

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Р.Ш. Загрудтинов¹, В.Н. Негуторов¹, Д.Г. Малыхин², П.К. Сеначин^{2,5},
М.С. Никишанин³, С.А. Филипченко⁴

Рассмотрены проблемы энергетического использования твердых бытовых отходов, в том числе их подготовка и газификация в двухзонных газогенераторах прямого процесса с двойной зоной горения, для работы в составе мини-ТЭЦ. Приведены принципиальная схема и баланс энергетических потоков мини-ТЭЦ. Приведены описание и принципиальная схема комплекса по производству синтетического жидкого топлива из полученного генераторного газа и рассмотрены его состав и качество.

Ключевые слова: бытовые отходы, брикетирование, газификация, двухзонные газогенераторы, мини-ТЭЦ, синтетическое жидкое топливо.

Введение

Твердые бытовые отходы (ТБО) являются отходами непроеизводственной сферы, образующимися в результате бытовой деятельности населения. Они состоят из изделий и материалов, непригодных для дальнейшего использования в быту. Это отходы накапливаемые в жилом фонде, учреждениях и предприятиях общественного назначения (школах, зрелищных и детских учреждениях, гостиницах, столовых и т.п.). К ТБО также относятся отходы, образующиеся в жилых зданиях (включая отходы от текущего ремонта квартир и отходы продуктов сгорания систем местного отопления), уличный смёт, опавшие листья, а также крупногабаритные предметы домашнего обихода. Состав и объем ТБО разнообразны (зависят от страны и местности, времени года и прочих факторов). Бумага и картон составляют наиболее значительную часть ТБО (до 40% в развитых странах). Далее по величине в России – это органические (в т.ч. пищевые) отходы; металл, стекло и пластик составляют по 7-9% от общего количества отходов. Примерно по 4% приходится на дерево, текстиль и резину. Количество ТБО в России увеличивается, а их состав (особенно в крупных городах) приближается к составу ТБО в западных странах с относительно большой долей бумажных отходов и пластика.

Основным способом термической переработки ТБО на сегодня является их прямое сжигание. Известны также технологии, основу которых составляют процессы газификации, пиролиза, сжигания в шлаковом расплаве и

т.д., в том числе с использованием плазмотронов, но они имеются в незначительных количествах и практически не влияют на количественную утилизацию. В настоящее время в мире эксплуатируется более 2 тыс. установок, сжигающих ТБО на механических колосниковых решетках, около 200 топок для термической переработки отходов в кипящем слое, примерно 20 барабанных печей, где сжигают ТБО, а также единичные установки с использованием пиролиза и газификации.

Мусоросжигание (один из сложных и технологичных вариантов обращения с отходами) требует предварительной обработки ТБО (с получением так называемого извлеченного топлива). При разделении из ТБО удаляют крупные объекты и металлы (магнитные и немагнитные), а затем дополнительно измельчают. Для уменьшения вредных выбросов также извлекают батарейки и аккумуляторы, пластик и листья. Сжигание неразделенного потока отходов в настоящее время считается чрезвычайно опасным. Для установок массового сжигания (МСЗ) производительностью от 100 до 3000 тонн в сутки капитальные затраты в США колеблются от 80 до 100 тыс. долларов на единицу мощности (тонна сжигаемых отходов в сутки). В эту цену не входит цена устройств подготовки отходов. Эксплуатационные расходы составляют около 20 долларов за тонну ТБО. Следует также иметь в виду, что время, необходимое на проектирование и постройку МСЗ в США в среднем составляет 5-8 лет.

Известно [1], что особенностями установок, сжигающих ТБО, по сравнению с тради-

ционными котлами являются:

- необходимость сжигать их с большими избытками воздуха ($\alpha=1,8$) из-за широкого диапазона изменения теплоты сгорания и состава компонентов ТБО;
- обязательная выдержка газообразных продуктов сгорания при температуре более 850 °С в течение 2 с и более для деструкции органических загрязнителей, в первую очередь, полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов (ПХДД/ПХДФ);
- ограничение температуры дымовых газов на входе в конвективные поверхности (не более 750 °С) по условиям минимизации шлакования этих поверхностей;
- поддержание оптимальной для работы системы газоочистки температуры дымовых газов на выходе из котла (обычно 180...200 °С);
- применением многоступенчатой системы газоочистки.

Конкретных данных по теплоте сгорания ТБО в литературе и статьях представленных в интернете практически не имеется. Это, по-видимому, связано с неоднородностью их состава (по местным условиям, сезонности, также степени предварительной сортировки). Пока можно ориентироваться на принятую при проектировании московских спецзаводов по переработке ТБО в энерготехнологических установках теплоту сгорания 6280 кДж/кг (1500 ккал/кг) [1].

При этом следует учитывать и экологические воздействия МСЗ, которые в основном связаны с загрязнением воздуха мелкодисперсной пылью, оксидами серы и азота, фуранами и диоксинами. Серьезные проблемы возникают также с захоронением золы от мусоросжигания, которая по массе составляет до 30% от исходной массы ТБО и которая в силу своих физических и химических свойств не может быть захоронена на обычных свалках. Для безопасного захоронения золы применяются специальные хранилища с контролем и очисткой стоков.

Таким образом, мусоросжигание может быть только одним из компонентов комплексной программы утилизации ТБО.

Более высокотехнологическим видом утилизации ТБО является их стадийное сжигание с газификацией при недостаточных избытках воздуха, с разделением потоков газообразных продуктов газификации на «чистый» и «грязный» газ. При этом «грязный» газ сжигается в топках котлов с выработкой тепловой и электрической энергии, а «чистый» газ направляется либо на производство бо-

лее ценных продуктов, например жидкого синтетического топлива (ЖСТ), других химических продуктов, либо на непосредственную выработку электроэнергии в ГПЭС или ГТУ.

Газификация ТБО, как и его сжигание позволяет примерно в 3 раза уменьшить массу отходов, устранить некоторые неприятные свойства (запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, привлекательность для птиц и грызунов) и получить дополнительную тепловую и электрическую энергию.

При этом предлагаемые схемы характеризуются большой гибкостью и маневренностью в энергообеспечении. Станции с несколькими газогенераторами и оборудованные также несколькими паровыми котлами и ГПЭС (или ГТУ) позволяют обеспечивать пиковые нагрузки и минимумы не только изменением мощности газогенераторов, но и быстрым включением и отключением отдельных электрогенераторов.

Наиболее существенным положительным моментом предлагаемого проекта является то, что в качестве топлива используются твердые бытовые отходы, количество которых уже невозможно утилизировать традиционным способом. Газификация является более высокотехнологическим видом утилизации твердых бытовых отходов (ТБО), по сравнению с распространенным в мире сжиганием их в мусоросжигательных печах.

Предлагаемый процесс утилизации сортированного ТБО (из которых предварительно отделены магнитный и немагнитный металл, стекло, бетонные и др. строительные включения, состоит из следующих этапов:

- предварительное измельчение ТБО до размеров 3-10 мм;
- торрефикация (или торрефакция от английского *torrefacation*, т.е. «поджаривание») измельченного ТБО при температурах, при которых еще не происходит термического разложения полиэтиленов, пластиков и другой органики;
- брикетирование торрефакцированного материала ТБО;
- газифицирование брикетов ТБО в двухзонном газогенераторе прямого процесса с отбором «чистого» газа на технологию (производство электроэнергии, ЖСТ, продуктов химии и пр.) и «грязного» газа на дожигание в паровых котлах с дальнейшим использованием пара для выработки электроэнергии.

Обработка и брикетирование ТБО

Бытовые отходы, которые накапливаются в быту и в учреждениях, все, что не отно-

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

сится к промышленным и канализационным отходам (мусор, пищевые отходы, макулатура, изношенная одежда, старая бытовая техника и др.). Количество ТБО неуклонно возрастает из-за увеличения численности городского населения и изменения образа жизни (связанного с использованием одноразовой посуды, различных емкостей, оберточных и упаковочных материалов и т.д.).

По экспертным данным состав городских бытовых отходов примерно таков: бумага - 41%, пищевые отходы - 21%, стекло - 12%, железо и его сплавы - 10%, пластмассы - 5%, древесина - 5%, резина и кожа - 3%, текстиль - 2%, алюминий - 1%, другие металлы - 0,3 %. По другим оценкам состав современных ТБО несколько отличен и выглядит примерно следующим образом: бумага и картон - 41%, мусор - 17,9%, резина, кожа и древесина - 8,1%, пищевые отходы - 7,5%, металлы - 8,7 %, стекло - 8,2%, остальное - 8,6%. Различие состава связано с тем, что доля отдельных компонентов изменяется в зависимости от источника (город, село), уровня жизни, времени года и т.д. Город с населением в 1 млн. человек ежедневно производит примерно 2 тыс. тонн ТБО.

