



*Замедленное
коксование
нефтяного
сырья*



Здравствуйте!
Замедленное коксование нефтяного сырья

Алитер-Акси Алитер-Акси Замедленное коксование нефтяного сырья

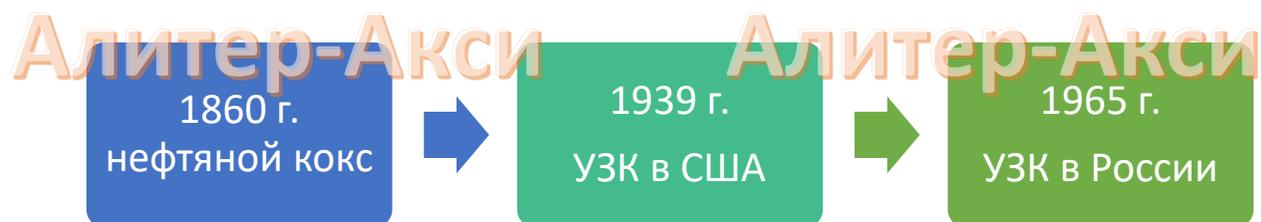
Алитер-Акси Алитер-Акси

Коксование – реакции термического крекинга, конденсации
и полимеризации

Одним из путей переработки тяжелых нефтяных остатков является процесс коксования. Он заключается в реакциях термического крекинга, конденсации и полимеризации.

Процесс ЗК позволяет повысить глубину переработки нефтяных остатков до 100%, фактически (с учетом потерь) на 97-98%, вдобавок к этому, стоимость установки УЗК значительно ниже других установок по переработке тяжелых нефтяных остатков (гидрокрекинг).

История развития процесса коксования



Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

Впервые нефтяной кокс был изготовлен еще в 1860-х годах в США, это были примитивные установки, на которых кипятили сырую нефть в маленьких железных аппаратах с целью получения столь ценного тогда керосина. Кокс был побочным продуктом, который использовался в основном как топливо.

С развитием металлургии кокс стал целевым продуктом.

Первая же УЗК была построена только в 1939 г. в США (проект компании Lummus).

Первая УЗК в России появилась в 1965 г. в г. Уфа (существует и по сей день).

Сырьё
процесса

Алитер-Акси

Алитер-Акси

Алитер-Акси

Алитер-Акси



Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

В зависимости от оснащения НПЗ сырьем для коксования могут быть:

- Мазут
- Тяжелые нефти
- Пек каменноугольный
- Остатки крекинга
- Битумы
- Гудрон
- Асфальты
- Вакуумной газойль
- Пиролизная и сланцевая смолы.

Продукты коксования



Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

- В результате реакций крекинга, конденсации и полимеризации на установках УЗК помимо кокса получают:
- газы коксования;
 - бензин, керосин, диз.топливо;
 - дистилляты, сырьё для крекинга.

Назначение процесса

Алитер-Акси

Виды кокса

- Топливный
- Анодный
- Игольчатый

Алитер-Акси

Назначение

- Алюминиевая промышленность
- Сталелитейная промышленность
- Химическая промышленность
- Топливо

Алитер-Акси

Алитер-Акси

Кокс в процессе ЗК может быть получен нескольких видов: топливный, анодный и игольчатый. Сам кокс в основном используется в алюминиевой, сталелитейной, химической промышленности и используется в качестве топлива. Наибольшую ценность представляет крупно-кусовой кокс игольчатой формы (сырье для электродов).

Материальный баланс установки

Продукты	Массовый выход, %		
	Усреднённые показатели	Печь г.Нижекамск	Печь г.Волгоград
Газ	4-8	9	12
Бензин (н.к.-205°C)	7-16	13	16
Легкий газойль (205-350°C)	12-40	28	35
Тяжелый газойль (>350°C)	10-35	20	9
Кокс	15-35	30	28

Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

Выход того или иного целевого продукта зависит от регулирования параметров на всей установке, в т.ч. от режима работы коксовой печи. На данном слайде представлен мат.баланс УЗК., где представлены усредненные мировые показатели по выходу продуктов и мат.баланс двух установок УЗК, проект коксовых печей которых выполнен ООО «А-А».

Наибольшую ценность в последнее время представляют жидкие фракции – бензин и легкий газойль. Выход тяжелого газойля необходимо минимизировать, т.к. этот продукт требует дальнейшей переработки.

На наших печах в г. Нижнекамск и Волгоград удалось повысить выход бензина и легкого газойля до следующих параметров (см.табл.).

Технологическая схема



Печь УЗК по праву называют сердцем процесса.

Начальную теплоту испарения обеспечивает печь коксования.

Печь коксования представляет собой реакционную печь, продукт на входе в печь отличается по составу от продукта на выходе из печи.

Здесь происходят нагрев сырья и первые реакции крекинга.

Фактически же реакции крекинга, конденсации и полимеризации протекают и завершаются в коксовой камере, отсюда и этимология термина *«замедленное коксование»*.

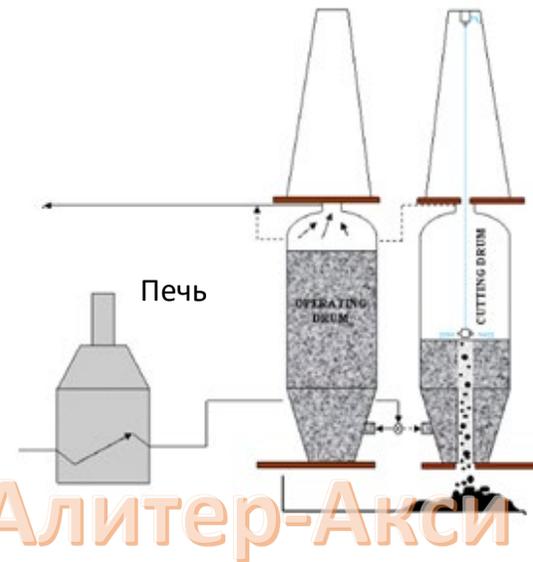
ЗК – процесс непрерывный по выходу газообразных и жидких продуктов и по загрузке сырья через печь, но периодический по выгрузке кокса.



Итого цикл – 24-48 ч.

