



ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ БАЗОВОЙ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИЙ МОДУЛЕЙ ПИРОЛИЗА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ

С.Г.Зубаиров, А.Ф.Ахметов, А.С.Байрамгулов, О.Е.Зубкова, Д.И.Чистов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Evaluation of Strain-Stress States of Initial and Improved Designs of the Modules for Oil Sludge Pyrolysis

S.G.Zubairov, A.F.Ahmetov, A.S.Bairamgulov, O.E.Zubkova, D.I.Chistov

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Abstract

Following equipment was developed and patented for implementation of the more effective methods from environmental and technical aspects for the low temperature sludge incineration. This article describes deformation stresses in constructions of burning chamber for the unit which is of box type shell with saddle shaped bottom. Possibility of coke scale formation on the internal surfaces and the bottom of the burning chamber was practically eliminated due to motion of reverse rotors and preliminary heating of additive material. This method increases efficiency of incinerating equipment, simultaneously permits to reduce temperature for the operation and as a result decreases level of the deformation stresses in burning chamber unit. The initial and upgraded versions of the equipment were described in this document for the situation of abnormal mode on having started technological process and under exposure to excessive pressure in the burning chambers. Analyses of the arising stress conditions in the whole incinerator units and separately for the bottoms of the models are submitted for consideration.

Keywords:

Oil sludge;
Additive material;
Low temperature burning;
Installation; Shell;
Burning chamber;
Saddle shaped bottom;
Deformation stress conditions.

© 2018 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Одной из актуальных экологических проблем при бурении, добыче, транспортировке и переработке нефти является образование нефтяного шлама, количество которого постоянно увеличивается. Переработка и утилизация нефтешламов – это важная экологическая и экономическая задача [1], так как нефтешламы, представляя с одной стороны экологическую опасность, с другой стороны являются ценным вторичным сырьем [2], который можно перерабатывать с извлечением полезных продуктов или использовать в качестве топлива [3,4]. Поэтому многие методы и технологии утилизации нефтешламов, такие как сбор и хранение в шламонакопителях, засыпка, сжигание и т.д. стали абсолютно неприемлемыми из-за несоответствия современным требованиям к экологической безопасности.

В последние десятилетия развитие нефтегазовой отрасли связано с расширением объемов работ в труднодоступных регионах, при этом разработка установок для переработки нефтяно-

го шлама, отвечающих современным требованиям и которые можно было бы устанавливать на машины повышенной проходимости [5,6], стала особенно актуальной.

Одним из самых технологичных способов термической переработки нефтешламов является процесс пиролиза, подразделяющийся на 3 вида. Наиболее приемлемым в экономическом, экологическом и технико-технологическом отношениях из них является низкотемпературный пиролиз [7].

Основными проблемами при создании для пиролиза нефтесодержащих шламов установок являются обеспечение их надежности и работоспособности при высоких температурах, необходимых для реализации процесса переработки, и высокой производительности, ограничиваемой длительностью технологического процесса ввиду преимущественного нагревания только поверхностных слоев шламовой массы в теплообменных установках. Поэтому как в мобильных установках, так и в стационарных, необходимо предусмотреть размещение ответственных узлов в зонах минимальных температур, с целью снижения напряженно-деформированного состояния

(НДС), и технико-технологические методы равномерного прогрева шлама по всему объему. Для комплексного решения этих проблем разработаны способ и установка для реализации пиролиза, на которые получены патенты на изобретение [8,9]. На рисунке 1 изображена модель модуля пиролиза установки термической переработки нефтяного шлама [10,11].

Для исследования соответствия модуля пиролиза условиям прочности и жесткости произведен анализ НДС конструкции с учетом характеристик применяемого материала и комплексного воздействия основных силовых факторов.