Торрефикация ТБО представляет собой «мягкий» пиролиз (т.е. нагрев без доступа воздуха) биомассы, который протекает при температурах 200-320 °С и атмосферном давлении. Для сравнения характерная температура пиролиза, например, на заводах по утилизации бытовых отходов составляет 400-600 °С. Скорость нагрева торрефикации обычно ниже 50 °С/мин, время процесса – 20-60 мин. Сырьё, подвергшееся подобной процедуре, обладает следующими преимуществами, по сравнению с исходным материалом:

- повышенная энергоёмкость по сравнению с традиционным сырьём за счёт уменьшения общей массы после испарения влаги и разложения некоторых негорючих веществ, например карбонатов;
- торрефицированный материал более устойчив к поглощению влаги и его влажность сохраняется на уровне 2-3 %;
- происходит некоторое обугливание материала, но при этом соотношение прочности и хрупкости является более оптимальным, чем у исходного материала.

В процессе торрефикации из биомассы извлекается влага, капиллярная и гигроскопичная, а также летучие вещества, образующиеся в ходе частичного разложения цепочек полимеров – целлюлозы и лигнина. Это уменьшает массу материала на 20-30% и од-

новременно приводит к увеличению удельной теплоты сгорания.

Одним из наибольших преимуществ процесса торрефикации является превращение разнообразных материалов (как по влажности так и по размерам) в практически однообразное сырьё для изготовления брикетов. Брикеты, изготовленные из подобного сырья отличаются практически чёрным цветом, более высокой энергоёмкостью, и более удобны в транспортировке и для газификации.

Существует два способа торрефикации: постоянный и метод «неподвижного слоя». В первом случае «обжаривание» происходит в процессе транспортировки сырья на транспортёре или шнеке, в этом случае сырьё должно быть предварительно высушено и иметь однообразную форму. Нагрев также может осуществляться от прямого контакта материала с поверхностью нагревательных элементов, также может использоваться косвенный нагрев от промежуточного теплоносителя.

Метод «неподвижного слоя» использует несколько другой подход. Процесс происходит при присутствии инертного газа, температура которого изменяется в течение процесса в соответствии с технологией процесса. В данном случае нагрев осуществляется методом конвекции, однако следует заметить, что процессы сушки и торрефикации должны быть разнесены во времени. С экономической точки зрения при использовании метода «неподвижного слоя» возможна экономия затрат на сушку сырья, так как процесс является замкнутым, а рекуперация водяного пара (что является непростым техническим решением даже не сегодняшний день) может принести дополнительный доход.

Предлагаемый процесс брикетирования торрефицированного материала ТБО будет выглядеть следующим образом:

- Охрупченный торрефицированный материал ТБО домалывается до фракции (размера) 3 мм с преимущественным содержанием частиц до 1 мм. Это может быть сделано молотковой дробилкой или вибромельницей, например, дробилкой Д-Ар - 55, производительностью до 15 т/ч и установленной мощностью 11 кВт. Возможно использование для домола механоактиваторов.

- Далее размолотый материал и связующий материал подаются в бункер оборудованный дозаторами с системой виброактивации для исключения зависания влажного, липкого материала.

Промышленно-выпускаемые такие уст-

ройства (дозаторы для материала высокой вязкости и адгезии) нам неизвестны, поэтому, скорее всего, их можно будет изготовить силами предприятия ООО «Брикетные технологии», такие проработки есть. Установленная мощность дозаторов ориентировочно составляет 3 кВт. Бункеры нестандартные.

- Вместе с исходным материалом ТБО и связующими материалами вся эта масса подается в общий шнек, который транспортирует всю массу в брикетный комплекс, при этом происходит предварительное перемешивание, усреднение массы. Конструкция шнека является оригинальной разработкой ООО «Брикетные технологии», изготавливается этим же предприятием. Установленная потребляемая мощность 5-7 кВт.

- Предварительно подготовленная масса, шихта равномерно подается в приемное устройство брикетного комплекса. Комплекс оснащён смесителем, механоактиватором для дополнительной пластификации, смешивания шихты и прессуется, брикетируется в брикет заданного размера. Получаемый брикет разогревается до 85-90 °С, что способствует более интенсивному испарению влаги и набиранию прочности брикета. Установленная мощность такого комплекса производительностью 2,5 т/ч составляет 55 кВт, 5 т/ч – 90 кВт.

В итоге среднее удельное потребление электроэнергии составляет до 30 кВт на тон-

ну получаемого брикета. Весь комплекс может работать в автоматическом режиме.

Газифицируются цилиндрические брикеты кольцевого типа с наружным диаметром 40 мм и внутренним диаметром канала 10-15 мм. Длина брикета – 50-60 мм.

Некоторые сведения о газификации ТБО

Опыт газификации ТБО в России, как впрочем, и в мире крайне незначителен. В России это установка в г. Черноголовка. В Институте проблем химической физики РАН разработан метод термической переработки горючих отходов, основанный на использовании физического явления - фильтрационного горения в сверхадиабатических режимах, при которых температура в зоне реакции существенно превышает адиабатическую температуру горения.

Эта технология термической переработки основана на двухстадийной схеме (Рисунок 1). На первой стадии перерабатываемый материал подвергается паровоздушной газификации в сверхадиабатическом режиме горения. Получаемый при этом энергетический продукт-газ (содержащий водород H_2 , окись углерода CO и в ряде случаев углеводороды или другие органические соединения) сжигается на второй стадии в обычных устройствах (например, паровых или водогрейных котлах) с получением тепловой и электрической энергии.

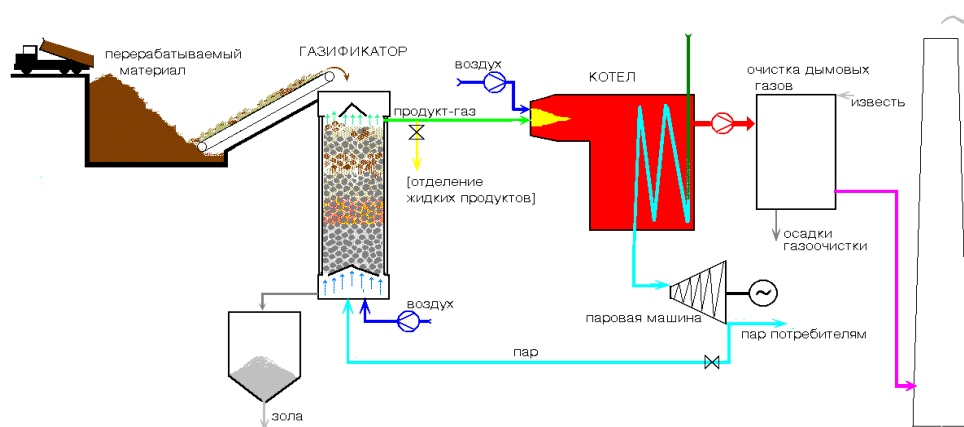


Рисунок 1 - Схема процесса термической переработки горючих отходов с получением тепловой и электрической энергии

Газификацию осуществляют в реакторе-газификаторе шахтного типа при реализации сверхадиабатического режима горения в «плотном» слое. Специфической особенностью данного процесса является такая его

организация, что выделяющееся при горении тепло не выводится из реактора (твердые и газообразные продукты выходят из реактора при относительно низких температурах), а концентрируется в зоне газификации и ис-

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

пользуется на получение водорода из воды и частично окиси углерода из углеродосодержащих соединений.

Перерабатываемое сырьё загружается в реактор сверху через шлюзовую камеру. Снизу подаются воздух и водяной пар. Отбор продукт-газа происходит в верхней части реактора, а выгрузка зольного остатка – в нижней. Продвижение рабочей массы в реакторе происходит под действием собственного веса. По высоте газификатора располагается несколько характерных зон. В самых верхних слоях температура держится в пределах 100-200°C. Здесь происходит подсушка вновь поступившего сырья, продуваемого продукт-газом. В результате продукт-газ до некоторой степени насыщается водяным паром. Ниже располагается зона, где преобладают процессы пиролиза и возгонки.

В бескислородной среде происходит термическое разложение и коксование органической массы. Здесь продукт-газ обогащается летучими продуктами пиролиза.

В средней части реактора располагается зона газификации, где при температурах 1000-1200°C происходит реакция коксового остатка с кислородом, парами воды и двуокисью углерода с образованием CO и H_2 . Некоторая часть углерода сгорает полностью с образованием углекислого газа CO_2 , за счет чего в зоне газификации поддерживается необходимая температура. Ниже находится зона, где твердый остаток, состоящий в основном из минеральных соединений, постепенно охлаждается в потоке газифицирующего агента, богатого кислородом. Здесь догорают остатки органических соединений и углерода, и горючие материалы полностью превращаются в золу. В самой нижней части реактора лежит зона окончательного охлаждения твердого остатка до температуры около 100°C.