Алистер-Акси

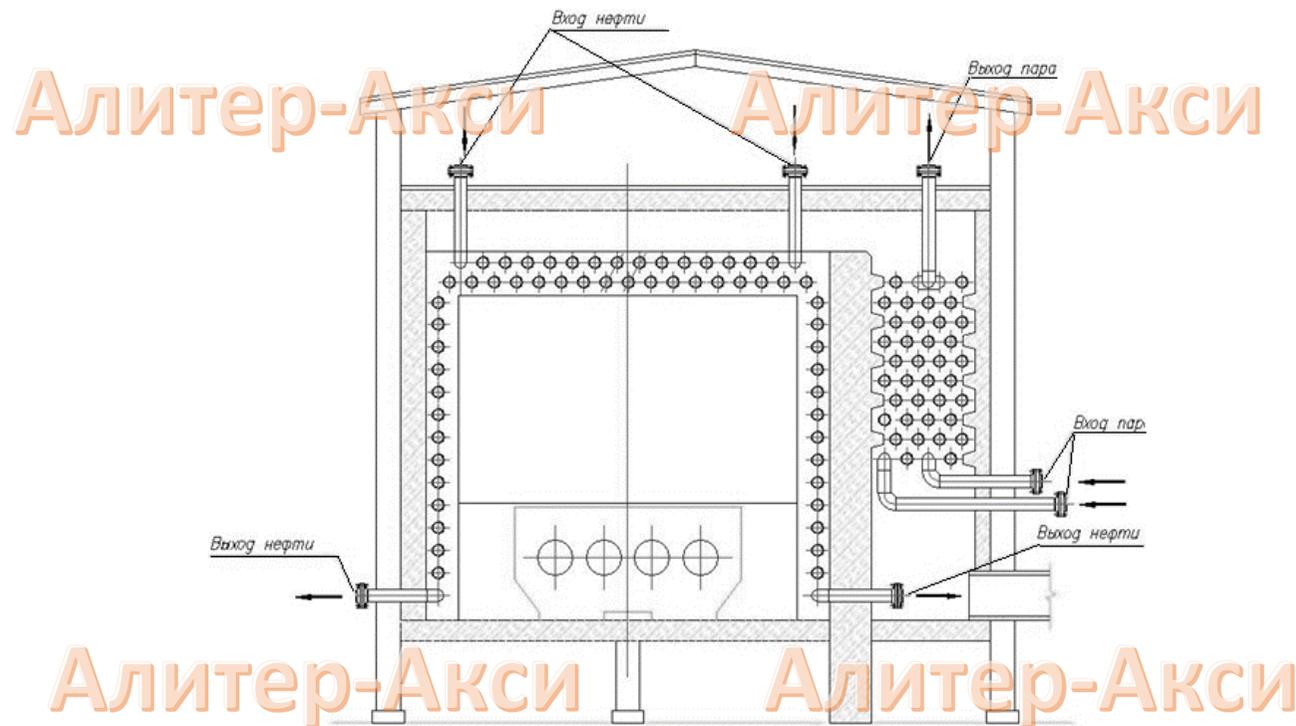
Алистер-Акси Коксовые камеры



Как правило, на УЗК имеются несколько камер, работающих попеременно, обеспечивая при этом непрерывную работу установки. Поток сырья от печи переключается между двумя коксовыми камерами. Одна камера находится в работе, пока вторая камера находится на выгрузке продукта.

Реакционные камеры работают по циклу: реакция – охлаждение кокса – выгрузка кокса – разогрев камеры. Продолжительность цикла составляет 24-48 ч. В Европе цикл снижают до 18 ч.

Конструкция первых печей



Интеллектуальная собственность ООО "Алигер-Акси"

Первые печи УЗК представляли собой печи шатрового типа.

На слайде изображена печь фирмы Lummus.

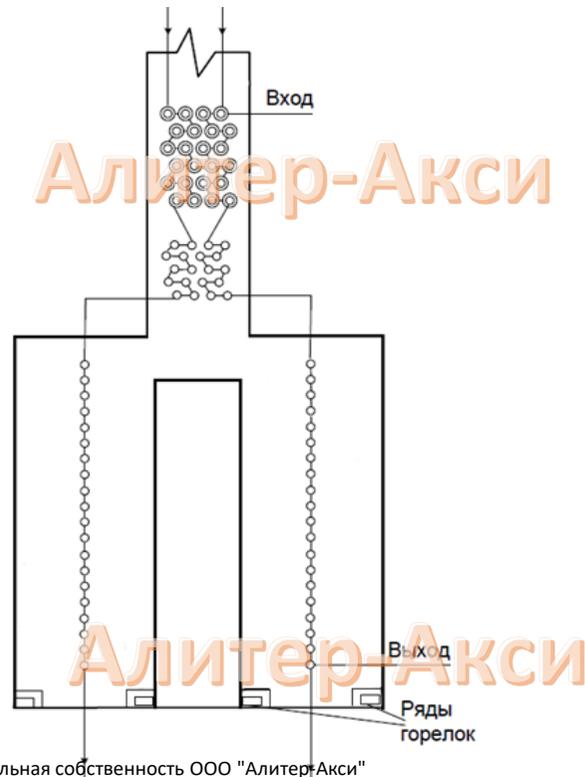
Это печь с горизонтально расположенным двойным рядом труб на своде и Горизонтально расположенным вдоль боковых стен однорядным трубным экраном.

Сырье нагревается только в к.радиации. Конвекция использовалась для выработки или перегрева пара.

Печь одностороннего обогрева сырья.

В России шатровая печь УЗК существует и до сих пор в г. Омск.

Конструкция современных печей



Двухсторонний обогрев

Змеевик малого диаметра

Изолированные камера радиации

Камеры радиации большого объема

Симметричный змеевик

Регулирование подачи топлива и воздуха
для каждой камеры

В связи с ужесточением требований к безостановочной работе установки (до двух лет), конструкция современных печей подверглась существенным изменениям.

Основные разработки в области процесса замедленного коксования принадлежат фирмам Lummus, ConocoPhillips, Foster Wheeler.

В последнее время все чаще проектируют печи двухстороннего обогрева горизонтальных труб. Для труб двустороннего обогрева допустимое среднее теплонапряжение на трубы примерно в 2 р. Больше в сравнении с односторонним обогревом, что позволяет уменьшить длину и площадь змеевика печи примерно в два раза. Типоразмер труб, как правило, не превышает 100 мм. В результате, сырье в печи имеет высокие массовую скорость и коэффициент теплопередачи. За счет чего снижается время пребывания сырья в зоне реакции.

Нагрев каждого потока змеевика осуществляется в полностью изолированных камерах радиации, что позволяет регулировать подачу топлива и воздуха отдельно для каждого хода печи. Змеевик печи расположен симметрично, включая коллекторы, подводящие и отводящие трубопроводы.

