

## **РАЗРАБОТКА РЕАКТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПИРОЛИЗА**

**Павлюкевич Д.Г.**

**научный руководитель доцент, канд. техн. наук Соловьев Е.А.**

*Сибирский федеральный университет*

Ведущая десятка нефтедобывающих стран – США, Саудовская Аравия, Россия, КНР, Канада, Иран, Ирак, ОАЭ, Мексика и Кувейт – производит более миллиарда баррелей нефти в месяц, и в процессе переработки ежемесячно в отходах остаются десятки миллионов тонн шлама. По приблизительным оценкам, в общемировом масштабе около 670 млрд долл. должно быть потрачено на очистку окружающей среды от продуктов нефтепереработки, и цифры растут от 7 до 10 % ежегодно.

На НПЗ упомянутых стран в числе прочих образуются некондиционные нефтепродукты (нефешламы), они заливаются в резервуары и сливаются в прудки и шламохранилища. Переполнение шламовых амбаров приводит к разливам и загрязнению нефтепродуктами почв и грунтов. Грунты также загрязняются вследствие диффузии нефтепродуктов при недостаточной изоляции дна и боковых стенок (или при отсутствии такой изоляции) и последующем перенесении углеводородов вместе с водой по водоносным горизонтам. Кроме того, загрязнение грунтов и водоемов происходит при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов в транспортных системах и в нефтехранилищах. Остающиеся шламы – это, безусловно, бомба замедленного действия, грозящая экологической катастрофой, а компаниям, виновным в их образовании – финансовыми потрясениями.

В связи с этим, в настоящее время активно ведется разработка способов переработки отходов нефтепродуктов. Правительства развитых стран начинают все больше внимания уделять вопросам охраны окружающей среды и поощряют создание соответствующих технологий.

На сегодняшний день одним из перспективных направлений переработки отходов нефтепродуктов является разработка и совершенствование реакторов для переработки нефтеотходов на основе процесса высокоскоростного пиролиза. Пиролиз - термический распад углеводородных продуктов без доступа кислорода на составные части. В более широком смысле, процесс разложения химических соединений на составляющие менее тяжелые молекулы, под действием повышения температуры.

На основе действия данного процесса разработан реактор для переработки твёрдого углеводородсодержащего сырья, в частности бурого угля, биомассы, древесины и торфа, и служит для извлечения конденсируемых углеводородов и может найти применение в теплоэнергетике, химической, сельскохозяйственной, лесоперерабатывающей отраслях промышленности.

В ходе проекта был проведен патентный поиск, в ходе которого были рассмотрены уже существующие модели реакторов, выделены их недостатки и была определена задача - повышение эффективности работы реактора высокоскоростного пиролиза за счёт расширения функциональных возможностей, повышения надёжности и повышения выхода и качества жидких продуктов пиролиза в сравнении с существующими реакторами.

Уже существующие реактора для переработки отходов нефтепродуктов на основе пиролиза имеют комплекс недостатков, а именно:

- низкая эффективность переработки исходного сырья из-за неравномерности размеров частиц сырья и низкий выход жидких продуктов пиролиза, рис.1(патент РФ № 2293104 С1, дата приоритета 13.09.2005, дата публикации 10.02.2007, авторы Котельников В.А. и др., RU);

- является высокое потребление электроэнергии (патент РФ № 2349624С1, дата приоритета 06.09.2007, дата публикации 20.03.2009, автор Стребков Д.С., RU);

- низкая эффективность работы реактора, обусловленная наличием щелевых устройств, усложняющих конструкцию и ограничивающих функциональные возможности реактора из-за трудности регулирования времени пребывания сырья в зоне пиролиза, ограничений по влажности исходного сырья, так как щелевые сопла могут закоксовываться влажными частицами исходного угля и образующимся в процессе реакции углеродом, что может негативно отразиться на выходе и качестве жидких продуктов пиролиза, кроме того, применение наряду с газом-носителем мелкозернистого твёрдофазного теплоносителя снижает надёжность реактора из-за возникновения абразивного износа внутренних стенок (Авторское свидетельство СССР № 1666513, дата приоритета 06.04.1989, дата публикации 30.07.1991, авторы Хмелевская Е.Д. и др., RU, прототип).