Однако, реальность не такая уж радужная. Газ, получаемый из газогенератора, является сильно засмоленным и без серьезной очистки он не может быть использован напрямую для производства электроэнергии. То есть в данной установке мы имеем все проблемы сопутствующие газогенераторам прямого процесса. Установка газогенератора непосредственно у котла позволяет организовать сжигание в топке котла «грязного» засмоленного газа. При этом в газоотводящей линии идёт постоянное выделение смол из газа и полимеризация той части смол, которые имеют относительно высокие температуры кипения и конденсации. Кроме того, орга-

низация экологически чистого сжигания низкотемпературного влажного засмоленного газа в топке котлов не простая задача.

Использование газогенераторов с двойным отбором газа

Конструкция газогенераторов типа EPIC с двойным отбором газа уходит корнями к двухзонным китайским газогенераторам, скопированным в СССР. Основной их особенностью является разделение реактора на зоны подготовки топлива (зона пиролиза) и газификации. Так как реактор полностью заполняется газифицируемым топливом, система уплотнений нижней части газогенератора должна обеспечивать соответствующее давление газов в нижней части реактора (Рисунок 2).

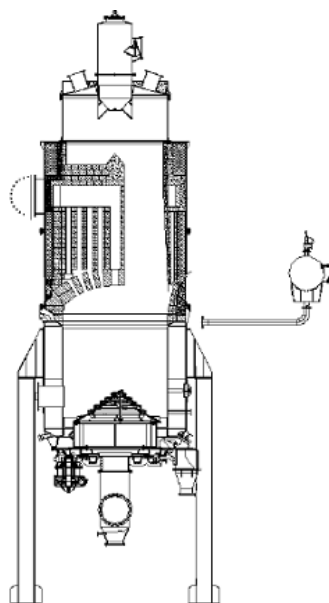


Рисунок 2 –
Схема газогенератора с
двойным отбором
газа

По мощности, в зависимости от состава газифицируемого топлива газогенераторы с двойным отбором газа и диаметром реактора 3600 мм могут достигать 25,0 Гкал/ч (по суммарной теплоте сгорания вырабатываемого газа). Газогенераторы с меньшим диаметром реактора 3000 мм, соответственно, могут достигать по мощности 17-18 Гкал/ч.

При этом низшая теплота сгорания генераторного газа Q_i^r , которая прежде всего, зависит от состава газифицируемого топлива, в целом, составляет 1300-1700 ккал/нм³.

Сравнение газогенераторов прямого процесса, классического с верхним отбором газа и с двойным отбором с одинаковым 3-х метровым реактором показывает следующее:

- производительность газогенератора с двойным отбором по газу выше примерно на 40-43% (11400 против 7000 нм³/ч);

- теплота сгорания газа выше на 30-35% (до 1700 против 1250 ккал/нм³);

- тепловая мощность по газу выше примерно в 2 раза.

Как известно из основ газогенераторного процесса производительность газогенератора зависит от многих факторов. Она определяется качеством топлива и его фракционным составом, количеством подаваемого газификационного агента (воздуха), конструкцией газогенератора и его отдельных элементов.

Основными отличиями газогенератора с двойным отбором газа, влияющими на его производительность являются:

- разделение газогенератора на зоны подготовки топлива и его газификации с двумя отборами газа – газификации подвергается топливо постоянной влажности;

- повышенное давление газификации за счет сухого золоудаления и отказа от чаши гидрозатвора – возможность ведения процесса при повышенном давлении и при более высоком слое топлива;

- использование теплоизоляционного и огнеупорного материала для внутренних газоходов и как следствие возможность ведения процесса при максимально высоких температурах, которые могут позволить плавкотные и шлакующие характеристики газифицируемого топлива;

- возможность утилизация генераторной смолы и фуфуса в газогенераторе.

Выбору топлива для газификации всегда уделялось немаловажное значение. Рассматривая конструкцию газогенератора с двойным отбором газа, можно видеть его разделение на зону пиролиза, представляющей по сути дела швель-шахту, и зону газификации уже подготовленного полукокса (реактора). В швель-шахте созданы условия для подготовки топлива – сушка и возгонка легкой смолы. В реактор подается топливо уже усредненного состава по влажности и содержанию летучих. Работа газогенератора в этих условиях становится более стабильной.

При газификации топлив с малым содержанием летучих, на первый план выходит вопрос температуры уходящего генераторного газа. В конструкции газогенераторов приходится применять жаропрочные стали или предусматривать их термозащиту. Велики потери физического тепла газа. В газогенераторе данного типа горячий генераторный газ движется вверх по вертикальным каналам из огнеупорного материала, охлаждаемым подающимся сырым углем. Таким образом, фи-

зическое тепло генераторного газа используется для сушки топлива и возгонки летучих веществ.

Следующим фактором, определяющим повышенную производительность газогенератора с двойным отбором газа, является повышенное давление газификации определяемое большим расходом воздушного дутья относительно равномерно распределённой по сечению колосниковой решетки. Так как, сопротивление слоя топлива растет пропорционально квадрату скорости газовой смеси в нём, то эта величина определялась сопротивлением гидрозатвора, применяемого на классических газогенераторах прямого процесса, который и являлся лимитирующим фактором в производительности агрегата. Кроме того, на сопротивления слоя топлива оказывает влияние его фракционный состав. В этом смысле использование брикетов с заранее заданными геометрическими размерами позволяет прогнозировано уменьшить сопротивление слоя.

Кроме того, при высоте гидрозатвора более 500 мм применяют ковшовые элеваторы, что усложняет установку и увеличивает трудозатраты. Отказ от гидрозатворов и переход на систему сухих уплотнений позволяет не ограничивать давление под колосниковой решеткой. При этом усложняется система подачи топлива в газогенератор и вывод шлака – применяется шлюзование. Высокий слой топлива генерирует газ более высокой теплотворной способности. Что видно из практических данных: на ГГС «Алтрак» - 1250 ккал/нм³; на газогенераторах с двойным отбором газа (по данным ЕРІС) – 1700 ккал/нм³. Разница в теплотворной способности составляет – 36%.

Генераторная смола на советских газогенераторных станциях, несмотря на свою высокую энергетическую ценность, всегда являлась отходом производства и подвергалась утилизации вне генераторного процесса, а часто, просто захоранивалась в шламонакопителях. Схемы совместной газификации смолы с углем имели место на некоторых ГГС, но экономический эффект от них был незначительный ввиду низкой стоимости твердого топлива и отсутствия природоохранных штрафов. Поэтому такие схемы не получили широкого распространения. А между тем, для большинства каменных углей потеря тепла в смоле обычно составляет от 6 до 10% теплотворной способности сухого угля. Возврат на повторную газификацию смол и фуфуса (непосредственно вместе с топли-

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

вом, либо с использованием их при брикетировании шламов и угольной пыли) повышает химический КПД процесса.

Можно отметить ещё один момент. Использование однородного топлива, каковым являются брикеты, с заранее заданными свойствами, значительно облегчает эксплуатацию газогенераторов и контроль самого процесса газификации.

Все, выше перечисленные особенности вносят различный вклад в повышение производительности газогенератора. Но главным из них является переход на сухую систему герметизации низа реактора. За первой составляющей следует и вторая – возможность поддержания высоких температур генераторного газа, которая предопределяет меры по защите внутренних поверхностей газогенератора. Немаловажный вклад вносит и утилизация генераторной смолы, как в повышение производительности, так и в борьбу с промышленными отходами. Последний фактор практически исчезает при реализации схемы сжигания верхнего «грязного» газа в горячем виде непосредственно в топках котлов.

Что касается выбора типоразмера газогенератора с диаметрами реактора 3000 мм и 3600 мм, то, наверное, для данного проекта более предпочтительным будет выбор с меньшим диаметром – 3000 мм.

При этом, в отличие от газогенераторов Лурги работающих под давлением, для атмосферных газогенераторов диаметром реактора 3000 мм и более целесообразней использование схемы двухзонного дутья – отдельными каналами подача паровоздушного дутья в центральную часть колосниковой решётки и в периферийную часть.

Конструкция типа SWM I-3,2G. Предлагаемый к внедрению двухзонный газогенератор (Рисунок 3) сформирован из карбонизатора (зона пиролиза) и испарителя (зона газификации).

Уголь попадает из бункера в топку через две группы подающих клапанов. В карбонизаторном отделе полностью высушивается и продолжительное время карбонизируется при низкой температуре, постепенно преобразуясь в полукокс, откуда попадает в зону газификации, где полукокс при $t=600-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ реагирует с подаваемым через колосниковую решётку паровоздушной смесью. Пройдя через окислительную и восстановительную зоны внутри реактора, полукокс преобразовывается в золу, и автоматически удаляется запускающейся колосниковой решёткой через зольный поддон. Во время низкотемператур-

ной карбонизации выделяется пиролизный газ (газ карбонизации). Формирующийся в верхней части двухзонного реактора газ занимающий около 40% от общего количества газа имеет калорийность (1600 ккал/м^3) и температуру около $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ с большим количеством смолы. Этот вид смолы продукт низкотемпературной карбонизации, имеет хорошую текучесть, может улавливаться в электростатическом пылеуловителе и может быть использован в качестве химического сырья и топлива.