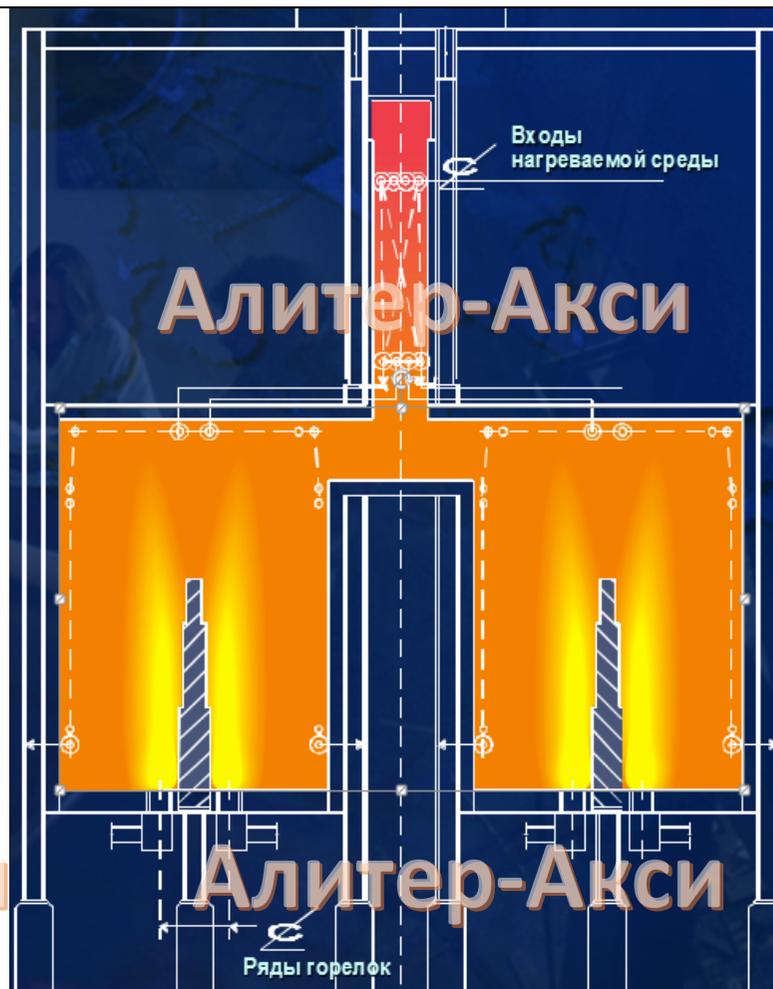
Соблюдение всех этих требований необходимо для равномерного обогрева всего змеевика и исключает локальные перегревы труб.

Алитер-Акси
Односторонний
обогрев

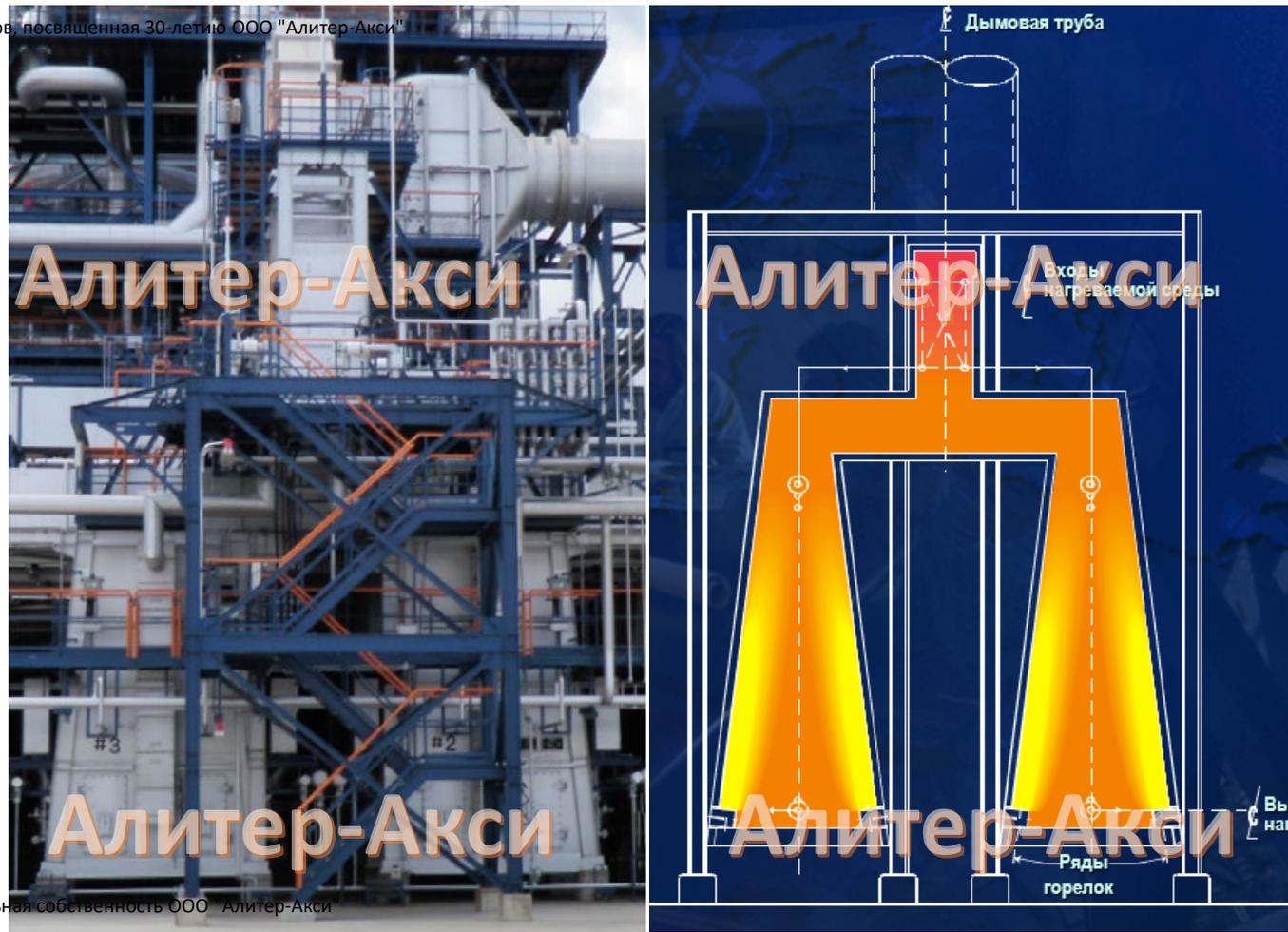
Разделяющий
огнеупорный
экран

Алитер-Акси

Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"



Печи с односторонним обогревом также существуют, для них проектируют разделяющие огнеупорные стены, меняя тем самым картину радиационного излучения труб, обеспечивая обогрев труб более равномерным.