В разработанной модульной установке термической переработки шламов, модуль пиролиза выполнен в виде изолированных друг от друга теплопередающим седлообразным днищем, топочного пространства и реактора с перемешивающим устройством, оснащенного вращающимися в противоположных направлениях двумя роторами с лопатками, причем с периодическим реверсированием. Корпус модуля пиролиза принят коробчатым, что позволяет получить большую площадь теплопередающей перегородки, причем не зависящую от ее размещения по высоте корпуса, что имело бы место в случае цилиндрической формы корпуса. Неоптимальность же коробчатой формы с точки зрения напряженно-деформированного состояния в значительной мере компенсируется уменьшением числа концентраторов напряжений, неизбежно возникающих в цилиндрическом корпусе за счет дополнительных конструктивных элементов при выполнении в мобильном варианте.

Учитывая тот факт, что модульная установка термической переработки нефтяных шламов должна быть реализована и в мобильном исполнении, приняты следующие требуемые характеристики базовой модели модуля пиролиза исходя из условия обеспечения возможности размещения модуля на транспортных средствах высокой проходимости, что крайне важно для труднодоступных районов:

- габаритные размеры: длина 1.4 м, ширина 0.9 м, высота 1.4 м;
- объем перерабатываемого сырья 0.5 м³;
- производительность 1.5 – 2 м³/сутки.

Моделирование модуля пиролиза производилось в программном комплексе SIMULIA Abaqus. Для начала численного исследования НДС была создана конечно-элементная модель, которая полностью отражает конструкцию и все узлы модуля пиролиза модульной установки термической переработки нефтяных шламов (рис. 2). Для этого был выбран конечный элемент типа S4 (четырёх-узловой гомогенный оболочный элемент) как для днища, так и для корпуса модуля пиролиза, заданы кинематические граничные условия согласно реальным закреплениям конструкции модуля пиролиза и создан специальный постамент для закрепления всего аппарата, составленный из дискретно твердых элементов, чтобы сделать задачу статически определимой. Для свободной деформации модуля пиролиза в его конструкции не использовали жестких закреплений.

В качестве материала для изготовления модуля пиролиза была принята сталь 20Х23Н18 (модуль упругости материала $E_{20} = 2 \times 10^5$ МПа,