В зоне газификации горячий полукокс и паровоздушная дутьевая смесь посредством регенерации, окисления и прочих химических реакций преобразуется в газ, генераторный газ не содержащий продуктов пиролиза.

Образовавшийся в нижней части двухзонного реактора газ составляет примерно 60% от общего количества, имеет теплоту сгорания (1200 ккал/м^3) и температуру около $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так как топливо карбонизируется в зоне пиролиза при низкой температуре достаточное время, то поступая в зону газификации уже в виде полукокса, поэтому образовавшийся генераторный газ не содержит смолы, и в силу его близости с колосниковой решёткой и зольной подушкой содержит некоторое количество летучей золы. Поэтому нижний генераторный газ достаточно только пропустить через циклон и охладитель и можно использовать в технологиях производства ЖСТ или непосредственно на электрогенераторы.

На рисунке 4 представлена технологическая схема двухзонного газогенератора. Топливо подается в бункер ленточным транспортером, откуда забрасывается в реактор газогенератора, где уголь карбонизируется, после чего в полузакоксованном виде вступает в реакцию с паровоздушной смесью в зоне газификации. Полученный газ разделяется на две части, одна часть удаляется из двухзонного реактора через нижний газовый выход и циклон, а другая часть подается в центральный газопровод, где смешивается с карбонизированным угольным газом и выходит через верхний газовый выход. Газ из нижней части реактора в циклоне очищается от пыли и частично охлаждается. Далее он подается в камеру охлаждения для дальнейшего охлаждения. Газ из верхнего выхода подается в смолоуловитель (удаления смолы), а затем в камеру охлаждения и смешивается с газом из нижнего отдела. После смешивания и охлаждения газ попадает в газойлеуловитель (улавливание газойля).

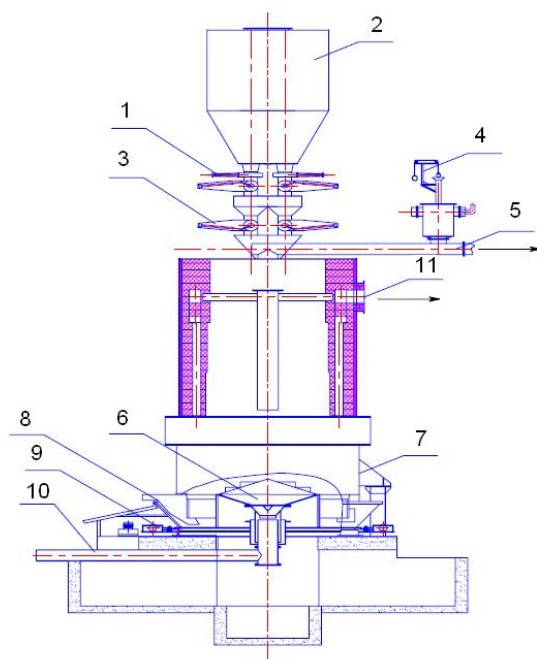


Рисунок 3 –

Схема газогенератора с
двойным отбором газа
типа SWM I-3,2G:

- 1- шиберный затвор;
- 2- бункер топлива;
- 3- двухкорпусное загрузочное устройство;
- 4- клапан выброса верхнего газа в атмосферу;
- 5- линия отвода верхнего газа;
- 6- колосниковая решётка;
- 7- охлаждаемая часть реактора;
- 7- чаша гидрозатвора;
- 8- выгребной нож;
- 9- шариковая опора;
- 10- линия подвода паровоздушного дутья

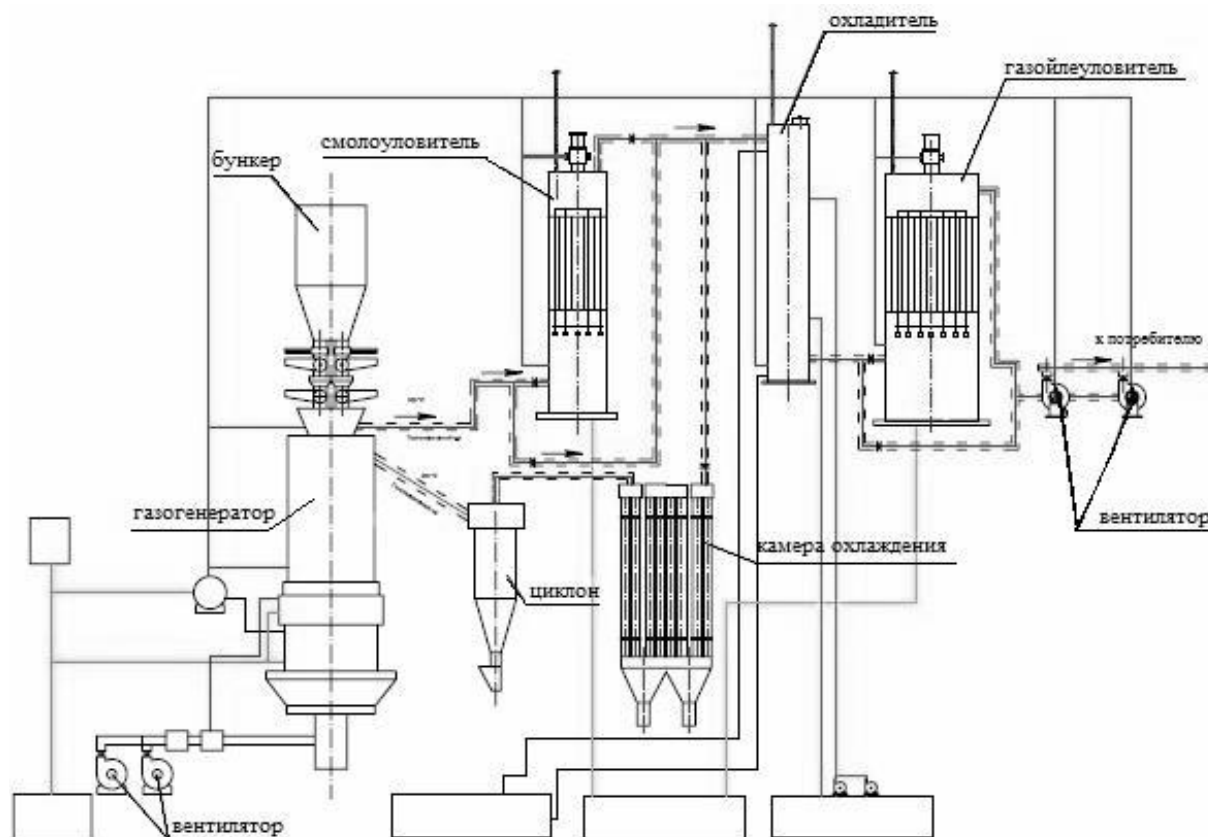


Рисунок 4 - Технологическая схема получения генераторного газа (при газификации угля)

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ
ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И
КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Модернизированный двухзонный газогенератор конструкции «НЭТ». Опыт авторов по исследованию и разработке технологии газификации углей [2-4], а также освоению способов брикетирования различных материалов с созданием соответствующего оборудования [5], позволяет предложить новую конструкцию двухзонного атмосферного газогенератора [6]. Разработанный в Инженерном центре «Новые Энергетические Технологии» (ООО «НЭТ») газогенератор, является моделью с диаметром реактора 3000-3200 мм. ООО «НЭТ» готово в течение полугода разработать рабочую документацию и наладить производство газогенераторов.

Особенностями газогенераторов конструкции ООО «НЭТ» являются:

- Отработанная на практике шлюзовая система загрузки топлива в реактор (барабанного питателя, порционера и шлюза), исключает проскок газов в топливный бункер и поддерживает давление в реакторе.
- Гидравлическое управление всеми приводами (вращения колосниковых решёток, барабанных питателей, порционеров и управления клапанами и пр.) всех механизмов производится от одной маслостанции.
- Оригинальная конструкция уплотнений нижней части газогенератора позволяющая поддерживать требуемое давление в нижней части реактора разработки ООО «НЭТ».
- В конструкции схемы отбора нижнего газа в качестве материала используется «карбид кремния».

В процессе более чем пятидесятилетней эксплуатации атмосферных газогенераторов с диаметром реактора 3000 мм на ГГС «Алтрака» были апробированы три типа колосниковых решёток. Наиболее хорошо себя показали колосниковые решётки Корелли, представляющие собой эксцентричную конструкцию в виде вытянутого лепестка, поэтому газогенераторы «НЭТ» оборудуются ими.