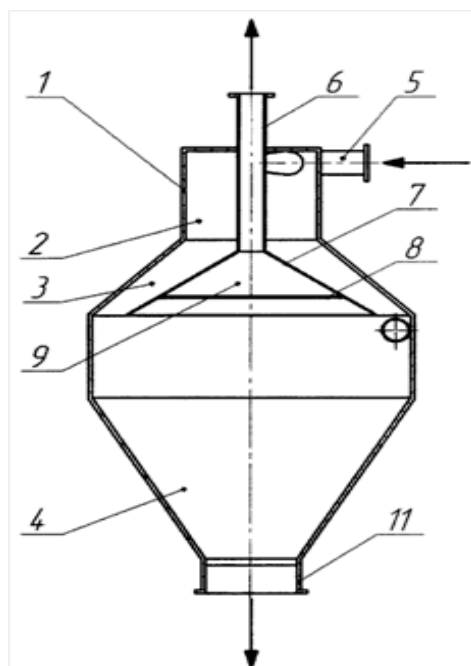


Рисунок 1 – Устройство реактора:

1 – корпус, 2, 3, 4 – зоны протекания пиролиза,

5 – патрубок подачи тонкоизмельчённого исходного сырья с газовым теплоносителем, 6 – патрубок для отвода парогазовых продуктов пиролиза с возможностью вертикального перемещения, 7 – раструб, 8 – каталитическая решетка, 11 – патрубок отвода твёрдых продуктов пиролиза.

Разработанный реактор высокоскоростного пиролиза работает следующим образом. Подаваемое через тангенциальный патрубок 6 исходное сырьё вместе с потоком газового теплоносителя поступает в зону 2, приобретает вращательное движение и вовлекается в быстровращающийся вихревой поток реакционной смеси, перемещающийся в зону 3, благодаря чему обеспечивается малое время пребывания сырья в зоне реакций и протекание процесса высокоскоростного пиролиза. При этом в зоне 2 происходит взрывная деструкция угольных частиц из-за мгновенного вскипания входящей в их состав воды, что способствует ещё более тонкому измельчению частиц и, соответственно, повышению их реакционной способности, что в результате приводит к повышению степени превращения и выхода продуктов пиролиза. В зоне 3 происходит контролируемый процесс высокоскоростного пиролиз частиц сырья. В результате этого процесса образуется парогазовая смесь, содержащая неконденсируемые углеводороды, оксид углерода и водород, а также пары конденсируемых углеводородов, составляющих жидкие продукты пиролиза. Для интенсификации процесса в зону 3 через тангенциальные патрубки 10, присоединенные с противоположных сторон к средней части корпуса,

дополнительно вводится восстанавливающий газ, содержащий оксид углерода и водород, который обеспечивает восстановление конденсируемых углеводородов из парогазовой смеси в зоне каталитического гидрирования парогазовых продуктов пиролиза 9 и, тем самым, повышает содержание бензиновых и дизельных фракций, а следовательно обеспечивает повышение эффективности работы реактора за счёт увеличения выхода и качества жидких продуктов пиролиза. Парогазовая смесь продуктов пиролиза отводится из реактора через коаксиально расположенную выхлопную трубу 6 с раструбом 7 и далее направляется в систему окончательной очистки и конденсации (не показана). Благодаря возможности перемещения выхлопной трубы с раструбом 7 в вертикальной плоскости и регулирования зазора между раструбом и стенкой корпуса реализуется возможность изменения реакционного объёма и, соответственно, времени пребывания сырья в зоне пиролиза 3, что расширяет функциональные возможности реактора и повышает эффективность его работы. Частицы твёрдых продуктов пиролиза при их вращении отбрасываются центробежными силами к стенке корпуса, спускаются по ней в зону 4 и выводятся из нижней части реактора через патрубок 11 отвода твёрдых продуктов пиролиза в систему сбора и утилизации.

Также был проведен расчет на прочность корпуса реактора, в ходе которого был определен материал конструкции и толщина стенок корпуса. Данные расчеты подтверждают, что предлагаемая установка будет функционировать при воздействии высоких давлений и температур.

Для обеспечения протекания процесса пиролиза расчетную температуру принимаем равной 650 градусам по Цельсию. Расчетное давление.  $10 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$ . В качестве материала корпуса предлагается использовать сталь марки 20Х23Н13, которая применяется для изготовления деталей, работающих при высоких температурах (до 900-1000 °С), жаропрочная, аустенитно - ферритного класса.

Предлагаемый реактор для переработки отходов нефтепродуктов на основе процесса высокоскоростного пиролиза позволяет осуществлять следующие операции:

- переработка загущенных нефтяных остатков;
- пиролиз медицинских (опасных для здоровья) отходов;
- переработка бурого угля, биомассы, древесины и торфа, и служит для извлечения конденсируемых углеводородов и может найти применение в теплоэнергетике, химической, сельскохозяйственной, лесоперерабатывающей отраслях промышленности.

Разработанная конструкция реактора исключает вероятность закоксовывания. обеспечивает возможность использования сырья с различной степенью влажности. В результате повышается надёжность и эффективность работы реактора, происходит интенсификация тепло-массообменных процессов и достигается высокая степень превращения сырья и высокий выход жидкого продукта.

Реактор высокоскоростного пиролиза обеспечивает:

- эффективную переработку нефтепродуктов из отходов;
- уменьшение газовых выбросов в атмосферу;
- получение альтернативных энергоносителей из возобновляемого сырья для производства энергии.

## Список использованной литературы

1. Р.А. Мхитаров, «Технологии и оборудование для переработки отходов нефтепереработки, нефтешламов и загрязненных углеводородами грунтов», НГН, 2014, 72 с.
2. <http://www1.fips.ru> - официальный сайт федерального института промышленной собственности.
3. Мхитаров Р.А. Доклад на международном форуме «Новые технологии переработки нефтяных отходов и рекультивации загрязненных земель». 14.06.2012. Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина.
4. ГОСТ 14249-89 СОСУДЫ И АППАРАТЫ НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
(расчет на прочность)

## Расчет на прочность

Допускаемое напряжение  $[\sigma]$  при расчете по предельным нагрузкам сосудов и аппаратов, работающих при статических однократных нагрузках, определяется:

$$\sigma = \mu \frac{R_{p0.2}^{20} \text{ или } R_{p1.0}^{20}}{n_T}, \quad (1)$$

где  $n_T$  – коэффициент запаса прочности, условный предел текучести  $R_{p0.2}^{20} = 295 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ,

$$\sigma = \mu \frac{R_{p0.2}^{20} \text{ или } R_{p1.0}^{20}}{1,5} = \frac{295}{1,5} = 196,7$$

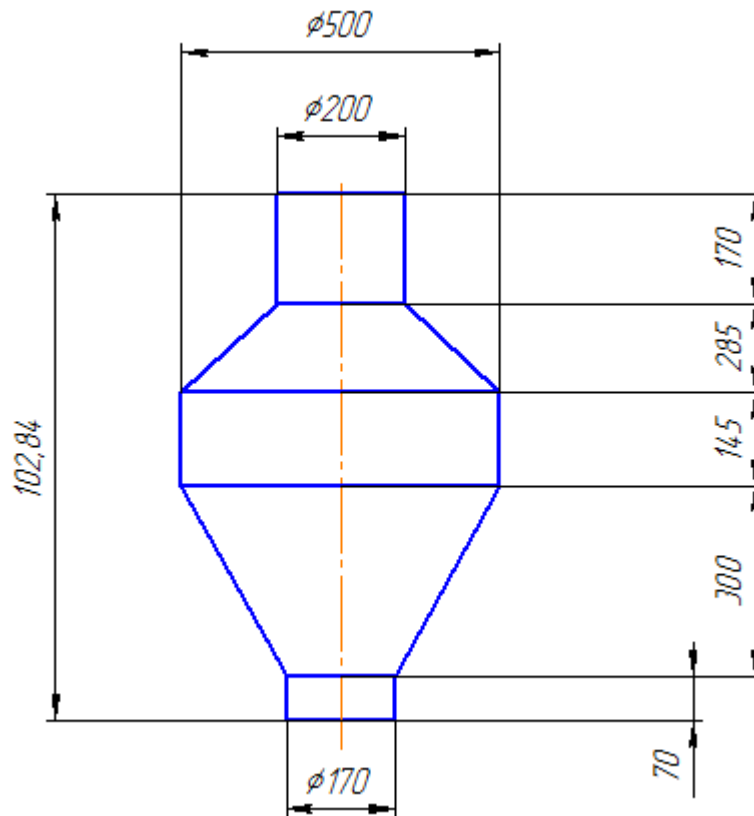


Рисунок 1 – Размеры реактора

Исполнительная толщина стенки элемента сосуда и аппарата:

$$s \geq s_p + c, \quad (2)$$

где  $s_p$  - расчетная толщина стенки элемента сосуда и аппарата,  $c$  – прибавка к расчетным толщинам.

Расчет обечайки №1:

$$s \geq s_p + c = 3,45 + 2 = 5,45 \text{ мм},$$

где

$$s_p = \frac{p D}{2[\sigma]\varphi_{p-p}} = \frac{10 \cdot 200}{2 \cdot 196,7 \cdot 1,5 - 10} = 3,45 \text{ мм} \quad (3)$$

Расчет обечайки №2:

$$s \geq s_p + c = 8,6 + 2 = 10,6 \text{ мм},$$

где

$$s_p = \frac{p D}{2[\sigma]\varphi_{p-p}} = \frac{10 \cdot 500}{2 \cdot 196,7 \cdot 1,5 - 10} = 8,6 \text{ мм}$$

Расчет обечайки №3:

$$s \geq s_p + c = 2,9 + 2 = 4,9 \text{ мм},$$

где

$$s_p = \frac{p D}{2[\sigma]\varphi_{p-p}} = \frac{10 \cdot 170}{2 \cdot 196,7 \cdot 1,5 - 10} = 2,9 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенок конической обечайки №1

Расчетный диаметр конической обечайки:

$$D_k = D - 1,4 \cdot \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 = 200 - 1,4 \cdot 47,8 \cdot \sin 47,8 = 153,2 \text{ мм} \quad (4)$$

Толщина стенки:

$$s \geq s_{к.р.} + c = 5,7 + 2 = 7,7 \text{ мм}$$

$$s_{к.р.} = \frac{p D_k}{2[\sigma] \varphi_p - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{10 \cdot 153,2}{2[196,7]1,5 - 10} \cdot \frac{1}{\cos 47,8} = 5,7 \text{ мм}$$

Расчет толщины стенок конической обечайки №2

Расчетный диаметр конической обечайки:

$$D_k = D - 1,4 \cdot \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 = 170 - 1,4 \cdot 29,4 \cdot \sin 29,4 = 149,4 \text{ мм}$$

Толщина стенки:

$$s \geq s_{к.р.} + c = 5,2 + 2 = 7,2 \text{ мм}$$

$$s_{к.р.} = \frac{p D_k}{2[\sigma] \varphi_p - p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{10 \cdot 149,4}{2[196,7]1,5 - 10} \cdot \frac{1}{\cos 47,8} = 5,2 \text{ мм}$$