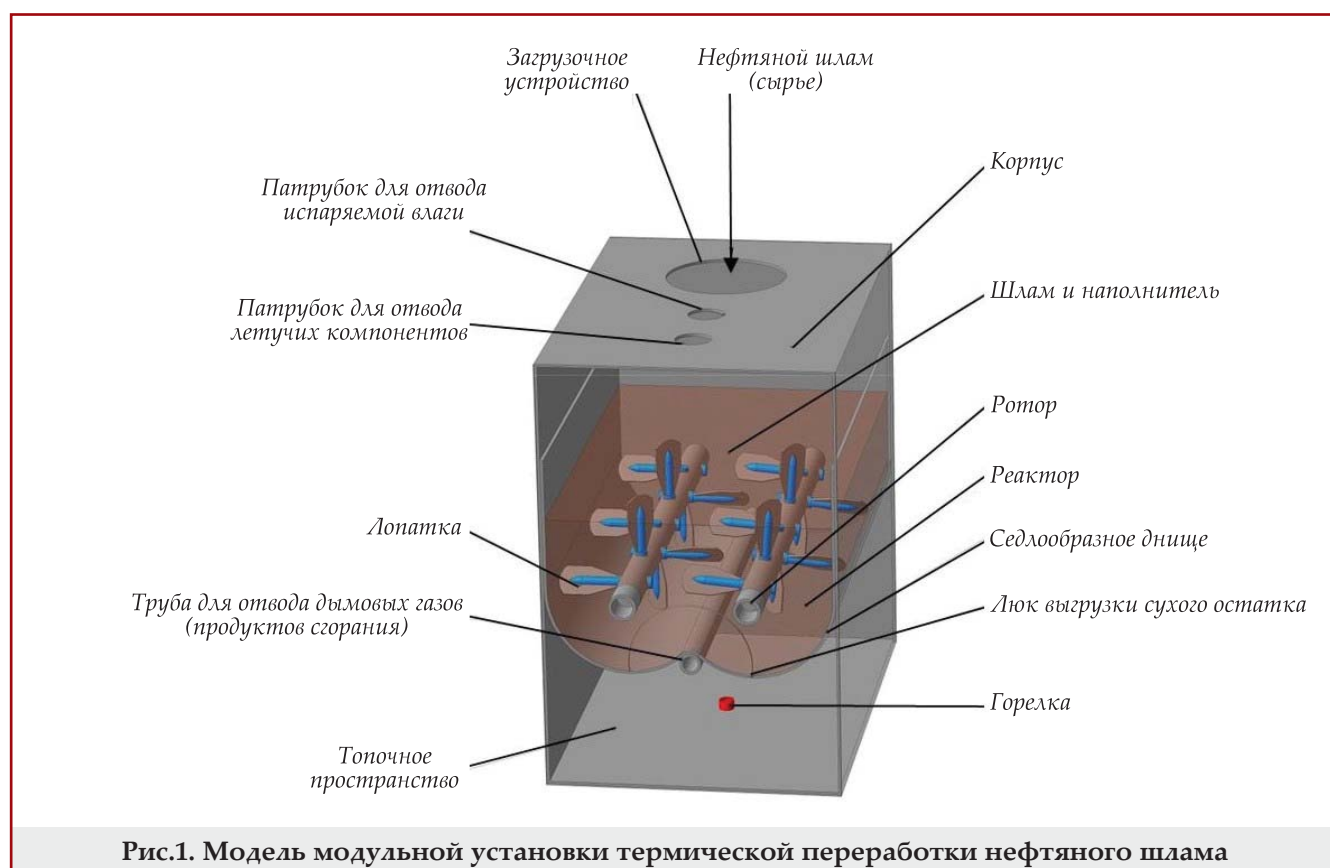


Рис.1. Модель модульной установки термической переработки нефтяного шлама

коэффициент Пуассона $\mu = 0.3$, плотность материала $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, коэффициент температурного расширения $\alpha = 1.8 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 25 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$, как наиболее полно отвечающая условиям эксплуатации.

Для проведения расчета в программном комплексе были заданы необходимые для реализации низкотемпературного пиролиза параметры: приведенное гидростатическое давление ($p = 7.840 \text{ кПа}$), температура технологического режима (в топочном пространстве $700 \text{ }^\circ\text{C}$, в реакторе $450 \text{ }^\circ\text{C}$), характеристики стали 20Х23Н18, толщина днища и корпуса модуля пиролиза $S = 10 \text{ мм}$.

Немаловажной задачей было исследование НДС модуля пиролиза в случае нештатной ситуации, когда в реакторе достигнута температура топочного пространства в $700 \text{ }^\circ\text{C}$ из-за запоздалой загрузки нефтяного шлама, и проведение анализа НДС модуля пиролиза после выхода на технологический режим. Исходные данные для расчета НДС модуля пиролиза при таких условиях работы приведены в таблице 1.

В результате проведенного исследования НДС модуля пиролиза получили, что в случае нештатной ситуации максимальные напряжения составили 445.9 МПа , а после выхода на технологический режим - 392.5 МПа . Следовательно, и в обоих случаях условие прочности корпуса модуля пиролиза выполняется, так как предел прочности стали 20Х23Н18 при данной температуре равен 530 МПа .

Предполагалось, что самым нагруженным элементом модуля пиролиза является двухосное седлообразное днище. Поэтому был произведен расчет НДС модуля пиролиза с разными конфигурациями седлообразного днища. Первой конфигурацией является простое двухосное днище с концентратором (концентратор – место соединения двух частей седлообразного днища), а второй – днище с приваренной вдоль концентратора дымовой трубой. При моделировании учитывалось воздействие днища на стенки корпуса модуля пиролиза, поэтому были введены параметры контакта днища с корпусом.