Газогенераторы с двойным отбором газа в технологической схеме ТЭЦ

На рисунке 5 приведена принципиальная схема мини-ТЭЦ электрической мощностью $N_{эл}=16$ МВт и тепловой мощностью $N_{тепл}=72$ Гкал/ч (5500 кВт), в том числе в виде перегретого (до 225 °С) пара – 49,5 Гкал/ч и горячей сетевой воды – 22,6 Гкал/ч.

Показатели технологической схемы газификации брикетов ТБО следующие: зольность брикетов - 19%; влага - 40 %; теплота сгорания - 1880 ккал/кг; калорийность газа - 1200-1300 ккал/м³; КПД газификации (отношение теплотворной способности газа и исходных брикетов) – 0,85; выход газа из 1 кг брикетов - 1,25 м³/кг; удельный расход воздуха на газификацию 1 кг топлива – 1,0 м³/кг; расход топлива – 28000 кг/ч; интенсивность газификации - 600 кг/(м²*ч); диаметр реактора – 3,20 м; КПД газового котла- 0,9; мощность (отпускная) газового котла - 49,48 Гкал/ч (57,55 МВт); КПД ГТУ – 0,30; мощность ГТУ эл. – 15700 кВт; мощность утилизатора ГТУ - 26160 кВт; число часов работы в год – 8000.

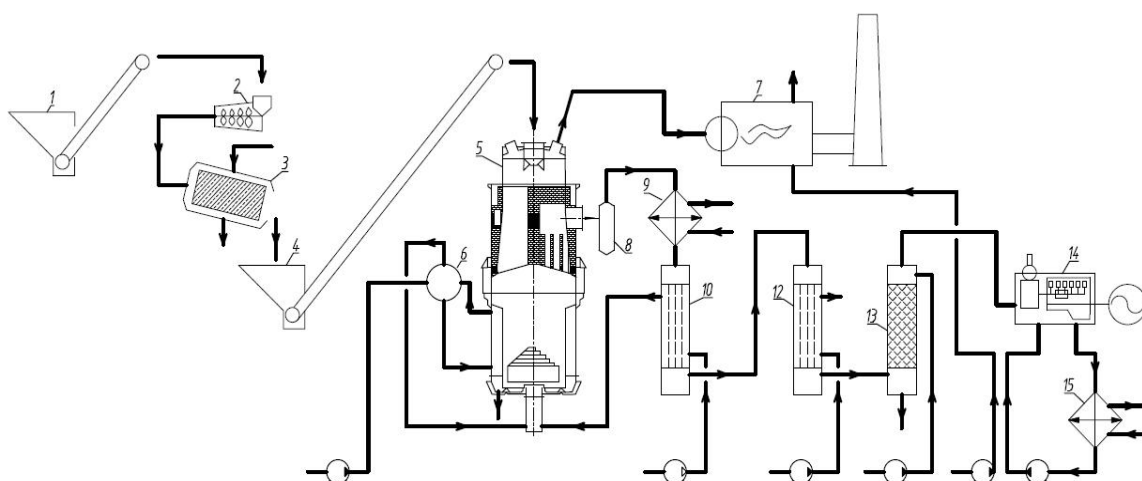


Рисунок 5 – Принципиальная схема мини-ТЭЦ:

1-4 – оборудование системы подготовки топлива; 5 – газогенераторы; 6 – паросборник газогенератора; 7 – паровой котёл; 8 – циклон, 9 – пароперегреватель, 10 – воздухоподогреватель, 12 – водяной холодильник, 13 – скруббер сероочистки, 14 – газотурбинная установка, 15 – сетевой теплообменник

Следует отметить, что представленная схема является укрупнённой и не показывает всех нюансов тепловых связей внутри мини-ТЭЦ. В целом, если рассматривать всё тепломеханическое оборудование ТЭЦ, то её можно разделить на следующие части:

- приём и хранение ТБО, топливоприготовление и топливоподача;
- газогенераторная часть;
- система очистки нижнего газа и утилизации его физического тепла • паровой котёл с его вспомогательным оборудованием;
- газотурбинная установка с компрессорным оборудованием и системой утилизации физического тепла выхлопных газов.

В тепловой схеме предлагаются следующие решения:

- В зависимости от диаметра реактора 3200 мм или 3600 мм количество газогенераторов, соответственно 13 или 10-11 шт. Но лучше ориентироваться на газогенераторы с диаметром реактора 3200 мм, так как они лучше отработаны в практическом смысле. Особенно в конструкции оптимальной формы колосниковой решётки, представляющей колосниковую решётку Корелли, в виде эксцентричной конструкции в форме вытянутого лепестка.

- Газ из верхнего отбора представляющая собой смесь пиролизного газа (газа карбонизации) и части газа из зоны газификации (из нижней части реактора) направляется без очистки в горячем виде в паровые котлы. При этом схема позволяет количественно варьировать соотношение верхнего и нижнего газов таким образом, чтобы постоянно поддерживать выработку пара в требуемом диапазоне. Принятая температура этой газовой смеси равная 300-450 °С превышает температуру верхнего газа, которая будет находиться в диапазоне 200-270 °С, за счёт подачи в котлы части более горячего нижнего газа.

- Газ нижнего отбора, представляющий собой относительно чистый, бессмольный газ из зоны газификации, имеет более высокую температуру. Его температура будет сильно зависеть от температурных характеристик дутьевой смеси и плавкостных и шлакоулавливающих характеристик минеральной части газифицируемых брикетов. Кроме того, эта температура в какой-то степени может лимитироваться огнеупорностью материалов газопроводов до первой ступени охлаждения газа.

В любом случае, чем выше нам удастся держать температуру в зоне газификации,

исключая режимы зашлаковки, тем выше будет качество газа.

- Выбранное соотношение верхнего и нижнего газов (55 % против 45% соответственно), определяемое режимом выработки тепловой энергии в виде пара, скорее всего позволит эффективно работать в схеме охлаждения нижнего газа только воздухоподогревателю. Основной подогреватель питательной воды (водяной экономайзер) для паровых котлов придётся ставить в схеме утилизации тепла выхлопных газов ГТУ. Однако, ступень водяного экономайзера в схеме охлаждения нижнего генераторного газа должна быть на случай незапланированных или плановых остановов ГТУ.

- В тепловой схеме теплоэлектростанции будет в наличии физическое тепло выхлопных газов ГТУ, утилизация которого здесь практически не рассматривается, за исключением снятия около 10 Гкал тепла на подогрев питательной воды. Вообще, при проектировании вопросы максимально полного и оптимального утилизирования всех отходящих тепловых потоков должны быть отражены достойным образом.

Состав верхнего и нижнего газа

Точный состав верхнего газа спрогнозировать по имеющимся данным пока невозможно. Более-менее можно определить состав лабораторным путём в процессе исследований уже полученных брикетов, которые мы будем иметь только после определения оптимальной технологии брикетирования и оптимального состава связующих материалов.

Нижний газ – это отводимый из активной зоны (зоны газификации полукокса) газ практически не содержащий смольных компонентов и метана. Весь метан, высвободившийся в процессе пиролиза топлива, уходит в верхнем газе. Ожидаемый расчётный состав нижнего газа являются следующим: CO – 29-31 %; H₂ – 15-17 %; CO₂ – 2-3 %; N₂ – 47-49 %; C_nH_m – 0 %; O₂ – 0-0,4 %. Теплота сгорания – 1300 ккал/нм³.

Охрана окружающей среды

Выбросы из газогенераторной части

- В рабочем режиме выбросы в атмосферу отсутствуют.
- Жидкие отходы – отсутствуют.
- Твердые отходы газификации (очаговые остатки – зола, шлак) в количестве примерно 25 т/ч.

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Выбросы из системы очистки нижнего газа

- Выбросы в атмосферу отсутствуют.
- Жидкие отходы – отсутствуют.
- Твердые отходы – отсутствуют.

Выбросы из паровых котлов

Каждая энерготехнологическая установка предназначенная для непосредственного сжигания ТБО, кроме топки, включает в себя расположенные за ней последовательно по ходу газов котел-утилизатор, циклон, абсорбер, в котором распыливают известковое молоко, узел подачи реагентов для улавливания ПХДД/ПХДФ и ртути, рукавный фильтр и дымосос. В [1] было отмечено, что в процессе испытаний были измерены также концентрации некоторых компонентов вредных веществ в неочищенном газе (после котла), образующиеся при сжигании ТБО, которые затем сравнивались с характерными величинами, полученными на подобных зарубежных установках. Было установлено, что высокая температура и избыток окислителя в котле обеспечивают достаточно полное преобразование утилизируемых ТБО в устойчивые продукты окисления; концентрация регламентируемых вредных веществ в неочищенных газах находится на уровне зарубежных аналогов, а по HCl , HF и SO_2 даже несколько ниже. Таким образом, выбранные в процессе наладочных испытаний режимы термической переработки ТБО позволяют обеспечить после дополнительной газоочистки экологически приемлемые выбросы вредных веществ в атмосферу, соответствующие нормативным значениям, установленным Директивой ЕС по сжиганию отходов [7].

