.

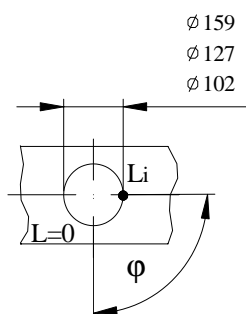
Исследование напряженно-деформированного состояния проводилось в зоне узла разделения фаз змеевика нагревательной трубчатой печи (рисунок 9).

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Размер отвода DxS, мм	x, мм	σ_{\max} , МПа	L, мм	φ , град
102x8	100	5,37	230	279
	200	6,86	160	189
	300	6,89	20	36
	400	6,47	150	180
	500	5,62	170	198
127x8	100	7,06	280	261
	200	9,43	70	54
	300	10,75	390	351
	400	10,63	30	36
	500	9,48	350	315
159x8	100	10,14	60	44
	200	12,77	140	105
	300	15,86	130	98
	400	14,61	450	330
	500	12,33	60	44

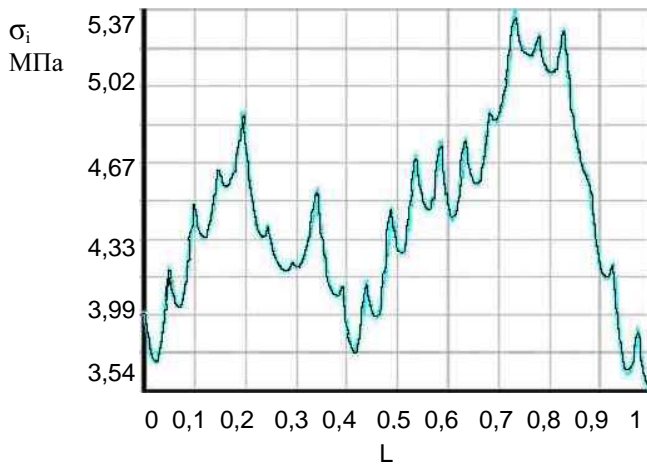
x - расстояние от соединительного шва до зоны исследования НДС (рисунок 9)



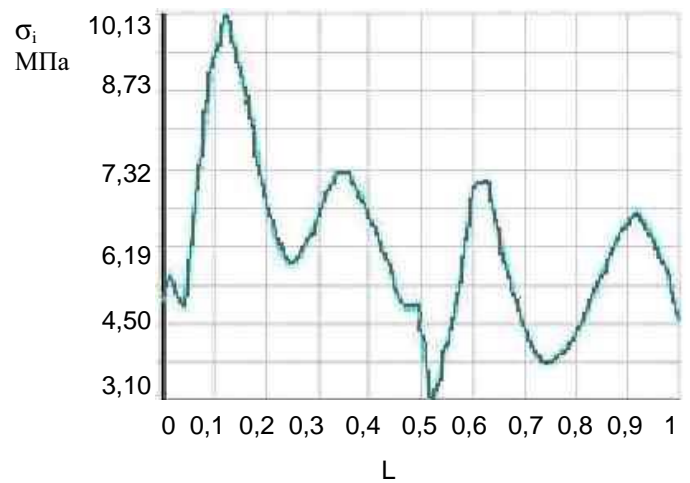
φ – угол расположения расчетной точки L_i от начальной точки L_0

Рисунок 11 - Схема расположения расчетной точки L_i от начальной точки L_0

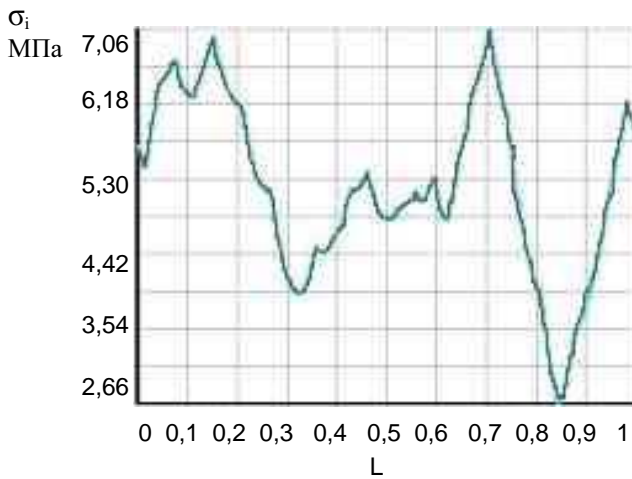
На графиках, представленных на рисунке 12 показано изменение σ_i (эквивалентных напряжений по Мизесу) в зоне исследования НДС.