Результаты исследования НДС корпуса модуля пиролиза и днища приведены в таблице 2.

Результаты исследования позволяют утверждать, что дымовая труба помимо решения основ-

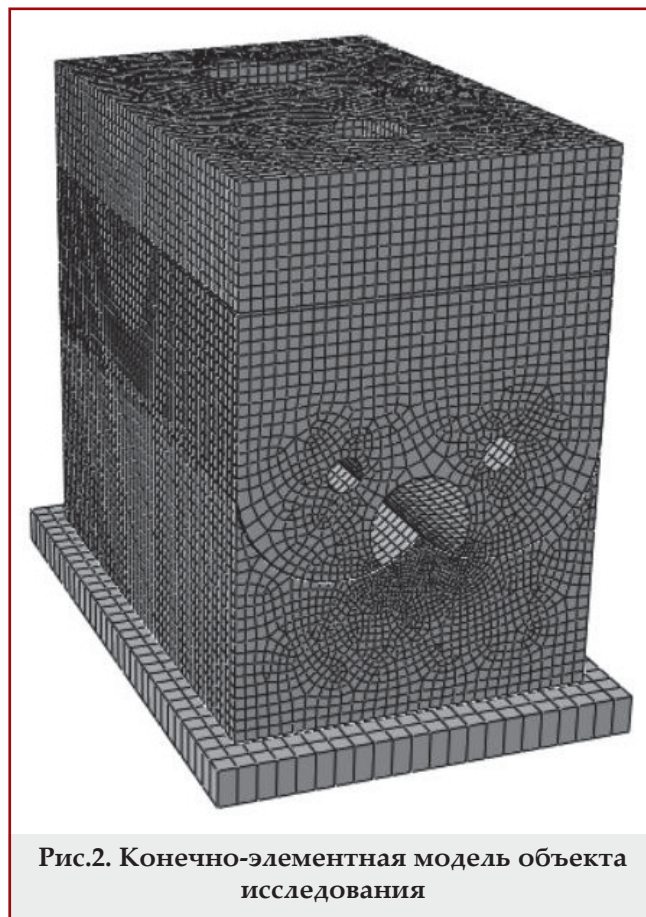


Рис.2. Конечно-элементная модель объекта исследования

ной функции, позволяет снизить максимальные напряжения в наиболее напряженной зоне корпуса (около люка выгрузки) на 90 МПа и в днище на 56 МПа , а также снизить максимальное значение деформации корпуса модуля пиролиза на 0.46 мм и днища на 0.48 мм . Результаты проведенных исследований НДС конструкции модуля пиролиза получены при условии действия в реакторе атмосферного давления, что, согласно разработанному способу переработки нефтяных шламов, соответствует технологическим этапам, предшествующим самому процессу пиролиза.

Процесс пиролиза нефтяного шлама в смеси с наполнителем осуществляется при избыточном давлении до $0.1\text{-}0.2 \text{ МПа}$, чтобы исключить возможность попадания кислорода в реактор модуля пиролиза. В результате возникла необходимость провести анализ НДС модуля пиролиза при действии внутреннего избыточного давления в реакторе, учитывая воздействия выше упомя-

Исходные данные для расчета НДС модуля пиролиза

Таблица 1

Основные характеристики	Нештатная ситуация	Выход на технологический режим
Температура в топочном пространстве, $^\circ\text{C}$	800	700
Температура в реакторе, $^\circ\text{C}$	700	450
Толщина стенки модуля пиролиза, мм	10	10
Гидростатическое давление, кПа	7.840	7.840
Сталь	20Х23Н18	20Х23Н18

нутых нагрузок. Для расчета было принято значение избыточного давления в реакторе модуля пиролиза 0.1 МПа [11].

Исследования НДС модуля пиролиза и днища с учетом избыточного давления в реакторе проводились, как и в первом случае, для конструкций с концентратором и с дымовой трубой.

Результаты исследования НДС корпуса модуля пиролиза и днища с учетом действия избыточного давления в реакторе приведены в таблице 3.

Сравнивая полученные результаты исследования НДС модуля пиролиза для толщины стенки 10 мм видно, что избыточное давление, поддерживаемое в реакторе при проведении процесса пиролиза, вызывает резкое увеличение напряжений как в корпусе модуля пиролиза в целом, так и в днище в частности, и значительное увеличение деформаций корпуса.

Как видно из представленных результатов анализа НДС модуля пиролиза, при действии в реакторе избыточного давления в 0.1 МПа условие прочности не выполняется, так как значение максимальных напряжений в корпусе модуля пиролиза составляет 668.3 МПа, что значительно

превышает предел прочности стали 20Х23Н18 при этой температуре.

В данном случае для обеспечения прочности и жесткости конструкции модуля пиролиза стандартным решением является увеличение толщины стенки. Но такой метод не является рациональным, так как в результате получаем значительное увеличение веса и себестоимости конструкции.

В результате исследования НДС конструкции модуля пиролиза с дымовой трубой видно, что приваренная к днищу вдоль концентратора дымовая труба в корпусе модуля пиролиза снижает максимальное значение напряжений на 170.1 МПа, а максимальное значение деформаций на 0.69 мм, при этом деформация в днище модуля пиролиза снижается на 0.38 мм. Данное явление можно объяснить тем, что дымовая труба, приваренная к днищу вдоль концентратора, выполняет как технологическую функцию отвода дымовых газов из топочного пространства, так и роль ребра жесткости с одновременным снижением напряжений практически во всей конструкции модуля пиролиза.

НДС модуля пиролиза и днища в конструкции с концентратором и с дымовой трубой				
Конфигурация	Максимальные напряжения корпуса, МПа	Максимальные деформации корпуса, мм	Максимальные напряжения днища, МПа	Максимальные деформации днища, мм
С концентратором	392.5	13.46	243.7	12.25
С дымовой трубой	302.7	13.00	187.5	11.77

НДС модуля пиролиза и днища в конструкции с концентратором и с дымовой трубой с учетом действия избыточного давления в реакторе				
Конфигурация	Максимальные напряжения корпуса, МПа	Максимальные деформации корпуса, мм	Максимальные напряжения днища, МПа	Максимальные деформации днища, мм
С концентратором	668.3	22.38	268.2	12.59
С дымовой трубой	498.2	21.69	286.8	12.21

Выводы

1. Выявлено, что наиболее напряженными участками являются зона около люка выгрузки сухого остатка и зона контакта днища с корпусом.
2. Определено, что избыточное давление, поддерживаемое в реакторе при проведении процесса пиролиза, вызывает резкое увеличение деформаций и напряжений как в корпусе модуля пиролиза в целом, так и в днище в частности.
3. Установлено, что дымовая труба позволяет при низкотемпературном пиролизе снизить напряжения в днище на 56 МПа, а в корпусе примерно на 90 МПа, а в случае действия избыточного давления, при несущественном изменении напряжений в днище, снизить их в корпусе на 170.1 МПа.