В целом, выбросы в атмосферу из паровых котлов при сжигании генераторного топлива будут рассчитаны в теме ОВОСа при проектировании. Однако, учитывая, что основным топливом сжигаемым в паровых котлах будет низкокалорийный генераторный газ, то можно уверенно сказать, что по таким компонентам, как NO_x и твёрдые вещества выбросы в атмосферу будут значительно ниже регламентируемые ГОСТом [8].

Выбросы из ГТУ

Согласно данным завода-изготовителя ОАО «Мотор Сич» содержание оксидов азота NO_x и окиси углерода CO в отработанных газах газотурбинной трёхвальной электростанции, работающей на магистральном газе при нагрузке от 0,5 до 1,0 номинальной (при объемной концентрации $O_2=15\%$) находятся в пределах 150-300 мг/м³.

Установка по производству СЖТ из продуктов газификации твердого топлива Кратко о технологии GTL

Ресурсы низкосортного твёрдого топлива можно перерабатывать, используя газохимические технологии GTL (международное обозначение «Gas to Liquids» - газ в жидкость) в «синтетическую нефть» и жидкое синтетическое моторное топливо стандарта Евро-4 и Евро-5.

В настоящее время технологии GTL стремительно развиваются за рубежом. К 2015 г. корпорация «Shell» прогнозирует увеличение доли синтетического моторного топлива до 15% от его мирового производства. В 2006 г. создана ассоциация «ASFE», объединяющая автопроизводителей «DAIMLER-CHRYSLER», «RENAULT», «VOLKSWAGEN» и нефтегазовые корпорации «SHELL» «CHEVRON-SASOL» с целью широкомасштабного внедрения синтетического моторного топлива на автомобильном транспорте. Ведут испытания и сертификацию авиационной техники гражданского и военного назначения на синтетическом авиационном керосине компании «AIRBUS», «BOEING» и BBC США, компания «SASOL» заправляет сертифицированным полусинтетическим (с 50% содержанием синтетического керосина) авиационным керосином воздушные суда в пределах ЮАР.

Однако газохимические технологии компаний «Shell», «Shevron», «Sasol» и др. зарубежных компаний неприемлемы для России, так как предусматривают капитальное строительство заводов с высокой стоимостью и окупаемостью свыше 10 лет.

Известно, что основными компонентами участвующими в синтезе синтетической нефти в реакторе Фишера-Тропша (ФТ) с жидкими катализаторами (slurry process) являются водород и монооксид углерода. Все остальные компоненты синтез-газа в реакциях не участвуют и в газообразном виде покидают реактор. При этом первым этапом является получение компонентов CO и H_2 , который может быть различным – паровой риформинг попутных нефтяных газов или просто природного газа, газификация практически всех видов твёрдого топлива и пр.

Трёхфазный процесс синтеза ФТ (сларри-процесс), обладает следующими достоинствами:

- 1) великолепный отвод тепла из реактора;
- 2) возможность переработки синтез-газа с высоким содержанием CO .

Примерный состав синтез-газа (нехватку водорода можно заменить паром и тогда синтез пойдет по методу Кельбела-Энгельгардта) следующий:

- соотношения $CO:H_2$ - 1:1; 2:1; 1,24:1.
- 3) устойчивость процесса к реакции Бундара;
- 4) возможность использования низкотемпературного синтез-газа;
- 5) простота изготовления реакторов, выполненных из обычной углеродистой стали;
- 6) технологическая гибкость и быстрая перенастраиваемость производства;
- 7) возможность совмещения синтеза с процессом гидрокрекинга;
- 8) возможность непрерывной замены катализатора с его регенерацией.

Реакции синтеза:

- **синтез парафиновых углеводородов**

$$n\text{CO} + (2n+1)\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n\text{H}_2\text{O}$$

$$(\Delta H_{500} = -165 \text{ кДж/моль CO});$$

$$2n\text{CO} + (n+1)\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n\text{CO}_2$$

$$(\Delta H_{500} = -155 \text{ кДж/моль CO});$$
- **синтез олефиновых углеводородов**

$$n\text{CO} + 2n\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n} + n\text{H}_2\text{O}$$

$$(\Delta H_{500} = -165 \text{ кДж/моль CO});$$

$$2n\text{CO} + n\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n} + n\text{CO}_2$$

$$(\Delta H_{500} = -155 \text{ кДж/моль CO});$$
- **сопутствующая реакция**

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$$

($\Delta H_{500} = -40 \text{ кДж/моль CO}$);
- реакция Будуара (пиролиза CO)
 $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$
($\Delta H_{500} = -67 \text{ кДж/моль CO}$).

Специалистами ведущих профильных НИИ России и группы компаний «Ренфорс-НТ» разработаны технологии, отработаны на опытной установке режимы производства «синтетической нефти» из синтез-газа и разгонки её в жидкое синтетическое моторное топливо (СЖТ) в относительно небольших блочно-модульных комплексах. При этом относительно малая стоимость оборудования и небольшие сроки его окупаемости должны привлечь в эту отрасль предприятия малого и среднего бизнеса.

Процесс конверсии твёрдого топлива в жидкое проводится на паровоздушном дутье, без использования станции разделения воздуха, что существенно удешевляет проект. Потребности в паре практически полностью покрываются «собственным» паром – из топлива.

Установка по производству СЖТ

На рисунке 6 представлена схема производства СЖТ из синтез-газа выработанного в трёхзонных газогенераторах обращённого процесса работающих на рядовом каменном угле марки Г Дальне-Буланашского месторождения.

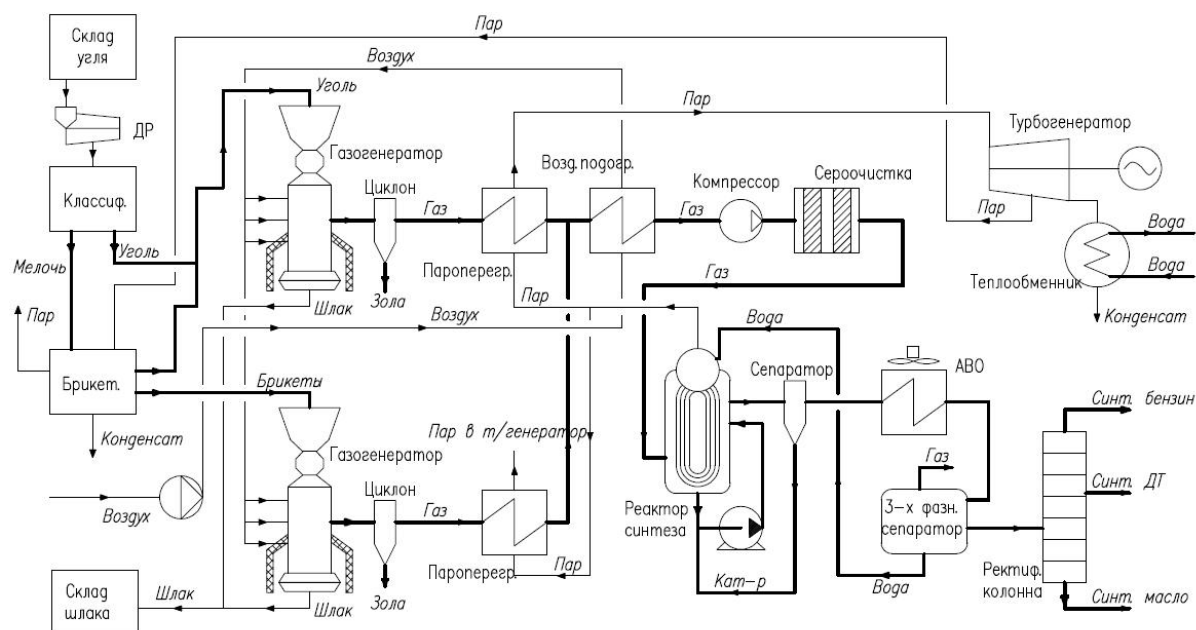


Рисунок 6 - Схема производства СЖТ из рядового каменного угля

Энергетическая часть показанной схемы не оборудована дополнительным паровым котлом, поэтому вырабатываемые в паровин-

товых машинах (ПВМ) 500 кВт электроэнергии будут полностью использоваться на собственные нужды завода, покрывая их на 80-

ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

100%. Основным энергопотребителем Установки является газовый компрессор.

Краткое описание процесса

Исходный синтетический газ, охлажденный и очищенный от серы, сжимается компрессорами до давления $14,5 \text{ кг/см}^2$ (бар) и подается в реактор синтеза, представляющий собой вертикальную барботажную колонну с U-образным теплообменником (Рисунок 6).

Процесс синтеза происходит на суспензированном железном катализаторе при давлении 12 кг/см^2 и температуре 270°C .

