

Оборудование для завода
по переработке угля
в дизельное топливо
и сопутствующие
нефтепродукты



НИИХТ

niixt.ru

info@niixt.ru

Комплекс

«НПЗ-ДТ500»

Назначение комплекса «НПЗ-ДТ500»

Комплекс «НПЗ-ДТ500» предназначен для ожижения угля с получением синтетической нефти и ее переработки преимущественно в дизельное топливо и остаточные количества бензиновой фракции и мазута.



Концепция построения комплекса «НПЗ-ДТ500»

В основу концепции построения комплекса **«НПЗ-ДТ500»** положен принцип открытой архитектуры построения и принцип использования крупногабаритных модулей высокой заводской готовности.

Принцип открытой архитектуры построения позволяет реализовывать в дальнейшем как мощность комплекса, так и его функциональные возможности в части расширения номенклатуры выпускаемых нефтепродуктов, так и их качества (степени очистки, повышения эксплуатационных свойств). Кроме того, этот принцип позволяет выбрать различные варианты переработки зольного остатка от ожижения угля.

Принцип использования крупногабаритных модулей высокой заводской готовности позволяет минимизировать время и затраты на монтажные и пусконаладочные работы при строительстве комплекса.

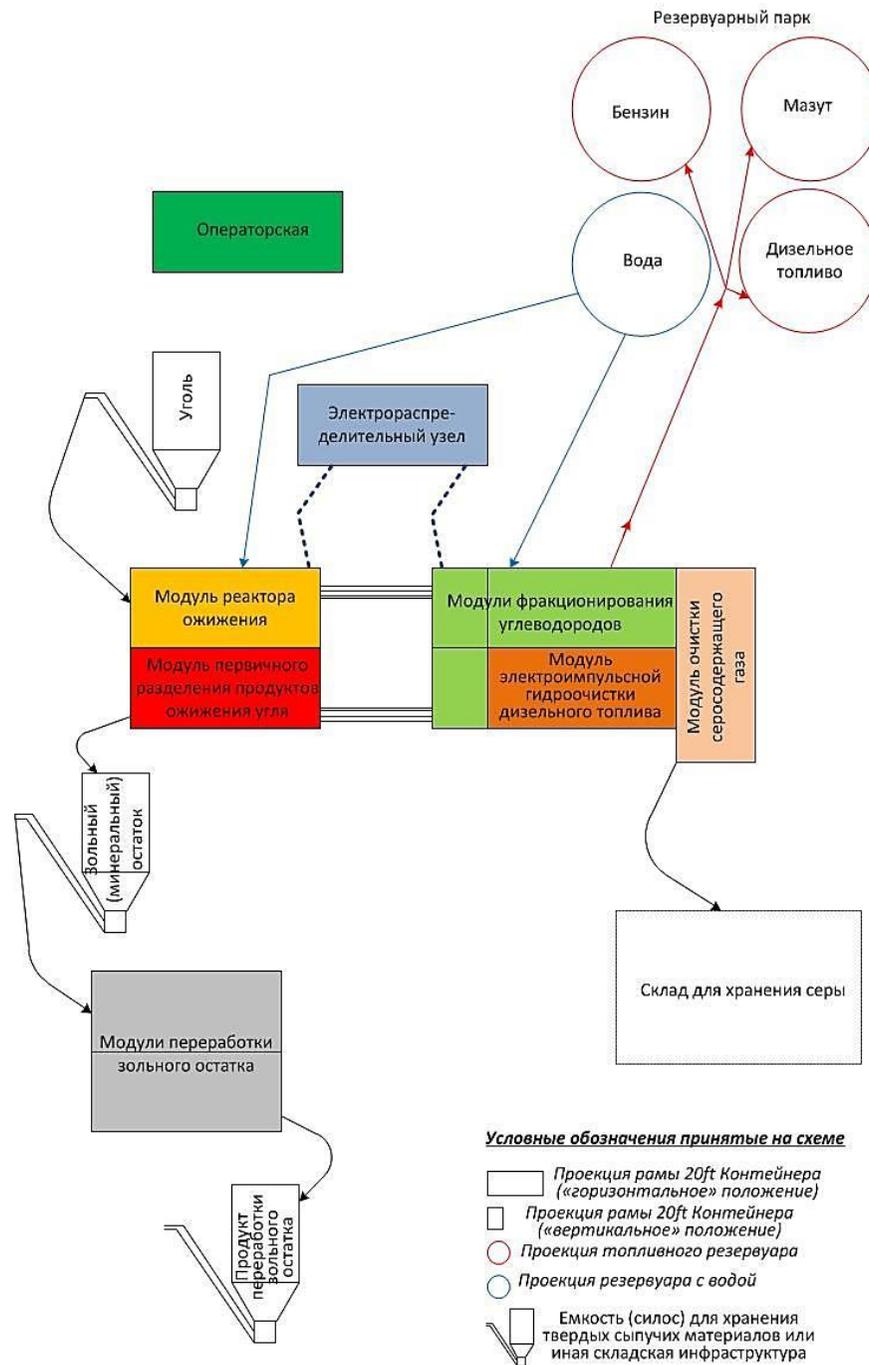
Размещение комплекса «НПЗ-ДТ500»

Весь комплекс преимущественно состоит из крупногабаритных модулей высокой заводской готовности выполненных в габаритах 20-футовых морских контейнеров. Часть модулей образует единое пространство, а их рамы соединяются болтовыми соединениями. Для размещения модулей требуется плитный фундамент.

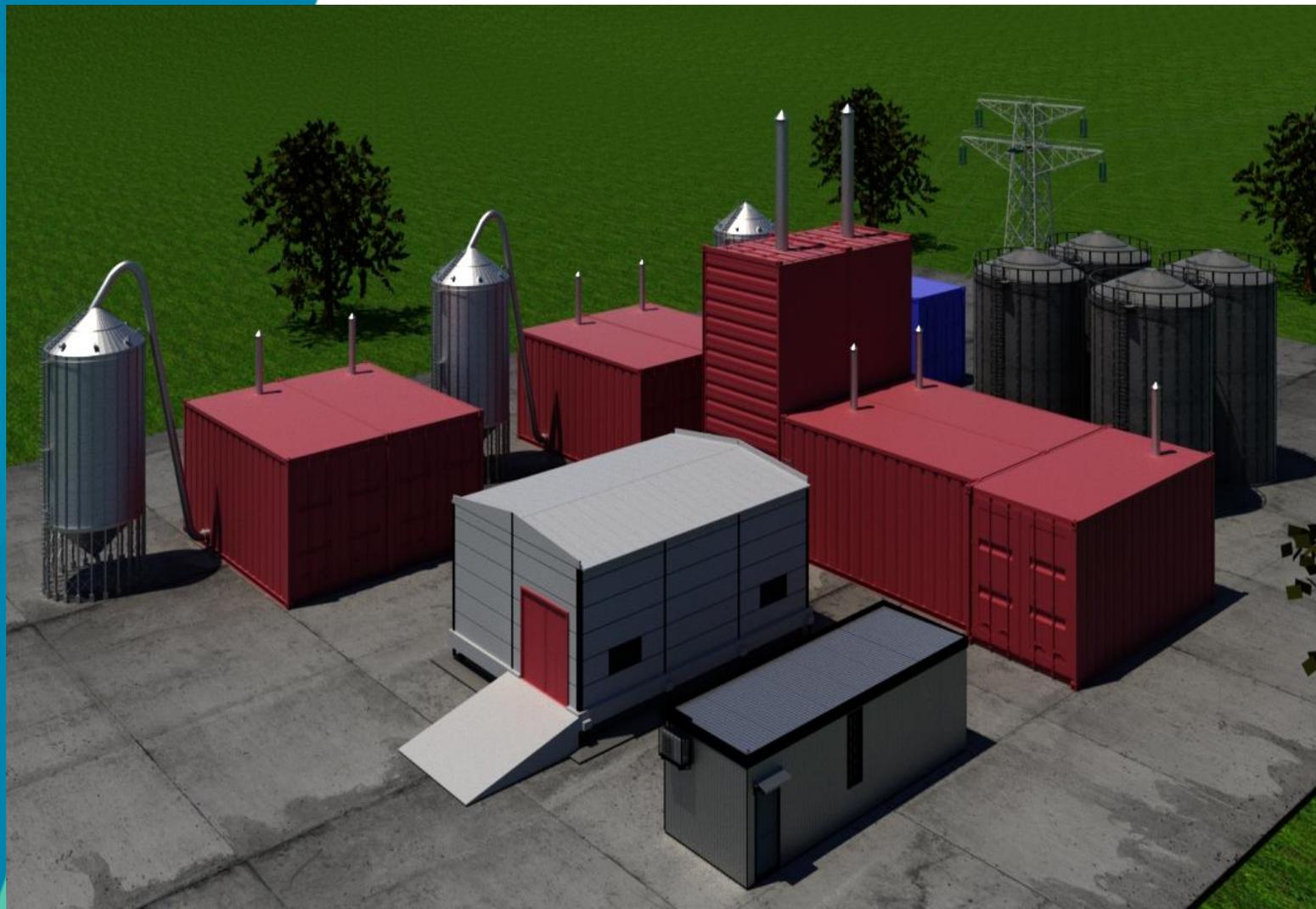
Кроме собственно технологических модулей в состав комплекса входят резервуары для хранения полученных нефтепродуктов, складское хозяйство (для угля, зольного остатка, продуктов переработки зольного остатка (опционально) серы), резервуар с запасом воды.

Состав инфраструктурной части согласовывается с заказчиком, а весь комплекс привязывается к местности производственной площадки на стадии разработки проекта размещения.

Размещение комплекса «НПЗ-ДТ500»



Размещение комплекса «НПЗ-ДТ500»



Выход нефтепродуктов. Основные показатели нефтепродуктов.

Примерные выходы для каменных и бурых углей с зольностью около 43%

Стадия получения нефти

- Выход нефти из бурого угля и каменного угля 36-52 (40)%;
- Выход газов из бурого угля 5-16%;
- Выход газов из каменного угля 3-9%;
- Выход минерального остатка из бурого и каменного угля – 98-104% от сухого минерального остатка.

Стадия переработки нефти (в тоннах)

- Выход ДТ из полученной нефти 0.7
- Выход бензиновой фракции из полученной нефти 0.12
- Выход бензина Аи92 из бензиновой фракции 0.96 (остальное ПБФ)
- Выход мазута из полученной нефти 0.14
- Выход газа из полученной нефти 0.04
- Выход компонента СМТ (газойля) из полученного мазута 0.87 (остальное газы на сжигание для собственных нужд)

Выход нефтепродуктов. Основные показатели нефтепродуктов.

Пример баланса для узла ожижения и первичного фракционирования и узла фракционирования с крекингом

Сырье	Продукты
ожижение и первичное разделение продуктов ожижения	
Всего 2.16 т	Всего 2.16 т
Уголь 1 т	Минеральный остаток 0.42 т
Мазут 1 т	Смесь жидких углеводородов 1.47
в т.ч.:	в т.ч.:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ кубовый остаток рецикла с узла фракционирования и крекинга за условные предыдущие циклы ожижения – 0.96т; ▪ кубовый остаток, образованный из угля с предыдущего условного цикла 0.04 т. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ неизрасходованный кубовый остаток рецикла 0.96; ▪ фракция кубового остатка, образованная непосредственно из угля текущего цикла 0.12 т; ▪ дизельная фракция 0.27 (в т.ч. дизельная фракция, образованная из кубового остатка рецикла 0.035); ▪ бензиновая фракция 0.07 (в т.ч. бензиновая фракция, образованная из кубового остатка рецикла 0.0012); ▪ газы 0.12 (в т.ч. газы, образованные из кубового остатка рецикла 0.0038)
Вода (в т.ч. вода рецикла 0.15т) 0.16т	Вода 0.15т
фракционирование и крекинг	
Всего 1.47 т	Всего 1.47 т
Смесь жидких углеводородов 1.47	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Кубовый остаток 1.04 т (в т.ч. кубовый остаток на рецикл 1т, кубовый остаток на вывод с Комплекса 0.04т) ▪ Дизельное топливо 0.33 т (в т.ч. доля «прямогонного» 0.22т и «крекинга» 0.11 т) ▪ Бензиновая фракция 0.065 т (в т.ч. доля «прямогонного» 0.041т и «крекинга» 0.024т) ▪ Газы - 0.035 (все с крекинг процесса)

Выход нефтепродуктов. Основные показатели нефтепродуктов.

Свойства бензиновой фракции – НК87-КК180С, другие свойства не нормируются.

Свойства дизельного топлива – Содержание серы не более 50 ppm, назначение – моторное топливо. Смазывающая способность, цетановое число, содержание смол – согласно требованиям стандарта EN 590:2009 для летнего дизельного топлива.

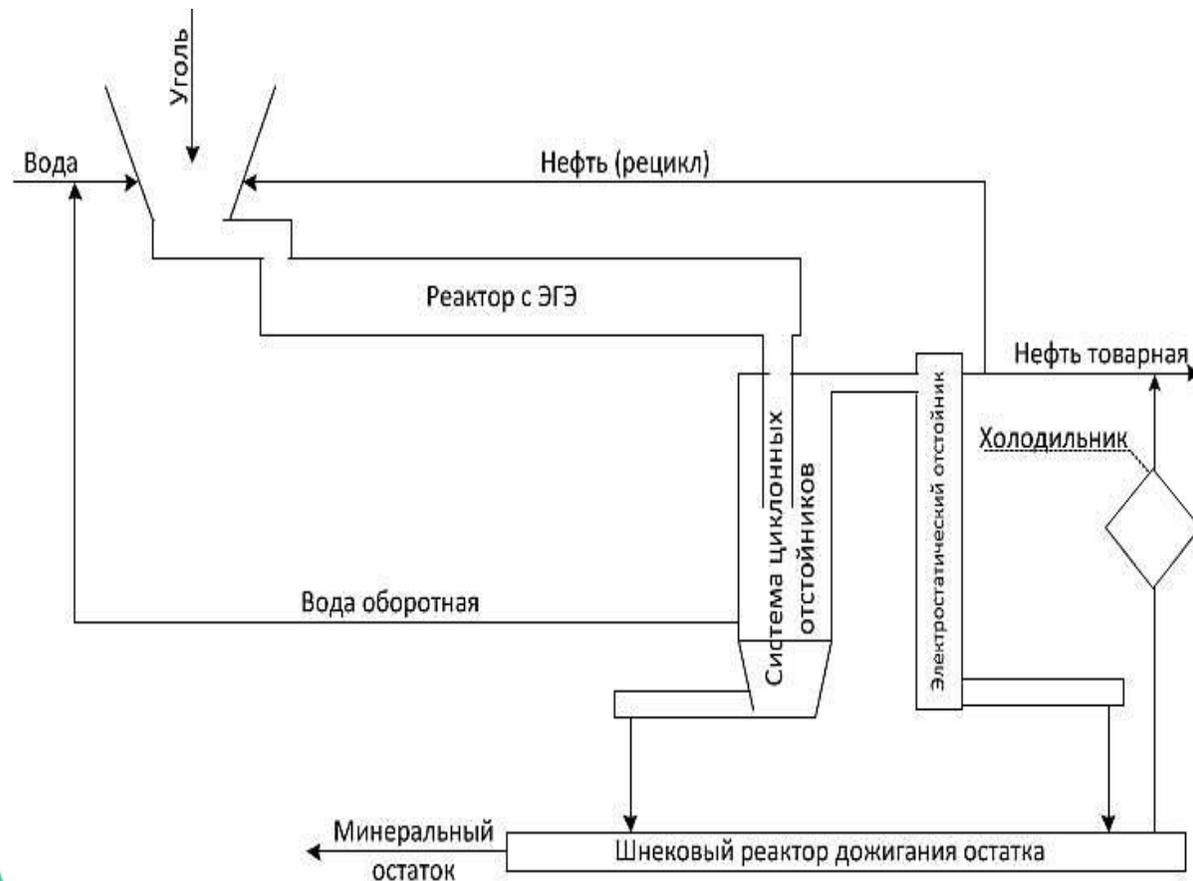
Свойства мазута – температура потери текучести – не выше +5°C. Коксуемость не более 4%, другие параметры не нормируются.

Свойства синтетической нефти до ее переработки (пример)

Параметр	Значение
Выход фракций %, выкипающих до температуры:	
- 200°C	13,8
- 300°C	34,7
- 350°C	87,5
Давление насыщенных паров, кПа (мм.рт.ст.)	66,7
Плотность при 20°C, кг/м ³	832
Вязкость при 20°C, мПа*с	14,7

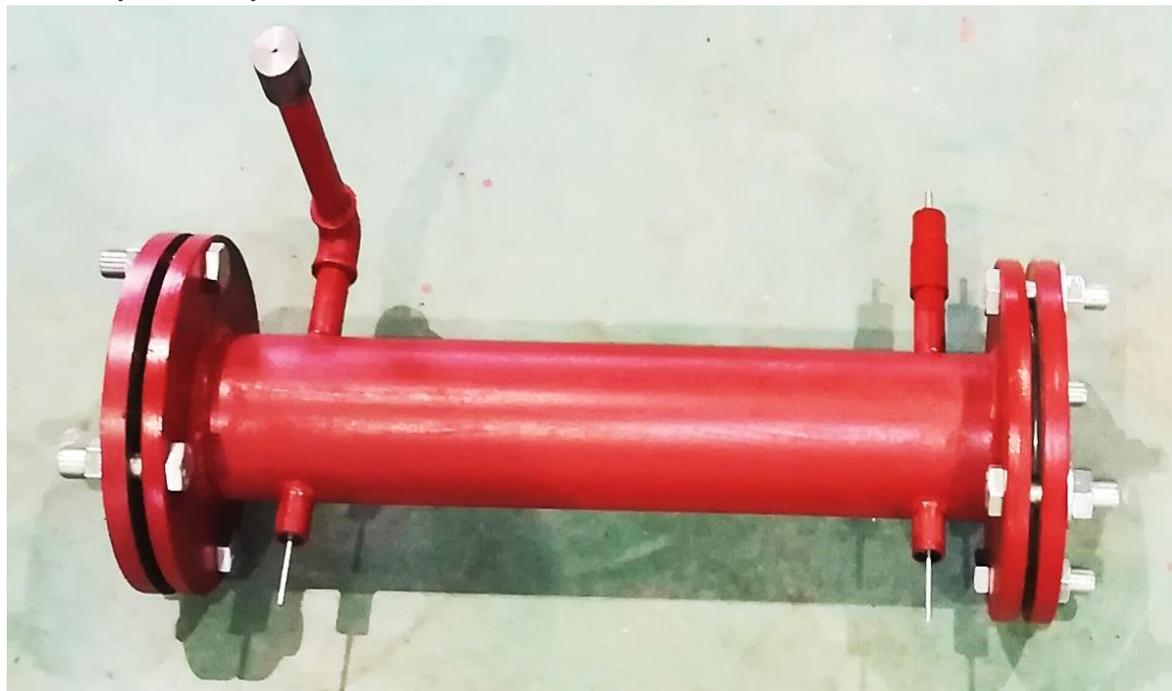
Решение для модуля «Ожижение угля»

Ожижение угля производится за счет воздействия на смесь из угля, воды и рецикла тяжелого нефтяного остатка электрических высоковольтных импульсных разрядов. Модуль ожижения угля сопряжен с модулем первичного разделения продуктов ожижения.



Решение для модуля «Ожижение угля»

Реактор состоит из отдельных модульных ячеек, количество которых выбирается исходя из требуемой (проектной) производительности реактора.



Решение для модуля «Ожижение угля»

Конструкция реактора имеет ряд отличительных признаков, среди которых:

Модульность конструкции позволяет унифицировать конструкцию реакторов на разные мощности по углю, упростить их обслуживание и ремонт.

Многоразрядный электрод позволяет увеличить длину разряда при той же его мощности, тем самым уменьшить энергозатраты в процесс ожижения за счет большей площади соприкосновения поверхности разряда с сырьем и меньших потерь активных частиц на рекомбинацию.

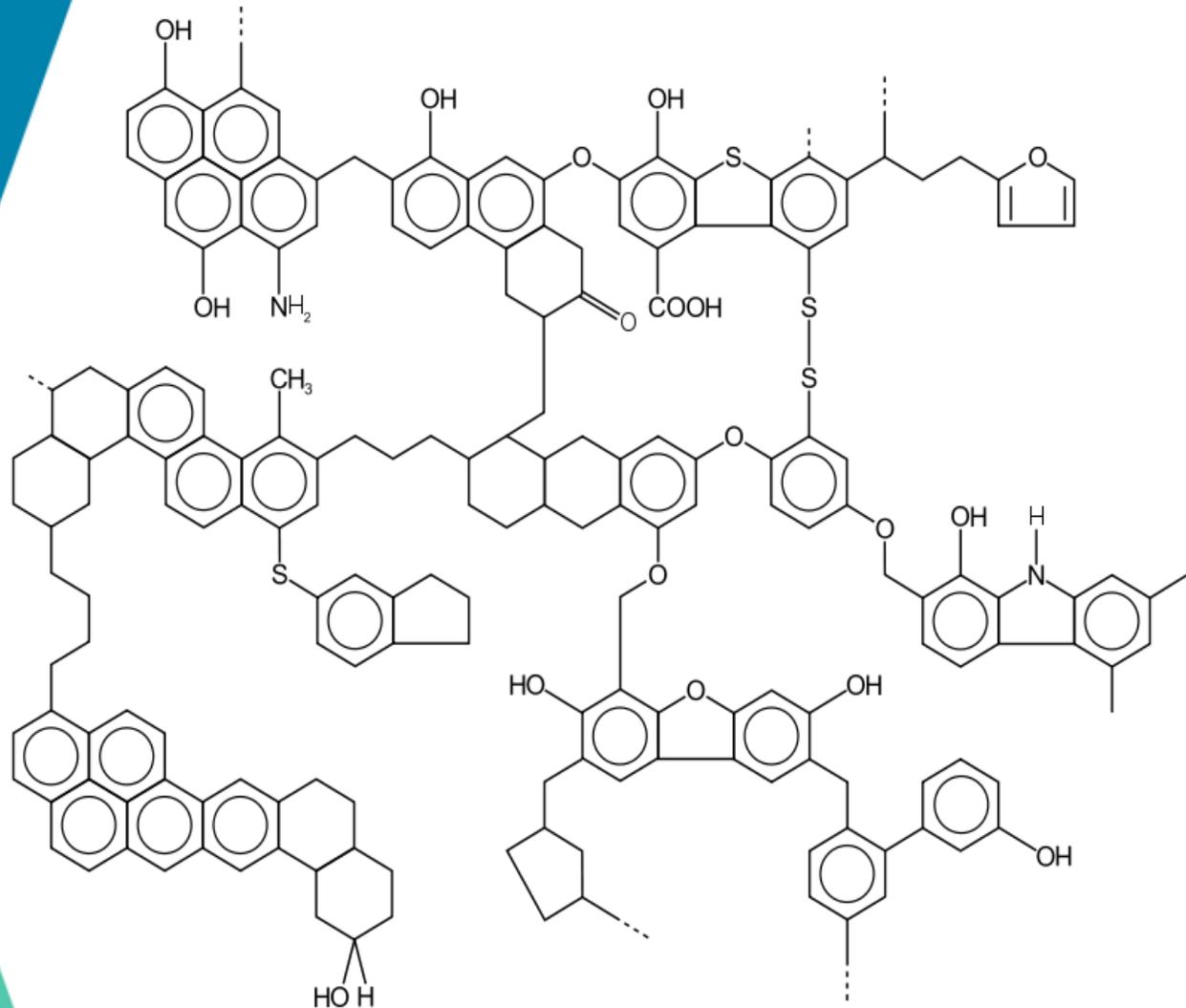
Технологические решения по газовому разряднику

Для формирования импульсного разряда, в электрической схеме необходим элемент типа разрядника. Возможны два варианта: размещение разрядника в виде отдельного элемента вне реактора (вакуумный разрядный элемент) или непосредственно в самой секции реактора. Выбор варианта зависит от производительности реактора. Первый вариант предпочтительнее при производительности до 3т/час, второй, при производительности более 3т/час, поскольку позволяет существенно улучшить энергетические показатели процесса в целом.

Решение для модуля «Ожижение угля»

Механизм сжижения
и особенности процесса
его реализации

Органическое вещество угля
представлено большей частью
твердыми полимерами –
сконденсированными
сопряженными соединениями
циклической и ароматической
природы, связанными между
собой силами межмолекулярного
взаимодействия.



Решение для модуля «Ожижение угля»

Механизм сжижения
и особенности процесса
его реализации

Задача процесса ожижения состоит в проведении реакций деполимеризации сконденсированного вещества и гидрирования продуктов деполимеризации.

В момент высоковольтного импульсного разряда в смеси угля, органического растворителя (кубового остатка – высококипящей углеводородной фракции) и воды протекают следующие процессы:

в канале разряда происходит разогрев вещества до сотен тысяч градусов Кельвина, и его резкое расширение.

Резкое расширение вещества создает высокие давления

до нескольких тысяч МПа внутри канала разряда и в локальной области непосредственно с ним.

Все это, включая непосредственную эмиссию быстрых электронов в процессе разряда, приводит к образованию активных частиц: собственно быстрых электронов (e)

с энергией более 5кэВ и временем жизни до 400 мкс, частиц радикалов: $*O$, $*H$, $*OH$. Активные частицы взаимодействует с твердым органическим веществом угля по радикальному механизму и механизму электронного удара с образованием низкомолекулярных жидких органических продуктов.

Решение для модуля «Ожижение угля»

Механизм сжижения
и особенности процесса
его реализации

Вследствие быстрого расширения вещества внутри канала разряда возникает ударная волна, которая вызывает кавитационные явления во всем объеме реакционной смеси. Процесс кавитации характеризуется возникновением паровых микрополостей и быстрым их схлопыванием. Во время схлопывания кавитационных полостей также достигаются экстремально высокие значения давлений и температур с переводом локальной части вещества в сверхкритическое состояние.

В свою очередь некоторое количество сверхкритического вещества позволяет проводить ожижение угля без прямого воздействия активных частиц (e , $*O$, $*H$, $*OH$).

Возникновение ударной волны и обусловленных ее действием кавитационных явлений, также обуславливают протекание процессов не связанных с ожижением органической массы угля, но способствующих этому – это процессы дробления, процессы интенсификации диффузии вещества реакционной смеси в центр частицы угля и продуктов сжижения обратно.

Решение для модуля «Ожижение угля»

Механизм сжижения
и особенности процесса
его реализации

Ключевым моментом процесса ожижения углей является жидкая среда, в которой осуществляется импульсный высоковольтный разряд. В качестве такой среды наилучшим образом подходит смесь воды и тяжелых углеводородов (кубового остатка).

Роль воды сводится главным образом к следующему:

Вода является «поставщиком» активных частиц-радикалов *O, *OH, *H. Радикалы кислорода и наиболее долгоживущий гидроксил-радикал, наряду с электронным ударом, преимущественно запускают реакции деполимеризации органического вещества угля, в то время как атомарный водород участвует в реакции гидрирования, в т.ч. низкомолекулярных соединений в момент их образования. Наличие воды необходимо в качестве одного из компонентов сверхкритической жидкости, локально образующейся в процессе кавитации.

Наличие воды существенно уменьшает диэлектрическую проницаемость среды и облегчает

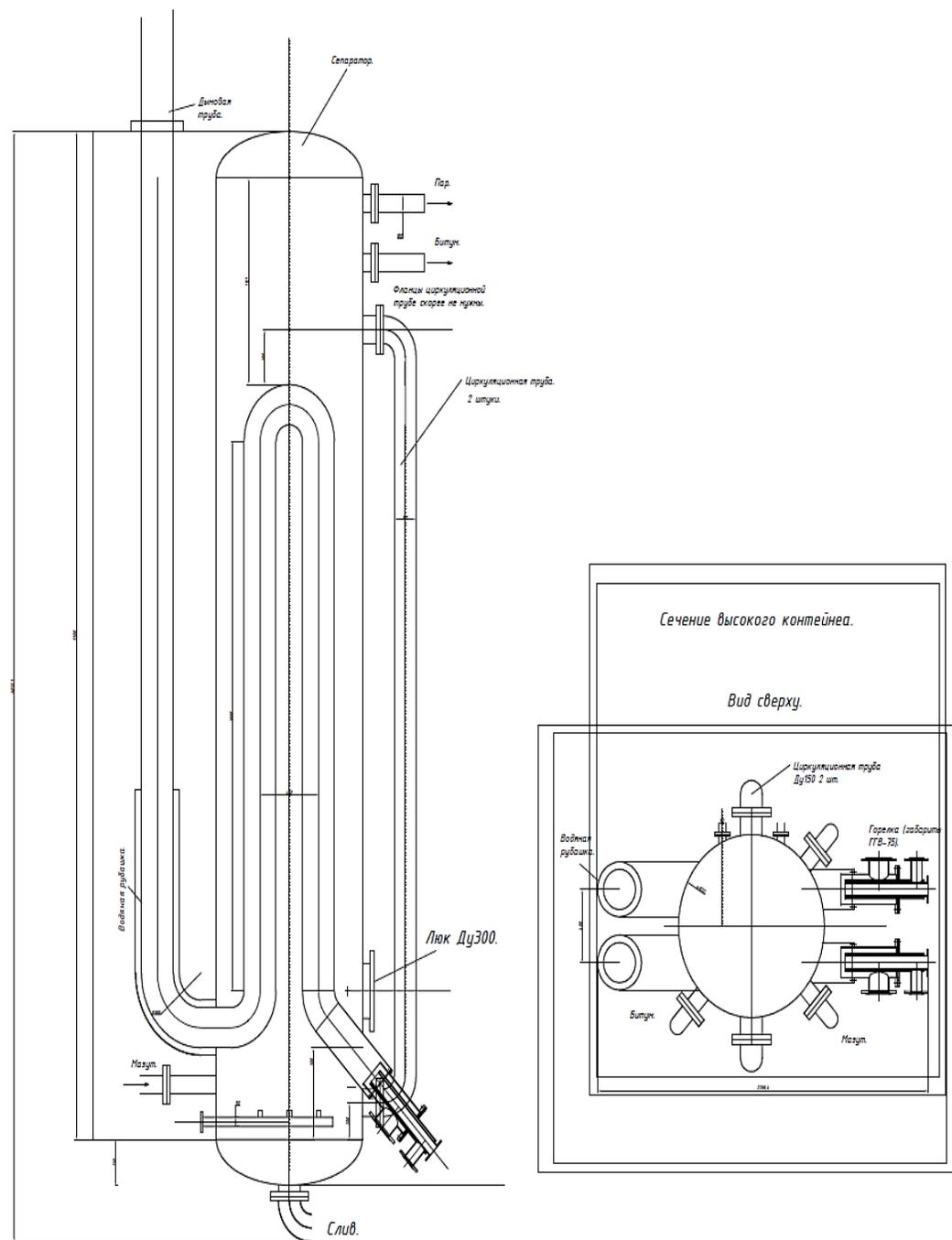
Решение для модуля «Ожижение угля»

Механизм сжижения
и особенности процесса
его реализации

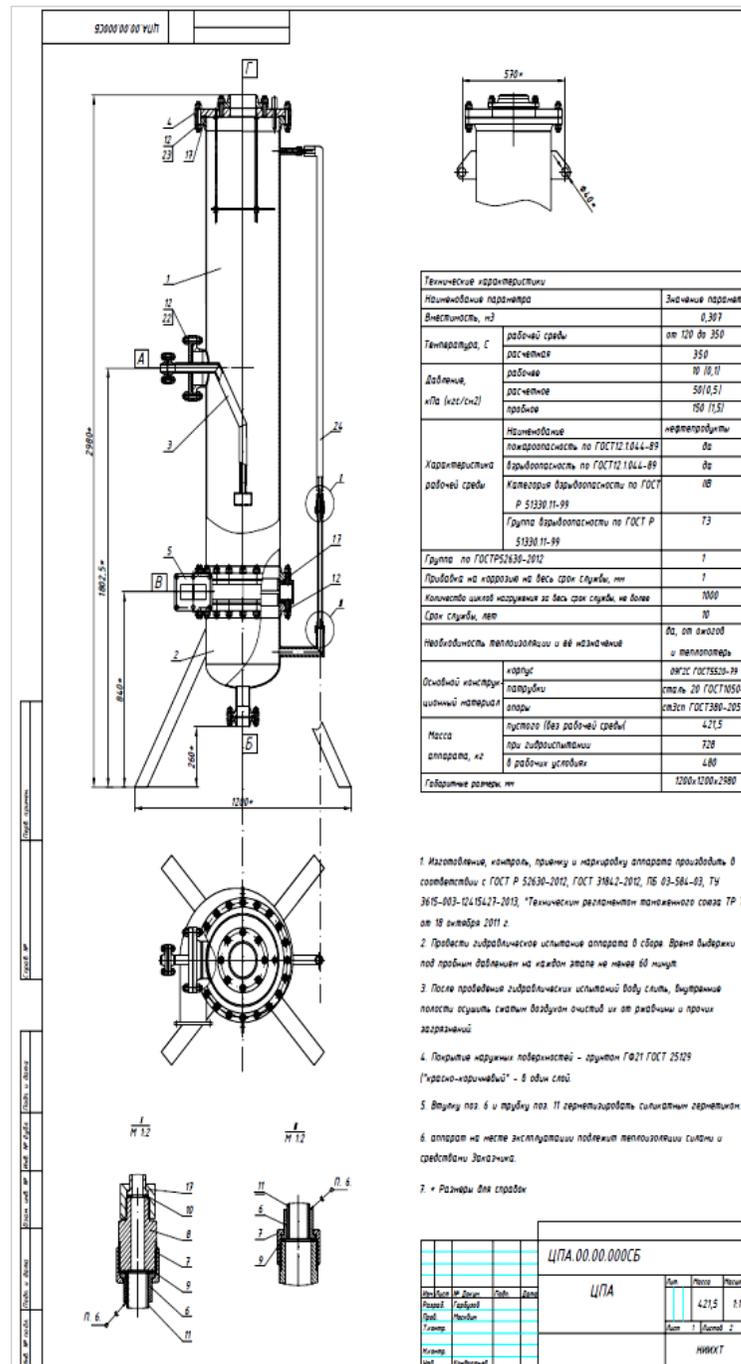
Роль тяжелых углеводородов обусловлена тем,
что тяжелые углеводороды являются дополнительным
источником водорода, а их рецикл обеспечивает
лучшее соотношение Н:С в получаемых продуктах,
сводя
к минимуму содержание непредельных соединений
и смол, вредных для моторных топлив.

Также как и наличие воды, наличие тяжелых
углеводородов необходимо в качестве одного
из компонентов сверхкритической жидкости, локально
образующейся в процессе кавитации.
Процесс ожижения в сверхкритической среде идет
наилучшим образом при наличии органических
углеводородов и воды, хотя может протекать только
в среде воды или углеводорода находящихся
в сверхкритическом состоянии.

Решение для модулей «Фракционирование углеводородов» Устройство отдельных аппаратов



Решение для модулей «Фракционирование углеводородов» Устройство отдельных аппаратов



Решение для модуля «Импульсная гидроочистка дизельного топлива»

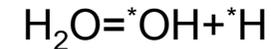
Реактор импульсной гидроочистки состоит из отдельных секций, конструктивно схожих с аналогичными секциями реактора ожижения, что увеличивает степень унификации оборудования и упрощает его обслуживание.

Принцип работы реактора и реализуемый процесс состоит в следующем:

вода поступает вместе с сырьем в разрядную камеру реактора, где под действием кавитационных явлений, сопровождающих высоковольтный разряд, происходит диспергирование воды до субмикронного уровня. В момент последующих разрядов в смеси сырье-вода происходят следующие основные процессы:

Решение для модуля «Импульсная гидроочистка дизельного топлива»

Под действием электронного удара, УФ-излучения с диапазоном спектра 16-270 нм и в меньшей степени под действием высокой температуры происходит расщепление воды по схеме:



Энергия разрыва связи HO–H равна 465 кДж/моль, что несколько больше энергии разрыва для связи H–H равной 435 кДж/моль. Гидроксил-радикал (*OH) окисляет преимущественно атом серы с образованием молекулы сульфона и последующим элиминированием диоксида серы. Атомарный водород (*H) принимает участие в процессе очистки, замыкая углеводородные остатки молекул сульфона. Маршрут прохождения высоковольтного разряда протекает по пути, где среда обладает наименьшим сопротивлением и диэлектрической проницаемостью. Следовательно, в неоднородной среде сырье (углеводороды)-вода, разряд будет стремиться пройти в первую очередь через микрокапли воды, что обуславливает преимущественное протекание выше описываемых превращений.

Решение для модуля «Импульсная гидроочистка дизельного топлива»

Под действием экстремально высоких давлений в области с искровым каналом происходит прямой распад серосодержащих соединений по связи C–S, поскольку энергия разрыва такой связи 138 кДж/моль меньше, чем энергия связи C–C и C–H. Кроме того, высокие давления способствуют интенсификации процессов гидроочистки.

Основным фактором электрогидравлического эффекта является большая эмиссия в пространство от канала разряда быстрых электронов, жесткого УФ-излучения, первичных свободных радикалов и ионизированных частиц, которые образуются из вещества внутри канала разряда. Влияние механической энергии разряда (ударной волны и кавитации канала разряда) минимально, что подтверждается экспериментами с различными параметрами импульса разряда, где степень превращения вещества тем выше, чем выше доля энергии, преобразованная в излучение, а не механическую энергию.

Решение для модуля «Импульсная гидроочистка дизельного топлива»

Балансовые выходы сероочистки
для различных продуктов

Вход		Выход	
Мазут марки М100 - 100%		Мазут марки М100 - 96,3%	
t, °C	% _{масс}	t, °C	% _{масс}
250-330	2,5	250-330	2,7
330-350	2,2	330-350	2,4
350-420	12,9	350-420	15,7
420-КК	82,4	420-КК	79,2
Содержание серы	2,5%	Содержание серы	0,08%
Температура потери текучести	+6°C	Температура потери текучести	+1°C

Решение для модуля «Импульсная гидроочистка

дизельного топлива»

Балансовые выходы сероочистки
для различных продуктов

Свойства дизельной фракции
до и после процесса
обессеривания.
Материальный баланс

Вход		Выход	
Дизельная фракция - 100%		Дизельная фракция - 98.8 %	
% _{масс}	t, °C	% _{масс}	t, °C
НК	196	НК	193
10	67	10	68
50	264	50	260
КК	348	КК	346
Содержание серы	0,12%	Содержание серы	8ppm
ЦЧ	50	ЦЧ	54
Температура застывания	-12,2°C	Температура застывания	-12,6°C

Решение для модуля «Импульсная гидроочистка дизельного топлива»

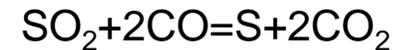
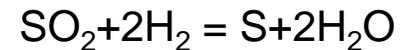
Балансовые выходы сероочистки
для различных продуктов

Свойства бензиновой фракции
до и после процесса
обессеривания.
Материальный баланс

Вход		Выход	
Бензиновая фракция - 100%		Бензиновая фракция - 99,1%	
% _{масс}	t, °C	% _{масс}	t, °C
НК	36	НК	35
10	68	10	67
50	112	50	115
90	178	90	179
КК	215	КК	212
Содержание серы	0.012%	Содержание серы	9ppm
Содержание бензола	2.3%	Содержание бензола	0.4%
ОЧ(м)	62	ОЧ(м)	61

Решение для модуля «Очистка Серосодержащих Потоков»

После сероочистки, сера выделяется в форме ее диоксида. Диоксид серы восстанавливается газами крекинга в присутствии одного из промышленных коммерчески доступных катализаторов типа $\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x\text{Cr}_2\text{O}_4$ (М-металл группы железа) до элементарной серы.



Возможность получения дополнительных продуктов переработки угля

Минеральный остаток в зависимости от состава может быть смешан с глиной и подвергнут обжигу с получением романцемента.

Перед этапом переработки минерального остатка в минеральное вяжущее (романцемент), с помощью дополнительных модулей (электрохимическими способами) могут быть извлечены различные ценные неорганические компоненты.

В зависимости от месторождения угля, содержание компонентов различно и должно предварительно быть оценено. Например, бурые угли Таловского месторождения Томской области содержат: серебра – 28 г/т – 1000 \$/кг, скандия – 8,1 г/т – 20 000 \$/кг, гафния – 2,1 г/т и др. (лантаниды – лантан, церий, самарий, европий).

Возможность получения дополнительных продуктов переработки угля

На стадии ожижения реактор с ЭГЭ Юткина может быть дооснащен модулями позволяющими выделять безреагентными методами:

монтан-воск – до 8% (стоимость на рынке до 4000 \$/т)



Возможность получения дополнительных продуктов переработки угля

Гумат-гуминовую смесь – до 2,7% (стоимость на
рынке
до 1000 \$/т)