Литература

1. Г.Г.Ягафарова, С.В.Леонтьева, А.Х.Сафаров, И.Р.Ягафаров. Современные методы переработки нефтешламов. М.: Химия, 2010.
2. Г.Г.Ягафарова, Л.А.Насырова, Ф.А.Шахова и др. Инженерная экология в нефтегазовом комплексе. Уфа: УГНТУ, 2007.
3. О.А.Жаров, В.Л.Лавров. Современные методы переработки нефтешламов //Экология производства. - 2004. - № 5. - С.43-51.
4. Г.Г.Ягафарова, Ф.А.Шахова, А.И.Мухамадеева. Воздействие нефтедобывающей промышленности на состояние окружающей природной среды //Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук». Уфа: УГНТУ, 2008. – С.279.
5. А.С.Байрамгулов, Р.Ш.Халитов. Анализ напряженно-деформированного состояния днища смесителя для переработки нефтешлама //Материалы 65-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: УГНТУ, 2014. – С. 276-278.
6. А.С.Байрамгулов. Анализ способов и пути решения проблем по утилизации нефтяных шламов // Материалы научно-практической конференции с международным участием в ОАЭ «Науки о земле: современное состояние и приоритеты развития». Тюмень: «Вектор Бук», 2013. – С.28-29.
7. И.Л.Глезин, В.Н.Петров, Т.А.Тимофеев. Пиролиз твердых отходов нефтеперерабатывающей промышленности. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1981.
8. А.С.Байрамгулов, С.Г.Зубаиров, Р.Р.Тляшева и др. Установка термической переработки нефтешлама // Патент Российской Федерации №2553821, 2015.
9. С.Г.Зубаиров, А.С.Байрамгулов, И.А.Салихов и др. Способ переработки нефтесодержащих отходов (шламов) //Патент Российской Федерации №2611870, 2017.
10. А.С.Байрамгулов, С.Г.Зубаиров, Р.Р.Тляшева, Р.Ш.Халитов. Оптимизация конструкции модульной установки термической переработки нефтяных шламов //Нефтегазовое дело. – 2014. – Т.12. – №3. – С. 87-97
11. А.С.Байрамгулов, С.Г.Зубаиров, Р.Р.Тляшева, Р.Ш.Халитов. Оценка напряженно-деформированного состояния усовершенствованной конструкции модульной установки термической переработки нефтяных шламов //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – №5. – С. 238-264.
12. А.С.Байрамгулов, С.Г. Зубаиров, Р.Р. Тляшева. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции модуля пиролиза с учетом избыточного давления в реакторе //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. – №3. – С. 360-375.

References

1. G.G.Yagafarova, S.V.Leont'eva, A.H.Safarov, I.R.Yagafarov. Modern methods of sludge processing. M.: Khimiya Publ., 2010.
2. G.G.Yagafarova, L.A.Nasyrova, F.A.Shakhov, et al. Environmental engineering in the oil and gas industry. Ufa: Publishing house UGNTU, 2007.
3. O.A.Žarov, V.L.Lavrov. Sovremennye metody pererabotki neftešlamov //Èkologiâ proizvodstva. - 2004. - № 5. - S.43-51.
4. G.G.Yagafarova, F.A.Shahova, A.I.Muhamadeeva. Vozdeystvie neftedobyivayushey promyishlennosti na sostoyanie okruzhayushey prirodnoy sredy //Materialyi mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferensii «Aktualnyie problemyi tehniceskikh, estestvennyih i gumanitarnyih nauk». Ufa: UGNTU, 2008. –S. 279.
5. A.S.Bajramgulov, R.Š.Halitov. Analiz naprâženno-deformirovannogo sostoâniâ dniša smesitelâ dlâ pererabotki neftešlama //Materialy 65-oj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh učenyh UGNTU. Ufa: UGNTU, 2014. – S. 276-278.
6. A.S.Bajramgulov. Analiz sposobov i puti rešeniâ problem po utilizacii neftânyh šlamov //Materialy naučno-praktičeskoj konferencii s mezhdunarodnym učastiem v OAË «Nauki o zemle: sovremennoe sostoânie i prioritety razvitiâ». Tûmen': «Vektor Buk», 2013. – S.28-29.
7. I.L. Glezin, V.N. Petrov, T.A. Timofeev. Pyrolysis of the solid waste of oil refining industry. M.: CSRII&TER of oil refining and petrochemical industry, 1981.
8. A.S.Bajramgulov, S.G.Zubairov, R.R.Tlyasheva, et al. Plant for thermal processing of oil sludge //RU Patent No. 2553821, 2015.
9. S.G.Zubairov, A.S.Bajramgulov, I.A.Salihov, et al. Method of processing oily wastes (sludges) //RU Patent No. 2611870, 2017.
10. A.S.Bairamgulov, S.G.Zubairov, R.R.Tlyasheva, R.S.Halitov. Oil sludge heat treatment modular unit design optimization //Oil and Gas Business. – 2014. – Vol.12. – No.3. – P. 87-97
11. A.S.Bairamgulov, S.G.Zubairov, R.R.Tlyasheva, R.S.Halitov. Evaluation of strain-stress state of the improved oil sludge thermal treatment modular unit design // Electronic scientific journal "Oil and Gas Business". – 2014. – №5. – P. 238-264.
12. A.S.Bairamgulov, S.G.Zubairov, R.R.Tlyasheva. Research of strain-stress state of a pyrolysis module design considering the excess pressure in the reactor // Electronic scientific journal "Oil and Gas Business". – 2015. – №3. – P. 360-375.