а



б



в

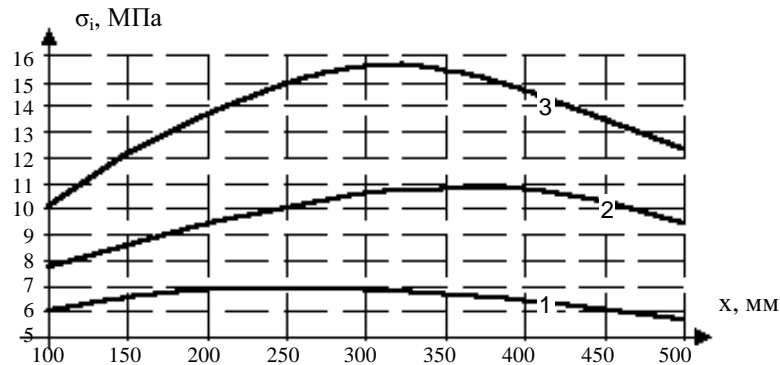
а - \varnothing штуцера 102 мм;

б - \varnothing 127 мм; в - \varnothing 159 мм

Рисунок 12 – Распределение максимальных эквивалентных напряжений по длине зоны исследования НДС

Расстояние от соединительного шва двойника и трубы $x = 100$ мм

На основании полученных результатов, приведенных в таблице 4 построена зависимость максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу от месторасположения штуцера переменного диаметра.



1 - \varnothing штуцера 102 мм; 2 - \varnothing штуцера 127 мм; 3 - \varnothing штуцера 159 мм

Рисунок 13 - Зависимость изменения эквивалентных напряжений от расположения штуцера

Также в четвертой части представлен расчетный анализ конструкции трубчатого змеевика на механическую прочность посредством программы СТАРТ, предназначенной для расчета прочности и жесткости разветвленных пространственных трубопроводов различного назначения при статическом нагружении.

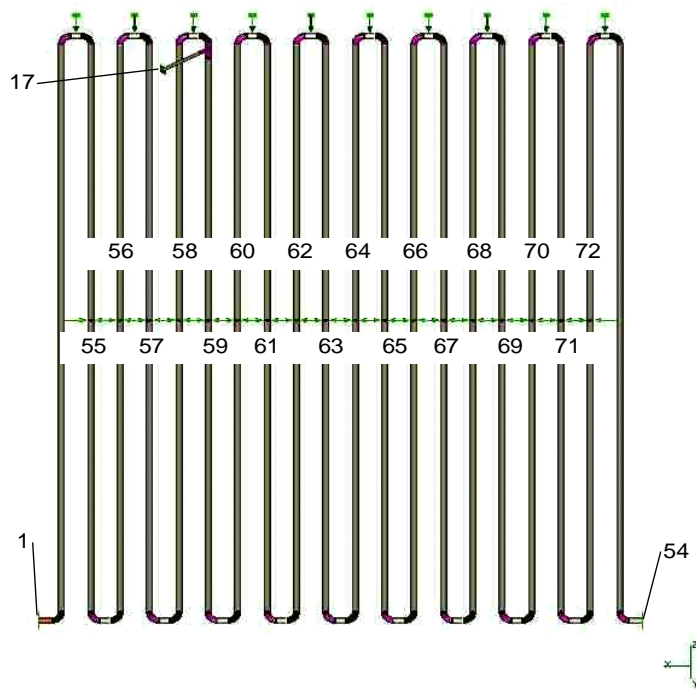


Рисунок 14 - Расчетная модель трубчатого змеевика

Описание задачи:

Радиантный змеевик со штуцером жестко закрепляется, по внутренней поверхности трубы равномерно приложено давление $P=1,7$ МПа, определить картину деформаций труб радиантного змеевика и распределение напряжений от всех воздействий в рабочем состоянии при температуре $T=325^{\circ}\text{C}$.

Постановка задачи:

Определяется картина деформаций труб радиантного змеевика и распределение напряжений от всех воздействий в рабочем состоянии при рабочей температуре в заданных узлах (точках) согласно рисунку 14.

Для определения оптимального закрепления конструкции радиантного змеевика расчетный эксперимент в программе СТАРТ производился для нескольких схем закрепления (рисунок 14):

а - трубчатый змеевик расположен вертикально на жестких подвесках, жесткое закрепление произведено в узлах 1, 17, 54;

б - трубчатый змеевик расположен вертикально на жестких подвесках, жесткое закрепление произведено в узлах 1, 17, 54, а также в узлах 55-72 направляющими опорами;

в - трубчатый змеевик расположен вертикально на жестких подвесках, жесткое закрепление произведено в узлах 1, 17, 54, а также в узлах 55-72 (кроме узлов 58, 59) направляющими опорами.

На основании полученных результатов перемещений змеевика вдоль вертикальной оси (Z) определим оптимальную степень стеснения в узле отвода паровой фазы (узел 15), приведенного на рисунке 16, которая зависит от схемы закрепления змеевика.