Средняя линейная скорость суспензии в реакторе $0,5 \text{ м/с}$.

Энергетическая часть показанной схемы не оборудована дополнительным паровым котлом, поэтому вырабатываемые в паровинтовых машинах (ПВМ) 500 кВт электроэнергии будут полностью использоваться на собственные нужды завода, покрывая их на $80-100\%$. Основным энергопотребителем Установки является газовый компрессор.

Удельная площадь поверхности теплообмена реактора $50 \text{ м}^2/1000 \text{ м}^3$ синтез-газа*ч.

В качестве катализатора используется более дешёвый осажденный железный катализатор с промоторами, восстановленный непосредственно в реакторе в токе синтез-

газа с концентрацией железа $78-82 \text{ г/л}$ в пересчете на активный металл. Срок службы катализатора до регенерации – 2000 ч , его потери при регенерации составляют примерно 10% . Таким образом, можно считать, что полная замена катализатора в объеме оборотной суспензии (реакторного раствора) происходит через 20000 часов эксплуатации реактора. Примерная стоимость катализатора на рынке составляет 20 долларов США за 1 кг . При объеме суспензии 20 м^3 , количество катализатора одновременно находящегося в обороте составляет примерно 1600 кг .

При начальных пусковых работах в качестве оборотного раствора используется турбинное масло, затем по мере эксплуатации оно начинает вытесняться, постепенно заменяя весь объем, парафином. Объем отбираемого парафина из оборота составляет примерно 2% объема выдаваемой конечной продукции. При мощности Установки 5 тыс. тонн СЖТ в год ежегодное производство парафина составит 100 т .

Паропроизводительность катализатора по синтез-газу – $5,3 \text{ м}^3/1 \text{ кгFe}^*\text{ч}$.

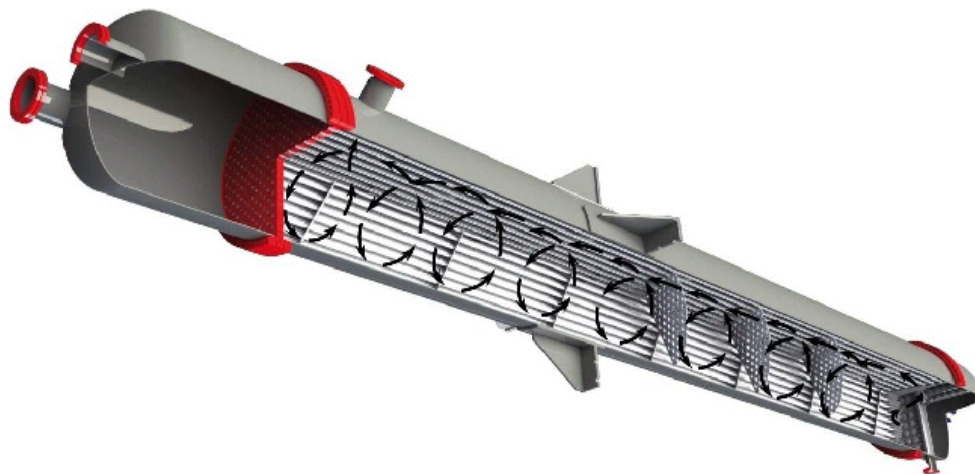


Рисунок 7 - Принципиальная конструкция барботажного реактора

Далее продукты реакции разделяются в сепараторе от остатков катализаторной суспензии и направляются в теплообменник.

Охлажденные продукты разделяются в трехфазном сепараторе на отправляемую на факел газовую фазу (N_2 , CO_2 , CH_4), жидкую углеводородную фазу (дизельно-керосиновые фракции) и воду.

Фракции C_2O и выше, имеющие более высокую температуру выкипания, удаляются

вместе с катализатором из колонны и разделяются в центрифуге.

Катализатор возвращается в колонну (реактор), а продукты накапливаются в емкостях.

Данная схема позволяет:

- исключить из процесса водоподготовку;
- не допустить возникновения реакции «Будуара» (образование кристаллического углерода-сажи на поверхности катализатора

при повышенном содержании СО в смеси синтетического газа);

- позволяет вести регенерацию катализатора в процессе работы реактора.

В процессе реакции выделяется избыточное тепло равное 25% от теплотворной способности общего количества участвующего в реакции газа.

Очистка синтез-газа от сернистых соединений

Наиболее важным компонентом очистки генераторного синтез-газа является его полная очистка от сернистых соединений, в основном от сероводорода. Катализаторы процесса очень чувствительны даже к минимальнейшему содержанию серы, поэтому, в отличие от генераторного газа для ГПЭС, где допускается содержание сероводорода до 200 мг/м^3 , синтез-газ должен иметь нулевое серосодержание.

При содержании H_2S на выходе более 200 мг/м^3 Установка оборудуется двухступенчатой системой сероочистки:

- блоком первичной очистки газа от сернистых соединений с содержанием H_2S на выходе $\leq 0,02 \text{ г/нм}^3$.
- блоком тонкой очистки газа от сернистых соединений с содержанием H_2S и меркаптанов на выходе - 0 г/нм^3 .

В качестве абсорбента на установке очистки газа используется водный раствор моноэтаноламина с массовым содержанием 17 %. Для приготовления рабочего раствора используется технический моноэтаноламин и пароконденсат. Показатели качества моноэтаноламина в соответствии с ТУ 6-02-915-84.

Качество синтетического жидкого моторного топлива

Полученная из синтез-газа на лабораторной установке «Ренфорс-НТ» синтетическая нефть была исследована в институте «ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ». На рисунках 8 и 9 представлены хроматограмма синтетического топлива и кривая его разгонки.

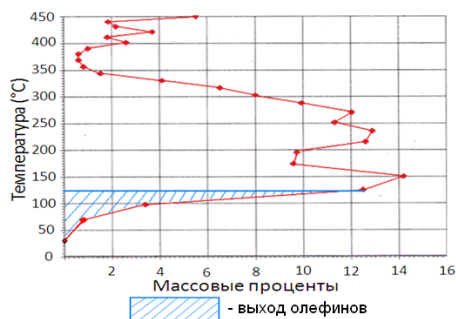


Рисунок 8 - Кривая разгонки синтетической нефти

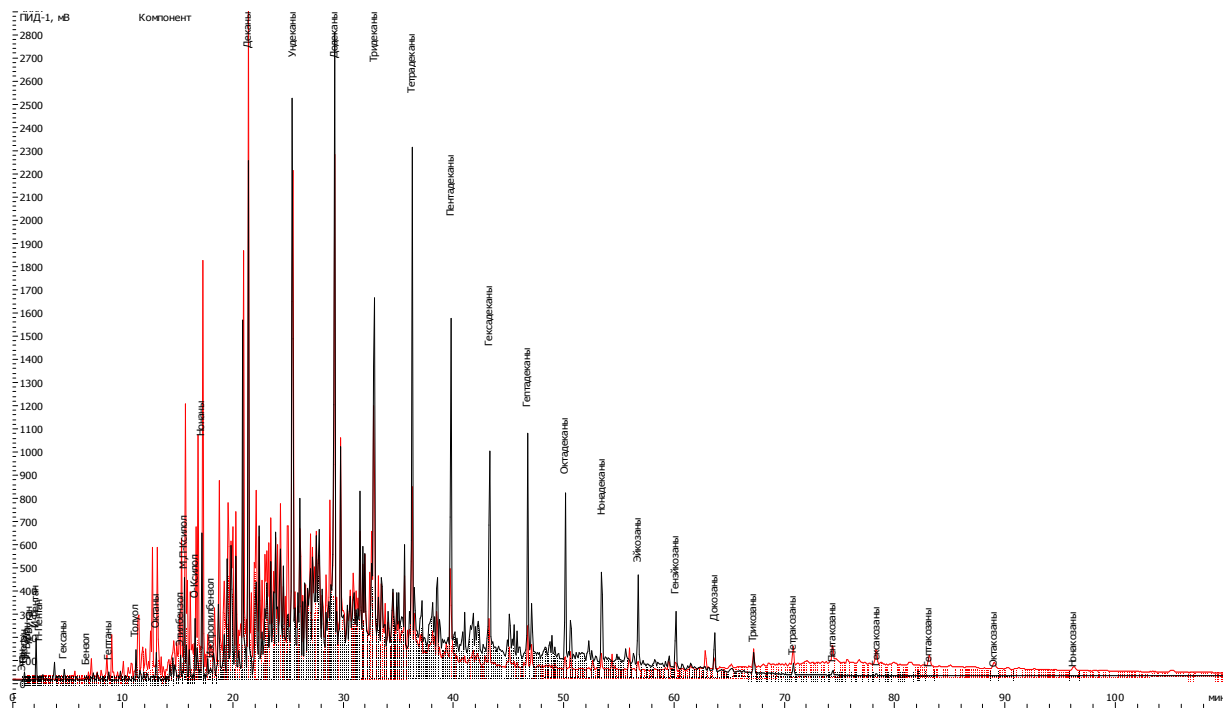


Рисунок 9 - Хроматограмма синтетического топлива в сравнении с зимним дизельным топливом (красные штрихи - «синтетическая нефть», черные - дизельное зимнее топливо)