Для печей УЗК существует конструкция с наклонной стеной камеры радиации. На данном слайде печь компании Foster W. Такая конструкция обеспечивает хорошо предсказуемую и желательную картину циркуляции дымовых газов, когда по мере охлаждения дымовых газов в камере расстояние между стеной и трубами уменьшается, способствуя равномерному теплообмену по высоте печи.

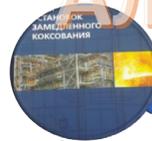
Основные компоновочные решения определяются на основании технологических расчетов технологическим отделом.

Изучение процесса коксования ООО «Алитер-Акси»

Алитер-Акси



Алитер-Акси



«Печи установок замедленного коксования», 2018 г.



Реализация проектов



Курс лекций Coking.com Inc



Обучение по расчету печей в ПО



ПО: FRNC-5PC компании PFR Engineering Systems

Алитер-Акси

Алитер-Акси



Литература

Интеллектуальная собственность ООО «Алитер-Акси»

Когда перед нашей компанией встала задача по печам УЗК, нашими специалистами был изучен и переработан большой объем литературы как нашей (в основном это книги советского издания), так и зарубежной.

Наша компания закупила программное обеспечение для расчета **реакционных** печей УЗК, это FRNC-5PC компании PFR Engineering Systems (США), сотрудники отдела ТО прошли обучение по расчету печей в этой программе.

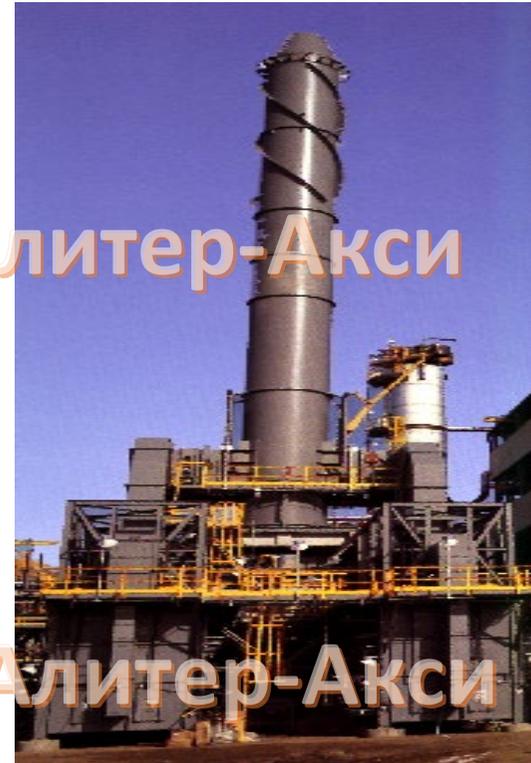
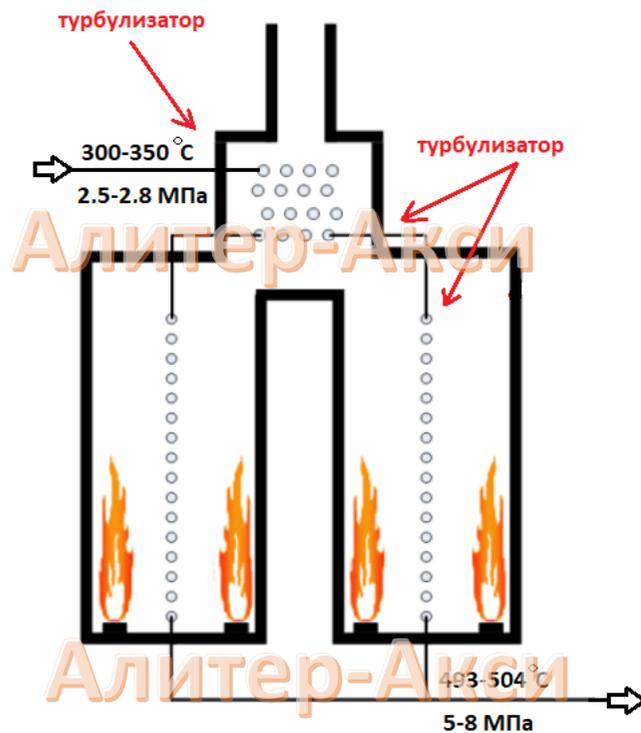
Для обучения части сотрудников А-А, были организованы лекции компании Coking.com Inc (США), часть сотрудников прошли курс лекций.

Нашей компанией были выполнены два крупных проекта в г. Нижнекамск и г. Волгоград.

В 2018 г. мы выпустили уже свою книгу «Печи установок замедленного коксования».

Зная состав продукта, а также параметры процесса наши технологи подбирают конструкцию печи, которая бы удовлетворяла всем современным требованиям к печам УЗК.

Технологические параметры



Интеллектуальная собственность ООО "Алигер-Акси"

Как правило, температура сырья на входе в печь составляет $\sim 300-350$ °С,

На выходе из печи составляет порядка $493-504$ °С, выше этих температур процесс нагрева в печи уже не ведется, т.к. происходит сильное закоксовывание труб змеевика. Сырье подается как в камеру конвекцию для предварительного нагрева, так и в к.радиации. Зона реакции расположена только в радиации.

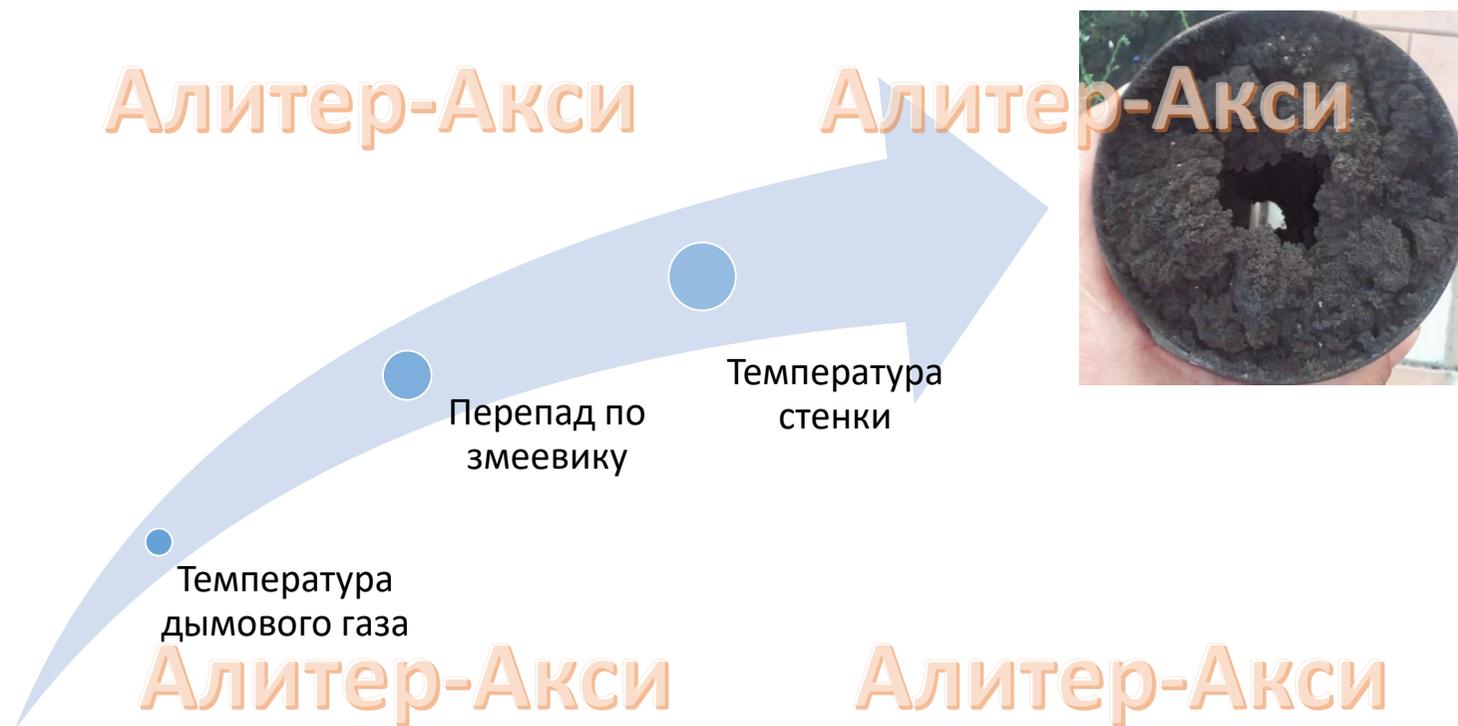
Для снижения коксования в печь подают турбулизат – воду/водяной пар. В современных печах несколько точек ввода турбулизата – на входе в печь, на перекидке и в первые трубу радиации.

Ввиду высоких массовых и линейных скоростей перепад давления по змеевику достаточно большой $\sim 2-2,5$ МПа.

Регулирование этих параметров влияет на скорость закоксовывания труб змеевика.

Для минимизации коксования труб в змеевик печи подается пар/вода в качестве турбулизатора. В современных печах существует несколько точек ввода турбулизата - в камеру конвекции, на перекидке из конвекции в радиацию и в первые трубы к.радиации по ходу сырья.

Признаки закоксовывания труб



Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

Основными признаками закоксовывания труб являются:

- увеличение температуры стенки (выше $\sim 677^{\circ}\text{C}$);
- увеличение перепада по змеевику относительного проектного;
- увеличение температуры дымового газа при том же объеме сжигаемого топлива.

Очистка труб змеевика



Паровоздушный



Механический



Гидромеханический



Раскоксовывание на ходу

Основными методами очистки труб являются:

- паро-воздушный метод. Который заключается в том, что печь необходимо вывести из рабочего режима, провести дробление паром, затем паровоздушным способом удалить кокс из труб.

По завершении процесса удаления кокса паровоздушной смесью соли все еще остаются в трубах, что может вызвать быстрое закоксовывание труб, поэтому трубы необходимо промыть водой.

Данный способ применяют как по-отдельности, так и в совокупности с

- Механическим методом (при наличии съемных участков) или с
- Гидромеханическим, когда под действием струи воды высокого давления в трубы змеевика подают абразивные скребки. (система Магикрот)

В последние 10-ия широко применяют метод

- раскоксовывание на ходу.

Раскоксовывание на ходу

Алигер-Акси Алигер-Акси

Алигер-Акси Алигер-Акси



Для проведения процедуры в рабочем режиме требуется заменить нефть в потоке на пар (или воду), а затем нагревать трубы до высоких в т.ч. предельных температур (750 С).

При быстром тепловом расширении труб змеевиков происходит удаление остаточного кокса в трубах змеевиков.

*Недостатки метода:*

При большом загрязнении и высокой интенсивности проведения очистки возможно забивание труб коксом на выходе и образование эрозии на внутренней стенке металла.

Основным преимуществом метода раскоксовывания «на ходу» является возможность удаления коксовых отложений без остановки процесса. Данный метод не заменяет полностью основной метод очистки змеевиков, однако позволяет проводить его значительно реже, что обеспечивает существенное увеличение длительности непрерывной работы установки (18-24 мес.)

➤ В США – 4 года.

Для проекта в г.Нижнекамск нами был изучен, разработан и реализован данный метод очистки.

Печь г.Нижнекамск – очистка 1 раз в год.

Материальное оформление

Змеевик первых печей – сталь 5Cr 0,5 Mo

Алитер-Акси

Современные печи - сталь 9Cr-1Mo/A335

API: применение материала в области высоких температур (825 °C) для процесса декоксования

Аустенитная сталь (TP347):

Лучше по основным параметрам

Коррозия в присутствии хлор-соединений

Экономически не выгодна

Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"



Змеевик первых печей выполнялся из Cr-Mo сталей (5Cr 0.5Mo).

У большинства современных печей змеевик также выполнен из хромомолибденовых сталей, в основном из зарубежных сталей 9Cr-1Mo (аналог 13X9M) или A335 (аналог 12XM),

Ввиду высокого содержания S в сырье и высоких T на выходе из печи, были рассмотрены применение аустенитных (жаропрочных) сталей. Благодаря более высокому коэффициенту теплового расширения аустенитные стали лучше для процессов декоксования.

Но, эти стали склонны к межкристаллитной коррозии в присутствии хлорсодержащих сред в змеевике.

Вдобавок данные стали примерно в 2 раза дороже хромомолибденовых. Поэтому их применение для печей УЗК ограничено.

Сейчас применяются хромомолибденовые стали только зарубежного производства с содержанием хлора не менее 9%.

Расчет змеевика зарубежных сталей ведется по иным нормативам (в сравнении с нашими) и допускает применение материала в области высоких температур (выше с повышением T до 825 °C) для процессов паро-воздушного декоксования в краткосрочный период.

К слову, нержавеющие стали, лишены этого допуска.

Требования к горелочным устройствам



Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

- Плоскофакельные
настильные
LowNOx
- Дутьевые
- Индивидуальное регулирование
горения для каждого хода
- Единичная мощность
 $\leq 0,9$ МВт.
- Высота пламени
 $\leq 0,33$ м на $0,3$ МВт



Для труб двухстороннего обогрева применяют плоскофакельные, пристенные горелки с пониженным содержанием Nox. Помимо удовлетворения современным жестким экологическим требованиям, такие горелки удовлетворяют требованиям большой и просторной к.радиации.

Горелки дутьевые, ввиду того, что температура дымовых газов на выходе из печи, как правило, не бывает ниже 370-400 °С, для снятия тепла проектируется УУТ, направленный на подогрев воздуха горения.

Благодаря обогрева каждого потока в индивидуальной радиации подвод топлива и воздуха также индивидуален для каждого потока печи, что обеспечивает равномерный обогрев труб.

Единичная мощность горелочного устройства не больше ~0,9 МВт.

Такое условие необходимо для обеспечения необходимой высоты пламени горелки, не более 0,33 м на каждые 0,3 МВт.

Алитер-Акси Алитер-Акси

Алитер-Акси Алитер-Акси

Горелки маломощные, горелок в печи много, расположены с двух сторон от змеевика. Такое условие необходимо для обеспечения равномерного обогрева змеевика.

Работы ООО «Алистер-Акси»

Печь Волгоград



Печь Нижнекамск



А-А выполнил две большие работы по печам УЗК, в г.Нижнекамске и Волгограде.

Алитер-Акси

Печь H0002
Камера 1 и 2

$N_{\text{макс.}} = 34 \text{ МВт}$

Печь H0001
Камера 1 и 2

$N_{\text{макс.}} = 34 \text{ МВт}$



Алитер-Акси

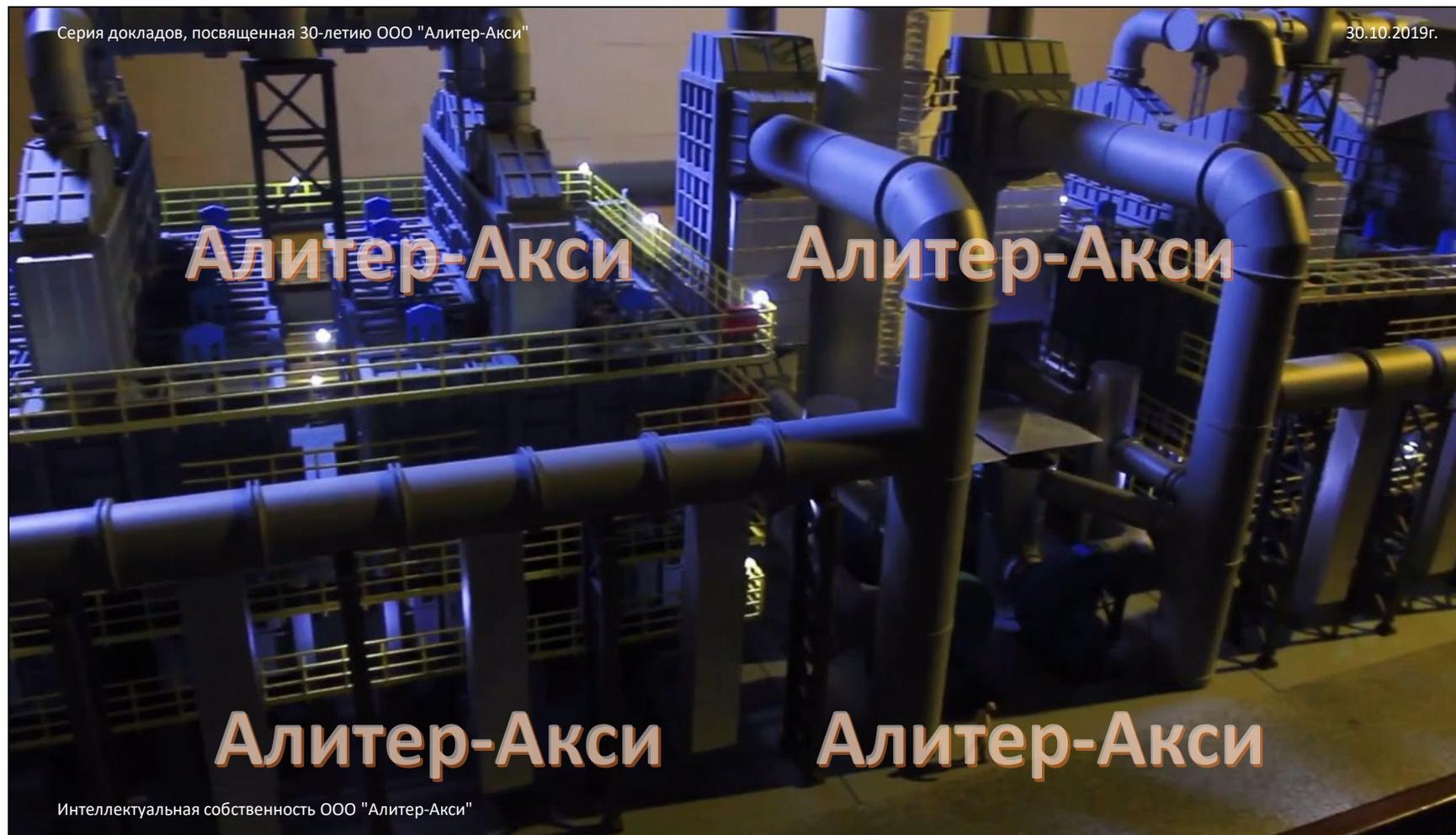
Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

Алитер-Акси



Алитер-Акси

В 2013 г. нами был выполнен проект на две печи УЗК. Две печи УЗК, максимальной мощностью 34 МВт каждая.

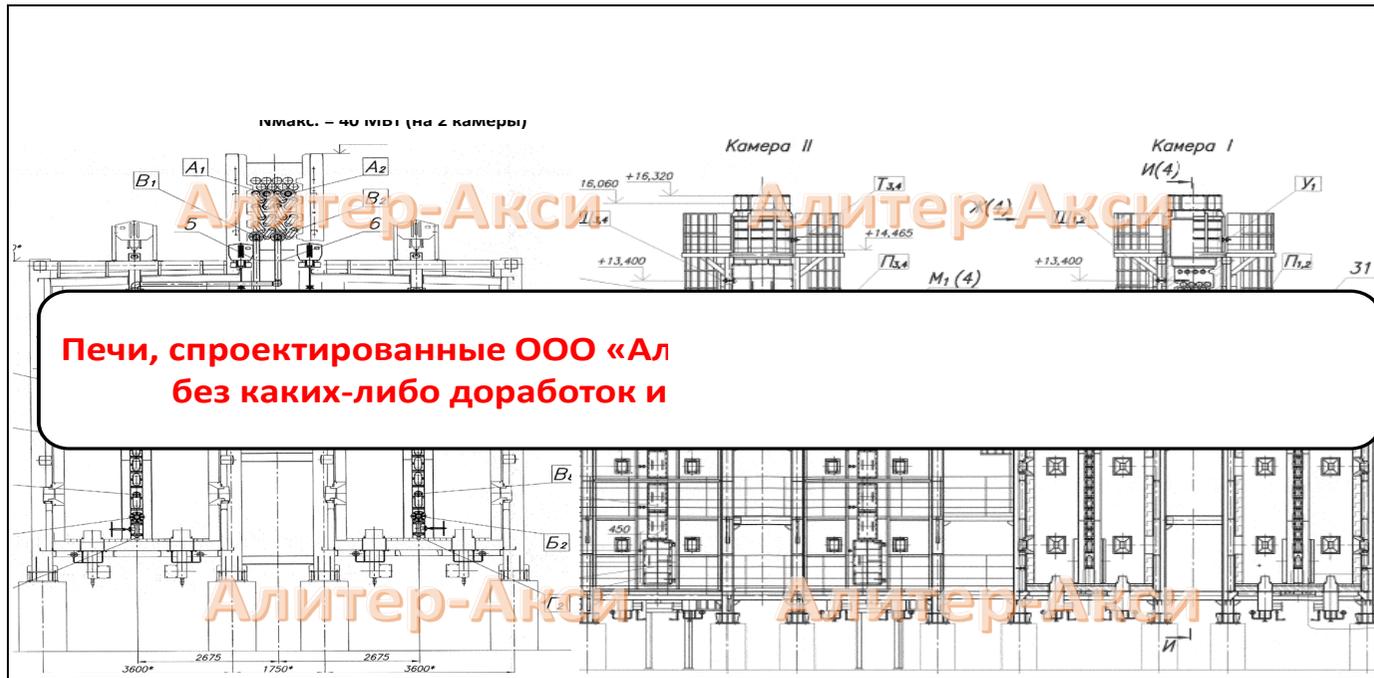


Каждая печь состоит из двух камер (камера 1 и камера 2). Мощность каждой камеры соответственно 17 МВт. Камеры установлены независимо друг от друга, параллельно. Благодаря такому конструктивному решению обеспечивается гибкое регулирование режима работы установки по загрузке сырья и осуществляется очистка змеевика от кокса без останова процесса.

Для каждой печи спроектирован свой УУТ.

УУТ состоит из трубчатого ВП нашего производства, воздухопроводов, дымоходов, тягодутьевого оборудования и общей отдельностоящей ДТ. Благодаря УУТ снижается потребление топлива в печи и увеличивается КПД.

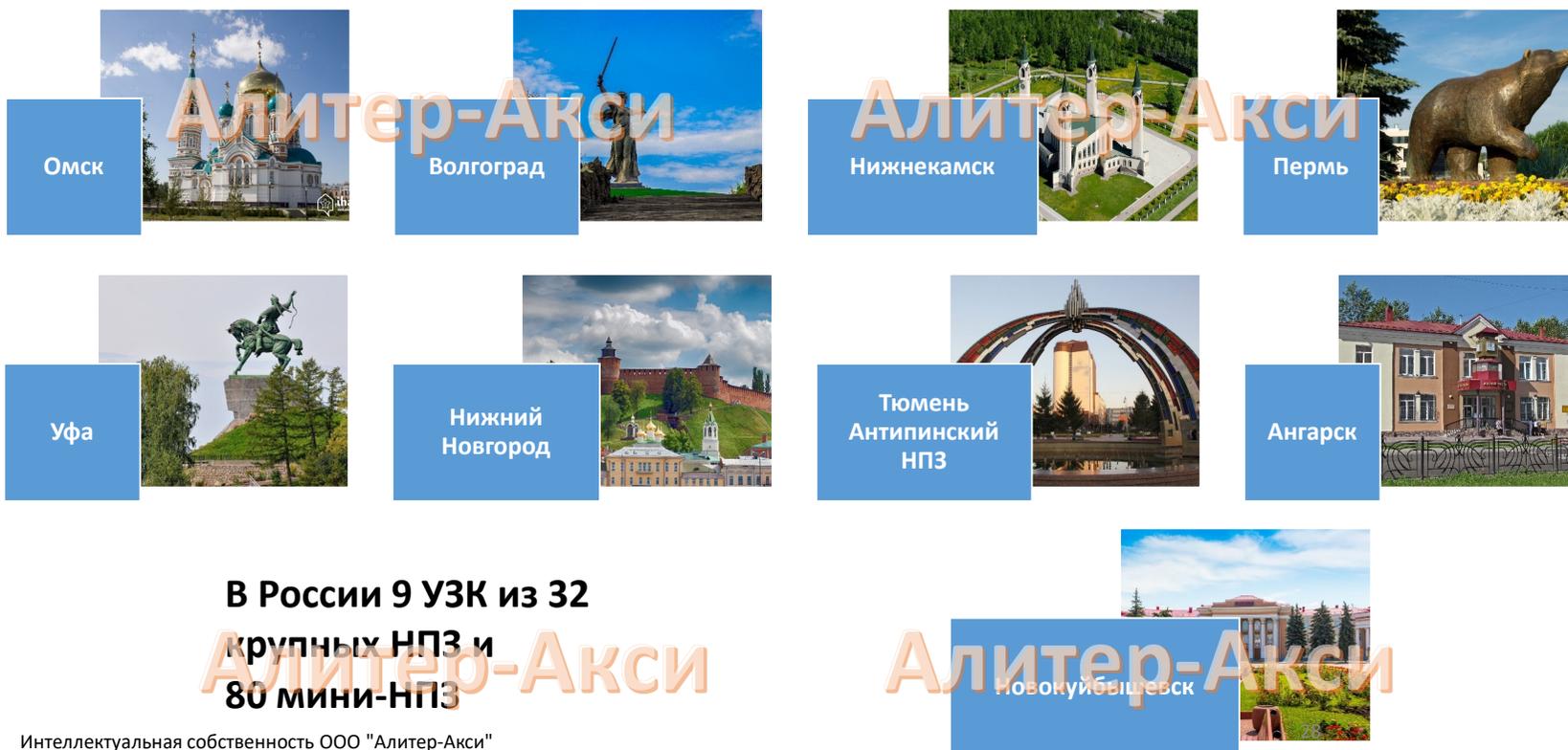
Одна камера печи по конструкции представляет собой две отдельностоящие камеры радиации и общую камеру конвекции.



Одна камера печи по конструкции представляет собой две отдельностоящие камеры радиации и общую камеру конвекции. В центре камеры радиации расположен горизонтальный змеевик с двусторонним обогревом труб. Сырье подается в камеру конвекции для предварительного нагрева, зона реакции – в камеру радиации, где происходит окончательный нагрев сырья. Конвекция также служит для перегрева пара. В поду печи установлены плоскофакельные, дутьевые горелки, фирмы Каллидус. Материал труб А335 (аналог 12ХМ). Метод очистки от кокса – паровоздушный + используется система Магикрот. Раскоксовка на ходу. - Печь Волгоград (проект Сопосо Ph.) по конструкции аналогичная. Двухкамерная печь, общей мощностью 40 МВт. Каждая камера представляет две отдельностоящие радиационные секции и общую камеру конвекции. В центре радиации располагается горизонтальный змеевик, двустороннего обогрева. Предусмотрен общий УУТ. Горелки плоскофакельные, дутьевые, фирмы Джон Зинк. Материал змеевика А335 (аналог 12ХМ). Метод очистки от кокса – паровоздушный + используется система Магикрот. Раскоксовка на ходу.

Выводы: Печи, запроектированные ООО А-А, были запущены в эксплуатацию без каких-либо доработок и достигли расчетной или более высокой мощности.

УЗК в России

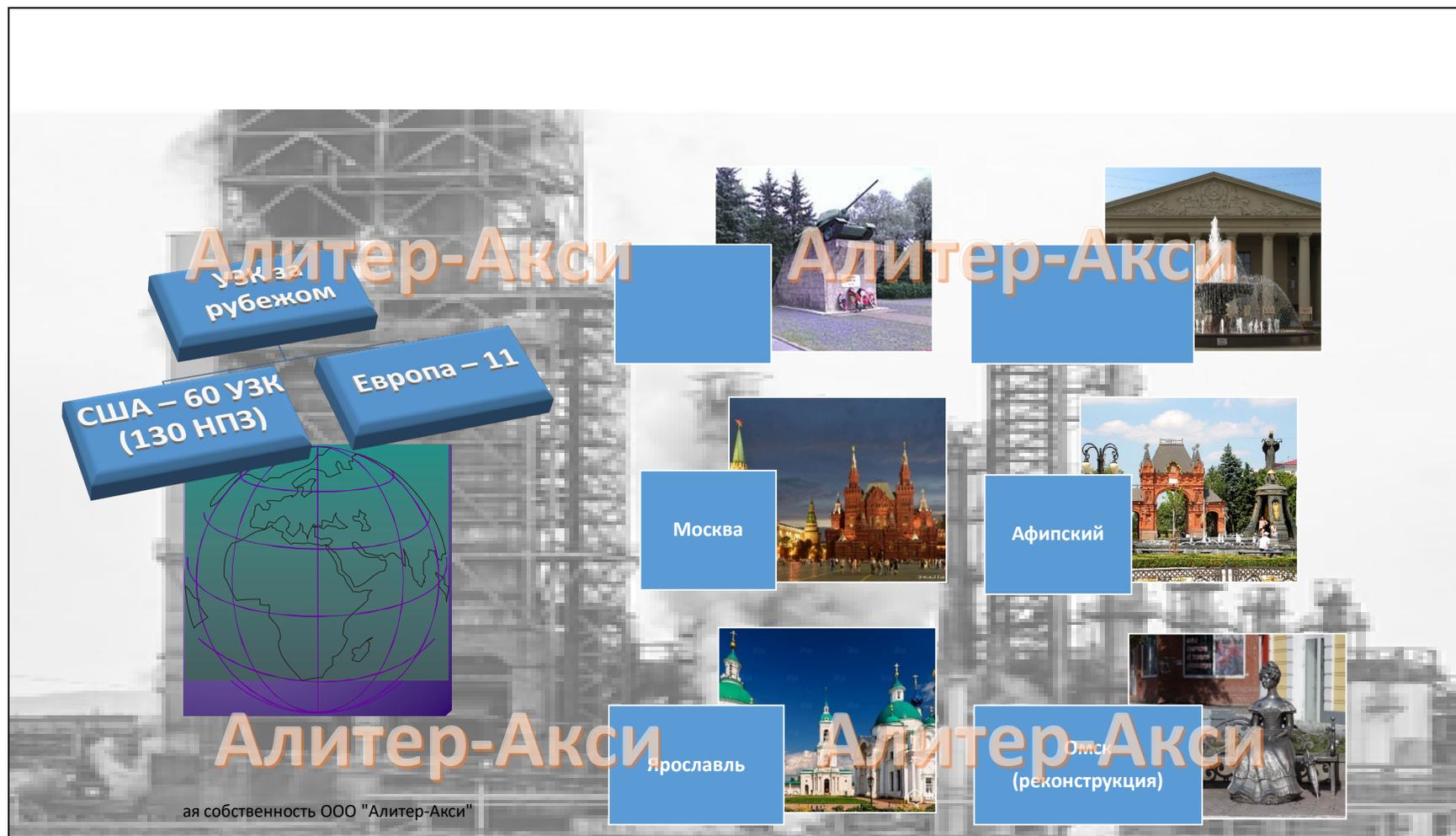


**В России 9 УЗК из 32
крупных НПЗ и
80 мини-НПЗ**

Интеллектуальная собственность ООО "Алитер-Акси"

В России действуют 32 крупных нефтеперерабатывающих предприятия с общей мощностью по переработке нефти 261,6 млн. тонн, а также 80 мини-НПЗ с общей мощностью переработки 11,3 млн. тонн. При этом количество УЗК составляет всего 9:

- Омск;
- Волгоград;
- Нижнекамск;
- Пермь;
- Уфа;
- Н.Новгород;
- Антипинск;
- Ангарск;
- Новокуйбышевск.



В США 60 УЗК (130 НПЗ), в Европе – 11 УЗК.

Как мы видим Россия пока отстает по количеству УЗК, но в связи с тенденцией к увеличению переработки тяжелых нефтяных остатков, что связано с ограниченностью запасов нефти и постоянных ухудшением её свойств (это увеличение серы и плотности), возникает необходимость в строительстве новых УЗК или реконструкции старых.

Ожидается строительство новых УЗК в г.Киришах, на яйском НПЗ (Кемеровская обл.), Москва, Ярославль, Афипский НПЗ, намечена реконструкция УЗК в Омске.

Как мы можем предполагать, работа для нашей компании по печам УЗК в перспективе есть.



В последние 20-30 лет реакционные печи УЗК в России изготавливались по западным проектам. Нашей компании удалось создать современный отечественный проект УЗК и реализовать его.

Сейчас, наша компания единственная в России делает полный цикл по проектированию печи ЗК, начиная от технологических расчетов и заканчивая строительством печи.