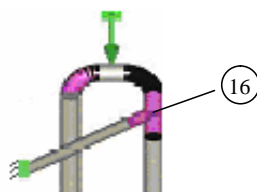
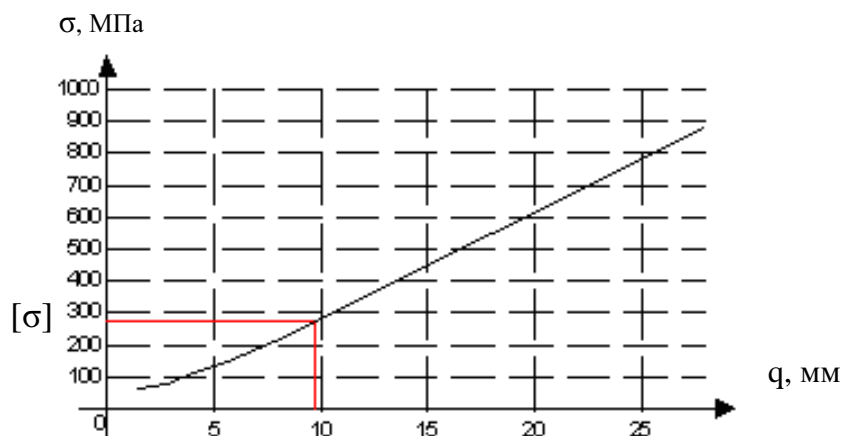


Рисунок 15 - Узел отвода паровой фазы в печном змеевике



$[\sigma]$ - предельное эквивалентное напряжение в змеевике в рабочем состоянии

q - степень стеснения вдоль вертикальной оси (Z)

Рисунок 16 - Зависимость изменения эквивалентных напряжений от перемещения узлов вдоль вертикальной оси при рабочих условиях

Таким образом, узел отбора паровой фазы должен быть закреплен в трех степенях свободы, при этом связи на сопряженных трубах кроме верхней подвески должны быть освобождены (схема закрепления – **в**). Кроме того, расчет, проведенный для схемы закрепления – **а**, когда направляющие опоры отсутствуют по всей длине змеевика, хотя и приводит к снижению степени стеснения, но значительного изменения эквивалентных напряжений в этом случае не наблюдается, что подтверждает выбор схемы закрепления – **в**.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Анализ эксплуатации змеевиков нагревательных печей на примере печей П-2 и П-3 НПЗ показал, что наиболее часто выходят из строя печные трубы в зоне начала участка испарения, где отложение кокса наиболее характерно. Проведенный анализ подтвердил возможность промежуточного отбора паровой фазы из змеевика нагревательной трубчатой печи.

2 Разработана методика расчета по оптимизации работы трубчатой печи посредством отбора паровой фазы из змеевика, на основании которой, разработана математическая модель, по которой проведен расчетный эксперимент, в ходе которого определена оптимальная координата отбора паровой фазы из змеевика трубчатой печи.

3 Расчетный эксперимент подтвердил, что путем отбора паровой фазы возможно увеличение производительности установки по сырью более чем на 10%.

4 Проведен расчетный анализ конструкции змеевика трубчатой печи при промежуточном отборе паровой фазы, который показал:

- при смещении узла отвода паровой фазы на расстояние 300 мм от соединения двойника с гладкой частью печной трубы, эквивалентные напряжения в зоне исследования напряженно-деформированного состояния начинают снижаться;

- при смещении узла отвода паровой фазы на расстояние более 300 мм от соединения двойника с гладкой частью печной трубы, происходит деформация труб змеевика;

- штуцер диаметром 102 мм, расположенный на расстоянии до 200 мм от соединения двойника с гладкой частью печной трубы, является наиболее оптимальным с точки зрения механической прочности.

5 В результате произведенного расчетного анализа конструкции змеевика на прочность было определено, что наиболее выгодными с точки зрения механической прочности змеевика являются схемы, при которых штуцер для отбора паровой фазы должен быть закреплен жестко, при свободном закреплении сопряженных труб.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ОПУБЛИКОВАНО

1 Баязитов М.И., Образцова Е.И. Выбор координаты отбора паровой фазы из змеевика трубчатой нагревательной печи// Матер. 50-й конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. (Уфа, 1999 г.).- Уфа: УГНТУ, 1999.- С.- 96.

2 Образцова Е.И. О методе теплового расчета трубчатых печей. Выбор схемы трубчатой печи// Проблемы прогнозирования, предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Матер. III Всеросс. науч.-практ. конф. (Уфа, 24-25 янв. 2002 г.).- Уфа: Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности Респ. Башкортостан, 2002.- С.- 173.

3 Кузеев И.Р., Образцова Е.И. Дефекты печных труб и статистический анализ// Матер. 53-й конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. (Уфа, 2002 г.).- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.- 103.

4 Баязитов М.И., Образцова Е.И. Изменение состояния сырья трубчатых печей в процессе нагрева с частичным испарением// Матер. 53-й конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. (Уфа, 2002 г.).- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.- 105.

5 Баязитов М.И., Образцова Е.И. Технологические особенности работы нагревательных трубчатых печей с частичным испарением нефти// Матер. 53-й конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. (Уфа, 2002 г.).- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.- 107.

6 Баязитов М.И., Образцова Е.И. Дефекты печных труб и статистический анализ дефектов печных труб трубчатых печей НПЗ// Матер. 53-й конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. (Уфа, 2002 г.).- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.- 98.

7 Баязитов М.И., Образцова Е.И. Исследование напряженно-деформированного состояния узла разделения фаз змеевика нагревательной трубчатой печи// Уфа: Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст.- УГНТУ, 2003.- С.- 131.