**ПОДГОТОВКА И ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ДВУХЗОННЫХ
ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ МИНИ-ТЭЦ И
КОМПЛЕКСОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ**

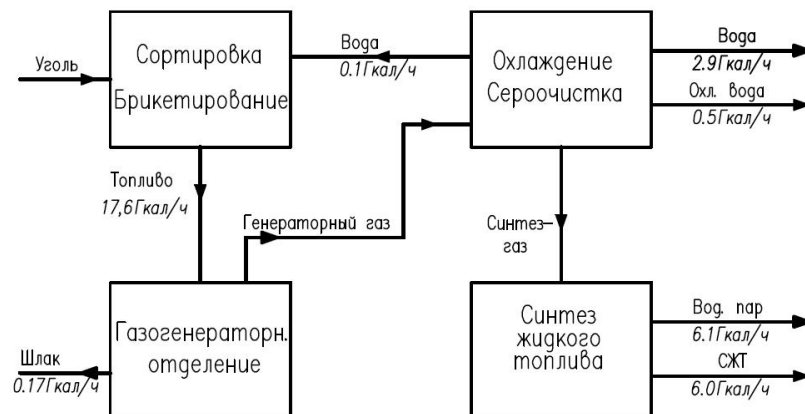


Рисунок 10 - Схема теплового и массового баланса

Таблица 1 - Технические характеристики и
сводный тепловой баланс комплекса

Наименование	Единица измер.	Величина
Газ	нм3/ч	8500
Коефф. использования оборудования	-	0,85
Выход газа	нм3/кг	2,75
Расход угля	кг/ч (т/сут) м3/сут т/год	3091 (74,2) 124 23015
Теплота сгорания угля	ккал/кг	5501
Расход воздуха	нм3/ч нм3/мин	5111 85,2
CO	%	27,0
H2	%	15,0
CO2	%	7,8
CH4	%	2,5
N2	%	47,5
C+	%	0,2
Итого	%	100,0
Плотность газа	кг/нм3	1,118
Теплота сгорания газа	ккал/нм3	1436
Добавка водяного пара	г/нм3	50
Выход СЖТ	%	80,1
Количество СЖТ	кг/ч кг/сут т/год	681 16340 5070
Удельный расход угля	кг/кг СЖТ	4,54
Зольность	%	21,0
Выход шлака с горю- чими 20 %	кг/ч т/сут	811 19,5
Сводный тепловой баланс		
Приход		
Уголь	Гкал/ч	17,003
Дутье горячее	Гкал/ч	0,575
Итого	Гкал/ч	17,578
Расход		
Теплота шлака	Гкал/ч	0,170
Дутье горячее	Гкал/ч	0,575
Теплота с охл. водой Х-1	Гкал/ч	2,905

Теплота с охл. водой Х-2	Гкал/ч	0,511
Теплота реакции син- теза	Гкал/ч	6,128
Теплота СЖТ	Гкал/ч	6,060
Теплота на подогрев угля	Гкал/ч	0,055
Потери	Гкал/ч	0,085
Итого	Гкал/ч	16,488
Дебаланс	Гкал/ч %	1,089 6,2

Был выполнен комплекс исследований, на основании которых были сделаны следующие выводы:

- Полученное синтетическое топливо содержит 20 % бензиновых фракций с пределом выкипания до 180°C (которые включают в себя 8 % легких α-олефиновых фракций с октановым числом более 90.

Поэтому, можно предположить, что общее октановое число бензиновых фракций будет не менее 80.

- Дизельные фракции с пределом выкипания от 180 до 350 °С составляют 70 % и обладают цетановым числом выше 55. Поскольку данная фракция не содержит серы ее можно отнести к топливу класса ЕВРО4-ЕВРО5.

- Оставшееся 10% синтетическое топливо с пределом выкипания выше 350 °С является синтетическим маслом.

Экология производства ЖСТ

Выбросы из газогенераторной части

- В рабочем режиме выбросы в атмосферу отсутствуют. При пусках газогенератора, до достижения газа требуемой кондиции, газ направляется в топку котла, где дожигается вместе с углем.

- Жидкие отходы – отсутствуют.
- Твердые отходы газификации – очаговые остатки (зола, шлак). Количество отходов – зольная часть газифицируемого угля в количестве 700-800 кг/ч.

Выбросы из системы очистки

- Выбросы в атмосферу отсутствуют.
- Принимаем, что жидкие отходы – отсутствуют. Используемая щелочная вода в системе сероочистки является оборотной. Периодически удаляемый осадок твердых веществ из бака высушивается и сжигается в котле вместе с углем.

- Твердые отходы – отсутствуют. Зольно-пылевой унос из газогенераторов улавливаемый в прямоточном циклоне и газоохладителе дожигается вместе с углем в котле.

Выбросы из модуля производства ЖСТ

- На данном этапе принимаем, что выбросы в атмосферу отсутствуют. Хотя фактически определённые выбросы будут существовать, в основном удаляемый из синтез газа (из трёхфазного сепаратора) – азот. Выделяющаяся газовая смесь (N_2 , CO_2 , CH_4), направляется на факел для отдельного дожигания – оптимальное решение принимается при проектировании.

- Жидкие отходы – отсутствуют. Отделяемая из трёхфазного сепаратора вода представляет собой дистиллат, который используется в Установке для подпитки пароводяного контура «газогенераторы-котёл».

- Твердые отходы – отсутствуют. Возможные периодически удаляемые осадки твердых веществ из сосудов должны подсушиваться и сжигаться в котле вместе с углем.

Тепловой и массовый баланс комплекса по производству СЖТ

Схема теплового и массового баланса предлагаемого комплекса по производству СЖТ приведена на рисунке 10, а в таблице 1 приведены его основные технические характеристики и сводный тепловой баланс. Поскольку эти расчеты носят предварительный характер, то точность сводного баланса не слишком велика около 6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тугов А.Н. Опыт ВТИ по сжиганию твердых бытовых отходов в слоевых топках / А.Н. Тугов, А.Г. Тумановский, В.Ф. Москвичёв // Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива». Новосибирск. 2012. С. 98.1-98.8.

2. Загруддинов Р.Ш., Нагорнов А.Н., Сеначин П.К. Наладочные испытания газогенераторов Лурги и перспективы газогенераторных технологий // *Ползуновский вестник*.- 2007.- № 3.- С. 40-47.

3. Загруддинов Р.Ш., Нагорнов А.Н., Сеначин П.К., Шитова С.Н. Показатели работы газогенератора Лурги при парокислородном и паровоздушном дутье // *Ползуновский вестник*.- 2008.- № 4.- С. 28-33.

4. Загруддинов Р.Ш., Малахихин Д.Г., Сеначин П.К. Дозирование паровоздушного и парокислородного дутья в газогенераторах плотного слоя // *Ползуновский вестник*.- 2012.- № 3/1.- С. 34-39.

5. Никишанин М.С., Сеначин П.К. Углеродосодержащие брикеты на разных связующих веществах, их теплофизические характеристики и использование в газогенераторах // *Ползуновский вестник*.- 2009.- № 1-2.- С. 305-311.

6. Загруддинов Р.Ш. Подготовка твердых бытовых отходов и их газификация в двухзонных газогенераторах прямого процесса / Р.Ш. Загруддинов, В.Н. Негуторов, Д.Г. Малахихин, М.С. Никишанин, П.К. Сеначин, С.А. Филиппченко // Теплофизика и энергетика: Конференция с международным участием «VIII Всероссийский семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике» (Екатеринбург, 12-14 ноября 2013 г.) / Сборник докладов (681 с.).- Екатеринбург, УрФУ, 2013.- С. 249-256.

7. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on incineration of waste // *Official Journal of European Communities*, 28.12.2000.- P. 332/91-332/111.

8. ГОСТ Р 50831-95. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. Госстандарт России. М., 1996.

Загруддинов Р.Ш.¹, к.т.н., главный инженер,
e-mail: ravzag@yandex.ru,

Негуторов В.Н.¹, ведущий инженер,

Малахихин Д.Г.², аспирант,

Сеначин П.К.^{2, 5}, д.т.н., проф.,

профессор каф. ДВС,

ведущий научный сотрудник,

e-mail: senachinpk@mail.ru,

Никишанин М.С.³, главный конструктор,

Филиппченко С.А.⁴, главный конструктор;

¹ООО «НЭТ», Рязань,

²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул

³ООО «Брикетные технологии», Барнаул,

⁴ЗАО «Ренформс-НТ», Самара,

⁵Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск.