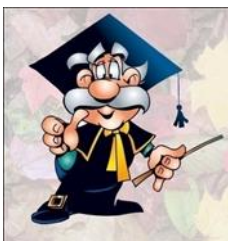


Тема 9. Технология переработки горючих сланцев в генераторах



В данной теме даётся описание процесса термической переработки сланца в генераторах смолы и технологические особенности эксплуатации данных установок.

Основной целью переработки сланца в генераторах является не производство газа, а получение смолы, и основным процессом является не газификация, а полукоксование сланца.

Все газогенераторы представляют собой цилиндрическую вертикальную печь, разделенную по высоте на две зоны. В верхней зоне происходит сушка и полукоксование сланца, в нижней — газификация и сжигание полукокса. Таким образом, в печи одновременно идут два совершенно разных процесса, требующие разных условий для их нормального течения.

Сочетание двух разнородных процессов в одном аппарате страдает рядом недостатков. В силу специфических особенностей сланцевого полукокса процесс его газификации имеет ряд существенных отличий от классических.

9.1 Принцип действия и конструкция сланцевых генераторы смолы

Данные агрегаты имеют относительно простую конструкцию и надёжны в работе. Все современные сланцевые генераторы представляют собой вертикальную печь в металлическом цилиндрическом корпусе, изнутри футерованном огнеупорным кирпичом и разделенный на три части вертикальными решетками горячую камеру, швельшахту и холодную камеру. Сверху швельшахты находится загрузочное устройство, внизу — механизм выгрузки полукокса. Генератор загружается периодически через загрузочный конус, выгрузка полукокса идет непрерывно.

Рассмотрим конструкцию наиболее распространенного сланцевого генератора с поперечным потоком теплоносителя в составе генераторной станции - ГГС-5. Сланец выгружается из железнодорожных вагонов в приемные бункеры. Из приемных бункеров сланец подается на транспортерные ленты двумя лопастными питателями.

Между транспортерами установлены четыре грохота, работающие по два на каждую нитку сланцеподачи. На грохотах отсеивается сланцевая мелочь (третьего сорта), которая поступает в железнодорожные вагоны и отгружается потребителям. По транспортерным лентам сланец подается в накопительные бункеры генераторов ГГС - 5 .

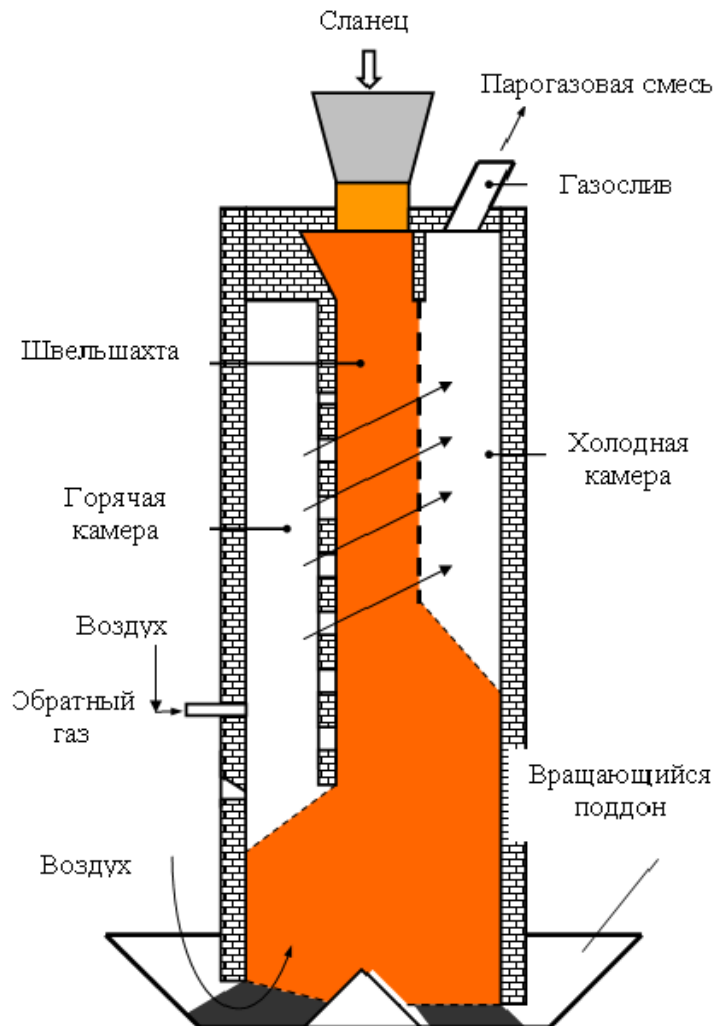
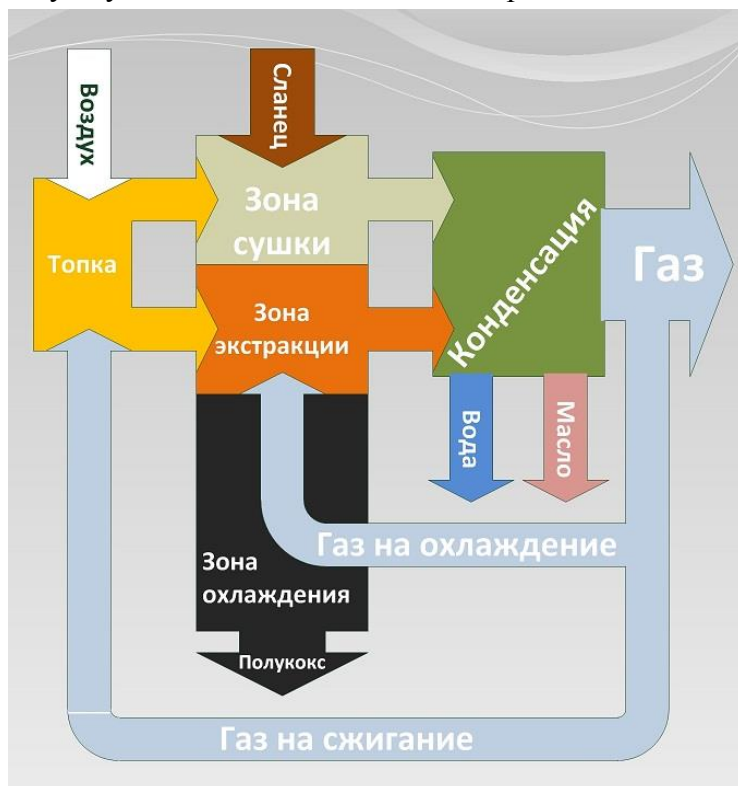


Рис1. Принципиальная схема 200-тонного генератора

Заполнение бункеров генераторов ГГС-5 осуществляется поочередно. Из накопительных бункеров сланец поступает в 16 генераторов в которых осуществляется процесс термического разложения (полукоксования) сланца. Из накопительного бункера сланец поступает в загрузочную коробку, откуда подается дозированными порциями (приблизительно 2,3 тонны) автоматическим загрузочным устройством в промежуточную коробку. Далее сланец движется вертикально вниз по промежуточной коробке и швельшахте. Загружаемый сланец проходит по шахте полукоксования (швельшахте) сверху вниз и через него в поперечном направлении проходит теплоноситель вследствие разницы давлений в горячей и холодной камерах. Теплоноситель представляет собой смесь продуктов горения в горячей камере обратного генераторного газа вместе с воздухом, а также газа, который идет на подмешивание. При влажности технологического сланца 9-12% расход тепла на его

подсушку составляет до 35 % общего расхода тепла на переработку.



В верхней части швельшахты идет процесс сушки. Далее по мере своего движения сверху вниз органическая часть сланца разлагается в потоке теплоносителя и продукты термического разложения вместе с теплоносителем выносятся в холодную камеру и через газослив в конденсационную систему, где происходит конденсация сланцевой смолы и подсмольной воды. Неконденсируемая часть - генераторный газ – используется как топливо на нужды других установок, причем часть его (обратный газ) подается снова в газогенераторы для сжигания. Образовавшийся в

результате термической переработки сланца полукокс, который содержит еще некоторое количество органических веществ, газифицируется потоком воздуха на дутье и в результате получается дополнительное количество теплоносителя, которое также поступает в горячую камеру. Существуют конструкции генераторов в которых газификация проводится дымовыми газами, образовавшимися в результате сжигания обратного газа в боковой топке. В таких генераторах в нижнюю часть нагнетается обратный газ, который нагревается за счёт теплообмена с горячим полукоксом. Нагретый таким образом обратный газ также поступает в горячую камеру, сокращая тем самым тепловые потери. Таким образом используют два варианта переработки сланца в генераторе: с частичной газификацией полукокса и зоной теплообмена, в которой происходит охлаждение твердого остатка обратным газом.

Твердый остаток- полукокс при помощи вращающегося поддона выгребается из газификатора и через систему золоудаления вывозится в отвал. Для ликвидации образования пыли зола на поддоне газогенератора увлажняется, уровень воды в поддоне автоматически регулируется. Излишки воды вытекают вдоль транспортной ленты, а оттуда – в производственную канализацию. Образующийся водяной пар подсасывается вместе с воздухом в газогенератор, снижая тем самым температуру горения полукокса. Из газификатора охлажденный полукокс поступает в поддон. При вращении поддона полукокс выгружается на транспортеры золоудаления. Привод вращения поддона работает циклами, включающими в себя пуск и остановку двигателя. Изменением числа циклов пуск - остановка привода поддона осуществляется регулирование скорости выгрузки полукокса, что позволяет регулировать интервал между поступлением дозированных порций сланца в газогенератор и,

следовательно, производительность газогенератора по сланцу.

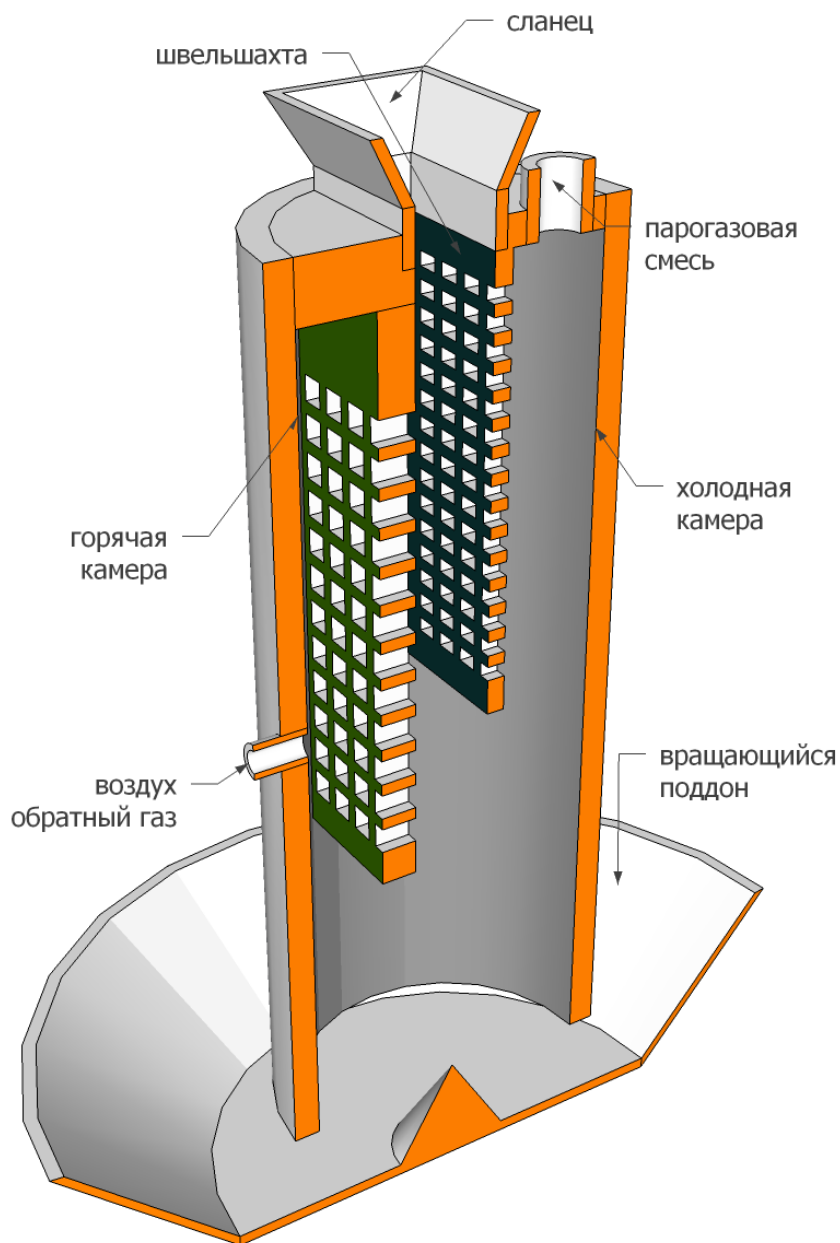


Рис 2. Объёмная модель 200-тонного генератора

Чтобы избежать выбросов газа при выгрузке полукокса, в поддон газогенератора подается слабая фенольная вода из отделения конденсации. Шахта полукоксования (швельшахта) генератора с поперечным потоком теплоносителя имеет прямоугольное сечение и отделена от горячей камеры горячим простенком- стенкой из шамотного кирпича, в которой находится 8-
Sergey Chekryzhov, EVM0152 “Kütuste keemia ja tehnoloogia II ”. Loeng 9.

10 рядов сквозных дюз. Общее свободное сечение дюз составляет 3-3,5 м². Через эти дюзы в швельшахту поступает горячий теплоноситель.

Толщина слоя сланца в шахте полукоксования должна быть какой, чтобы последствия от битуминизации сланца его термической переработке не отражались на показателях работы генератора, то есть толщина слоя должна быть оптимальной. При работе на пониженном слое топлива ухудшаются условия теплопередачи, повышается температура газа на выходе из аппарата, возрастает унос пыли из-за уменьшения фильтрующей способности слоя. При переработке кукурузитов конструкция генераторов с поперечным потоком теплоносителя имеет по сравнению с другими, важное преимущество в том, что при сохранении оптимальной толщины слоя можно увеличить объём шахты полукоксования. В работе [1] для сланца с теплотой сгорания 3000-3200 ккал/кг (12600-13400 кДж/кг) толщина слоя рекомендуется от 1.2 до 1.5 м. Так на генераторах ГГС-5 при толщине слоя в 1.3 м. объём шахты полукоксования может быть увеличен до 29 м³, а в случае 1,5 – до 33 м³. Это означает, что за счет увеличения объёма швельшахты довести производительность соответственно до 230 или до 270 тонн сланца в сутки.

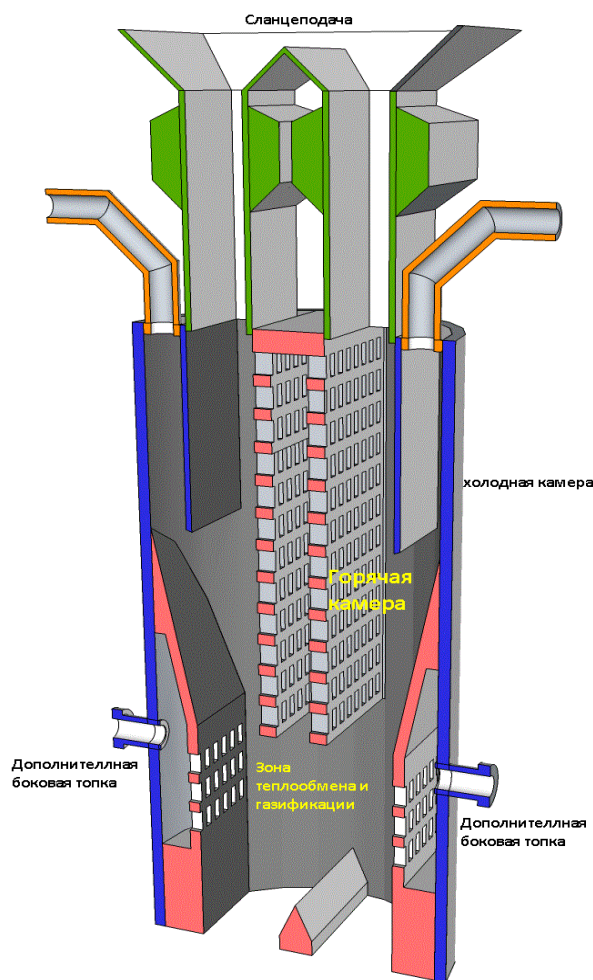
На прогрев кусков сланца до температуры разложения необходимо определенное время. В зоне полукоксования кусковой сланец должен находиться 3 часа. Конструкция генератора может быть удачной в том случае, если куски сланца – кукурузита проходят интервал температур 300-400⁰С, при котором проходит битуминизация, за минимальное время. Добавим, что при низкой скорости нагревания куски сланца идет процесс битумизации, что повышает гидравлическое сопротивление слоя.

Идеальная конструкция генератора должна обеспечивать равномерность распределения теплоносителя и схода сланца по всему сечению, минимальный вынос пыли и быструю эвакуацию парогазовой смеси из генератора. В зонах газификации и теплообмена процессы тепло и массопередачи идут значительно медленнее, поэтому принято, что объём этой части генератора должен быть в 2-3 раза больше, чем ёмкость швельшахты. Со стороны холодной камеры швельшахту отделяет металлическая решётка, изготовленная из труб. Решётка выполнена ступенчато для более равномерного распределения теплоносителя по высоте шахты полукоксования. Данная конструкция применяется в генераторах с поперечным потоком теплоносителя без боковой топки. Считается, что при прямой решетке теплоноситель проходит преимущественно через нижнюю часть швельшахты, а увеличение толщины слоя в швель шахте на 10-15 см. выравнивает гидравлическое сопротивление слоя по высоте.

9.2 Технология «Кивитер»

Так называется технология переработки сланца в 1000-тонном генераторе. Полукоксование сланца происходит в двух параллельно расположенных шахтах, отделённых друг от друга центральной горячей камерой для приготовления и распределения теплоносителя. Если бы пришлось проектировать генератор с одной шахтой, как у 200-тонных генераторов, то его высота составила бы около 60 метров.

В двухшахтном генераторе по технологии «Кивитер» сохранена нужная толщина слоя в обеих шахтах при умеренной высоте агрегата. Генератор включает загрузочное устройство,



две шахты полукоксования, центральную горячую камеру для приготовления и распределения теплоносителя и две холодные камеры сбора и отвода парогазовой смеси. Ниже шахт полукоксования расположена шахта с боковыми топочными устройствами, снабжёнными газовыми горелками и вводами обратного газа, для дополнительного нагрева полукоксовки и частичной его газификации. В нижней части находятся шахта охлаждения твёрдого остатка с вводами обратного газа и экстракторы полукоксовки. 1000-тонный генератор расположен на открытой площадке и подключён к существующей системе сланцеподачи и золоудаления ГТС-5.

Рис.3 Объёмная модель 1000- тонного генератора

Внешний диаметр цилиндрического корпуса- 9,6 м, а высота – 21 м. Общая высота агрегата, включая сланцевый бункер, - 35м.

Температура теплоносителя поддерживается на уровне 800-900 °С, а парогазовой смеси в газосливах – 200-250 °С. Удельный расход воздуха в расчёте на исходный сланец составляет около 0,350 м³/кг, а обратного газа на охлаждении твёрдого остатка – в пределах 0,100-0,200 м³/кг. Переработки сланца в агрегате ведётся с помощью автоматизированной системы управления.

Выход смолы в 1000-тонном газогенераторе достигает 17,0% на рабочий сланец или 80% от лабораторного потенциала (по Фишеру), а удельный выход генераторного газа составляет около 0,450 м³/кг. Для каждой технологической установки разработаны нормы технологического режима, которые зафиксированы в технологическом регламенте – основном нормативно-техническом документе. Технологический регламент устанавливает , как правило, не оптимальные , а допустимые пределы , обеспечивающие устойчивую и безаварийную эксплуатацию установки.

Температура в горячей камере генератора должна быть в пределах 800-900°С. На горение поступает обратный газ и воздух. Между расходом газа и воздуха должно автоматически поддерживаться определённое соотношение. Избыточное количество воздуха приводит к

увеличению количества тепла, росту температуры и как следствие увеличение вероятности вторичного пиролиза смолы в зоне полукоксования. Избыточное количество воздуха, а следовательно, и кислорода воздуха может вызвать горение сланцевой смолы в швельшахте. При температуре 1200-1300⁰С начинается плавление минеральной части, то есть шлакование и жидкий шлак при контакте с менее нагретыми поверхностями швельшахты застывает, затрудняя сход твердого материала.

Следует отметить, что генераторный газ горит при температуре выше 800⁰С, при 700-800⁰С горение неустойчивое, а при 500-600⁰С вообще не загорается. Это связано с его составом

Состав генераторного газа

Компоненты газа	Объёмный %
CO ₂ +H ₂ S	18,6
C _n H _{2n}	0,8
O ₂	0,5
CO	5,7
H ₂	4,4
C _n H _{2n+2}	2,3
N ₂	67,7
Содержание H ₂ S, г/м ³	6,5

Теплота сгорания генераторного газа (без учёта газбензина)

Q _b , кДж/м ³	3070
Q _n , кДж/м ³	2810
Q _b , ккал/м ³	735
Q _n ккал/м ³	670

Характеристика горючих газов в Эстонии, получаемых при термической переработки горючего сланца.

Таблица 3

Характеристика горючих газов в Эстонии

Характеристика	Полукоксовый газ УТТ	Генераторный газ	Камерный газ
Теплота сгорания ккал/м ³	12000	770	4000
CO ₂ +H ₂ S	12,07	23,3	16,2
O ₂	0,15	0,8	1,3
CO	9,53	4,6	12,7
H ₂	13,31	5,3	25,8
N ₂	1,1	61,5	20,4
Углеводороды	63,84	4,5	23,6

Наивысшая теплота сгорания у полукоксового газа и также содержание углеводородов тоже. Генераторный газ относится к категории газов с низкой теплотой сгорания. Генераторный процесс в целом подчинен единой цели – получению с высоким выходом жидких продуктов. Полукоксовый газ установки TSK (УТТ) наоборот стандартизирован и может использоваться как продукт.

Компоненты газа	Генераторный газ	Газ камерных печей	Газ УТТ
Алканы, %	3,8	17,1	33,5
Алкены, %	0,7	6,3	29,4
H ₂ , %	5,3	28,6	13,3
CO, %	4,6	10,6	9,5
CO ₂ + H ₂ S, %	23,3	17	14,3

Для получения дополнительного количества теплоносителя проводят газификацию полукокса подачей воздуха на дутьё в нижнюю часть генератора. Однако увеличение подачи воздуха сопровождается не только процессом газификации полукокса, но процессом его шлакования. Кроме этого повышением температуры в газификаторе усиливается разложение карбонатов минеральной части и, в конечном итоге, нерационально расходуется часть тепла газификации.

Для уменьшения опасности шлакования и снижения температуры газификации к воздуху на дутьё подмешивают водяной пар. Важным условием, снижающим вероятность шлакования, является выгрузка коксозольного остатка, то есть непрерывная работа поддона.

Как уже отмечалось, скорость выгрузки коксозольного остатка (золоудаления) определяет не только производительность генератора, но технологические и качественные показатели процесса. Например при высокой скорости выгрузки время нахождения куса сланца в генераторе сокращается и он не успевает нагреться до температуры разложения. В результате коксозольный остаток становится «сырым», то есть в нем присутствуют неразложившиеся куски сланца, при этом температура парогазовой смеси в газосливе снижается.

Температуру в газосливе регулируют изменением скорости выгрузки. Слишком высокая температура приводит к потерям смолы в силу её вторичного пиролиза, образованию кокса и увеличению тепловой нагрузки на отделение конденсации. Оптимальный уровень температуры на газосливе, как показателя температурного режима разложения, зависит от качества сланца. Более калорийный сланец требует большего времени пребывания сланца в генераторе, а следовательно и более высокой температуры парогазовой смеси на газосливе. При плохой работе генератора, то есть, когда в швельшахте есть пустоты или прогары, часть

теплоносителя проходит зону полукоксования без теплообмена со сланцем . Это приводит в увеличению температуры на газосливах и требует увеличения скорости выгрузки, что приводит к еще большему ухудшению процесса.

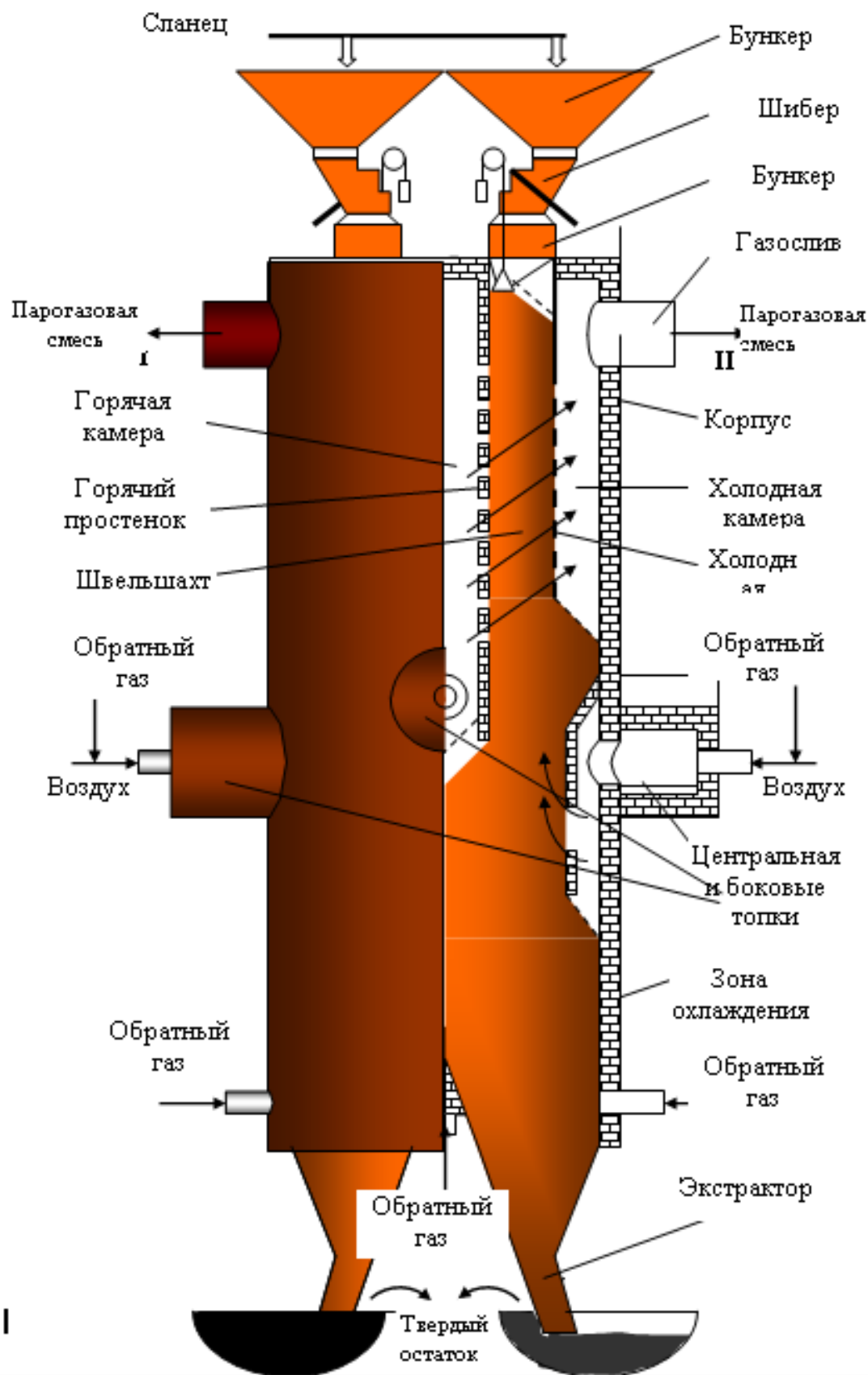


Рис. Принципиальная конструкция 1000- тонного генератора смолы
Sergey Chekryzhov, EVM0152 "Kütuste keemia ja tehnoloogia II". Loeng 9.

Условия разложения можно характеризовать удельным расходом тепла на тонну сланца. Для полукоксования сланца в генераторах удельный расход тепла составляет 1050-1130 кДж на кг. Расход тепла косвенно можно оценить удельным расходом воздуха, подаваемого на процесс, который составляет на основе опытных данных 400 м³ на тонну перерабатываемого сланца.

При полукоксовании сланца в генераторе без газификации полукокса воздух расходуется только на сжигание газа, поэтому его удельный расход ниже около 300 м³ на тонну и опасности шлакования коксозольного остатка нет, что упрощает управление технологическим процессом.

Показатель разряжения в барильете для 200-тонного генератора составляет 1500 Па или 150 мм вод.ст. При более низком разряжении генератор начинает «газить», при увеличении разряжения увеличивается скорость теплоносителя, увеличивается унос пыли, а также подсос воздуха через неплотности, что также увеличивает нагрузку на конденсационную систему. Для снижения выбросов уменьшают расходы газа и воздуха в генератор.

Следует отметить, что генераторный процесс является сложным взаимосвязанным процессом, когда в одном аппарате со сланцем последовательно проходят процессы нагревания, сушки, термического разложения (полукоксования), газификации, теплообмена, охлаждения.

Для термической переработки сланца с целью получения сланцевой смолы используется генераторная станция, который представляет сложный технологический комплекс, включающий 4 отделения: генераторное, конденсационное, сланцеподачи и золоудаления.

Основным является генераторное отделение, в которое входит несколько однотипных, параллельно работающих на общую конденсационную систему генераторов.

Конденсационное отделение начинается с барильетов, на каждый из которых параллельно работают несколько генераторов. Все барильеты объединены в один общий коллектор, который выходит на отделение конденсации.

Вопросы самоконтроля.

1. Почему агрегат термической переработки сланца неверно называют «газогенератором»?
 - A. Потому что целевым продуктом процесса является сланцевая смола.
 - B. Сланцевые генераторы по конструкции принципиально отличаются от конструкции аппаратов газификации твердого топлива.
 - C. В сланцевых генераторах нельзя организовать процесс газификации топлива.
2. Явление битуминизации сланца при его нагревании происходит в следующем диапазоне температур.
 - A. 200-209°C
 - B. 320-380°C
 - C. Более 380°C

3. Какие технологические узлы не входят в сланцевой генератор
 - A. Узел подачи сланца
 - B. Горячая камера
 - C. Шахта полукоксования
 - D. Холодная камера
 - E. Зона газификации или теплообмена
 - F. Зона выгрузки полукокса
 - G. Зона выпаривания воды
4. В чем отличительная особенность технологии «Кивитер»?
 - A. Можно использовать сланец без предварительного обогащения.
 - B. Наличие двух параллельных шахт полукоксования и одной центральной горячей камеры подготовки теплоносителя.
 - C. Наличием дополнительных боковых топок.
5. Генераторный газ горит при температуре
 - A. выше 800⁰С,
 - B. при 700-800⁰С
 - C. при 500-600 ⁰С
6. Для полукоксования сланца в генераторах удельный расход тепла составляет
 - A. 950- 1050 кДж на кг
 - B. 1050-1130 кДж на кг
 - C. 1150-1200 кДж на кг
7. Что является опасным отходом производства в технологии «Кивитер»
 - A. Все продукты генераторного процесса
 - B. Генераторный газ
 - C. Сланцевый полукокс.

Использованная литература

1. А.Згуро., Л.Григорьева., С. Чекрызов, И.Бородин. Химические технологии. Учебное пособие для химико-технологических специальностей профессиональных центров., Йыхви. Innove .2012. 374 с.
<http://www.innove.ee/UserFiles/Kutseharidus/Kutsehariduse%20programm/%C3%95ppematerjalid/Keemiatehnoloogia.pdf>
2. Ефимов В.М., Пийк Э.Э, Раппу Л.И. О некоторых особенностях термической переработки богатых битуминизирующихся сланцев. В сб. Химия и технология горючих сланцев . Тр.вып 19. «Валгус», Таллинн 1973, с.36.
3. Сергей Чекрызов, Владимир Сычёв. Термическая переработка горючего сланца в генераторе. Учебное пособие. Кохтла-Ярве.2015. Käesoleva õppematerjali valmimist on kaasrahastatud Kõrgkoolide koostöö ja innovatsiooni arendamise alameetme „KÕRGKOOLIDE JA ETTEVÕTETE KOOSTÖÖ“ projekti „Kütuse ja keemia tehnoloogia magistriõppekava loomisprojekt“ raames.72.c

4. Oil Shale: Petroleum Alternative. Editors in chief Jialin Qian, Liang Yin. China Petrochemical Press. 2010.