Оценка напряженно-деформированных состояний базовой и усовершенствованной конструкций модулей пиролиза нефтесодержащих шламов

С.Г.Зубаиров, А.Ф.Ахметов, А.С.Байрамгулов, О.Е.Зубкова, Д.И.Чистов
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Реферат

Для реализации наиболее эффективного с экологической и технологической сторон низкотемпературного пиролиза разработана и запатентована установка, рассматриваемая в данной статье с позиции напряженно-деформированного состояния его реактора с корпусом коробчатой формы и седлообразным днищем. Благодаря реверсному вращению роторов и предварительному подогреву наполнителя практически исключено коксообразование на днище и стенках реактора, что позволяет повысить коэффициент полезного действия и производительность, понизить требуемую температуру в топке и напряженно-деформированное состояние реактора. В статье представлена модель и приведен анализ напряженно-деформированного состояния днища в отдельности и всего модуля пиролиза в нештатной ситуации, после выхода на технологический режим, при действии избыточного давления в реакторе базового и усовершенствованного исполнения.

Ключевые слова: нефтесодержащий шлам, наполнитель, низкотемпературный пиролиз, установка, реактор, седлообразное днище, корпус, напряженно-деформированное состояние.

Neft tərkibli şlamların piroliz modullarının baza və təkmilləşdirilmiş konstruksiyalarının gərginlik-deformasiya vəziyyətlərinin qiymətləndirilməsi

S.G.Zubairov, A.F.Axmetov, A.S.Bayramqulov, O.Ye.Zubkova, D.İ.Çistov
Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya

Xülasə

Ekoloji və texnoloji baxımdan daha səmərəli olan aşağıtemperaturlu pirolizin yerinə yetirilməsi üçün qurğu işlənib hazırlanmış və patentləşdirilmişdir. Məqalədə həmin qurğunun korpusu qutu formasında, dibi yəhərşəkilli olan reaktorunun gərginlik-deformasiya vəziyyətinə baxılmışdır. Rotorların revers fırlanması və aşqarın qabaqcadan qızdırılması sayəsində reaktorun dibində və divarlarında koksəmələgəlmə istisna təşkil edir. Bu işə faydalı iş əmsalını və məhsuldarlığı yüksəltməyə, odluqda tələb olunan temperaturu və reaktorun gərginlik-deformasiya vəziyyətini aşağı salmağa imkan verir. Məqalədə texnoloji rejimə çıxışdan sonra, baza və təkmilləşdirilmiş reaktorlarda izafi təzyiq altında ştatdankənar vəziyyətdə bütün piroliz modulunun və dibin ayrılıqdakı gərginlik-deformasiya vəziyyətinin modeli və analizi təqdim edilmişdir.

Açar sözlər: neft tərkibli şlam, aşqar, aşağıtemperaturlu piroliz, qurğu, reaktor, yəhərşəkilli dib, korpus, gərginlik-deformasiya vəziyyəti.