

УДК 621.311

ГАЗИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОПЛИВ И БИОМАСС

Ефимов Н.Н., Федорова Н.В., Миргородский А.И., Коломийцева А.М.

*Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)*

В последние годы для сжигания как традиционных топлив, так и биомасс различного происхождения широко применяются газификационные технологии. Газификация чаще всего производится в кипящем слое при недостатке окислителя. Конструкции установок по газификации различных топлив отличаются, но не принципиально. Также близкими оказываются и параметры генераторного газа. Необходимо развитие установок и технологий по совместной переработке различных топлив.

1. Способы сжигания и газификации традиционных топлив

В настоящее время к традиционным органическим топливам относят газ, мазут, каменные и бурые угли, горючие сланцы, торф. Нетрадиционными топливами являются биомассы растительного и животного происхождения, в том числе отходы переработки органического сырья.

Традиционными методами сжигания твердых топлив являются слоевое, факельно-слоевое и факельное сжигание в котлах. При этом крупность помола частиц и недожег последовательно уменьшаются, а интенсивность горения увеличивается [7].

При слоевом сжигании твердого топлива куски размером до нескольких сантиметров подаются на решетку, продуваемую воздухом. Достоинство слоевого сжигания – простота подготовки и подачи топлива. Недостаток метода – низкая паропроизводительность.

Технология факельного сжигания топлива активно развивалась в 50-е годы прошлого века. Помол топлива производится до размера частиц в несколько микрон, и пылевоздушная смесь подается в горелки. Основные достоинства факельного сжигания [7]: возможность сжигания любого вида топлива с высоким КПД; высокая мощность котлоагрегатов; и др. Недостатки факельного сжигания: химический и механический недожег (в совокупности до 15-25%); сложный процесс подготовки топлива; высокая степень выбросов летучей золы, оксидов серы и азота. Как при слоевом, так и при пылеобразном сжигании топлива темпера-

туры в топке достигают 900-2000⁰С и выше, а также предусмотрена дополнительная подача воздуха фурмами второго и третьего ярусов для более полного выгорания топлива.

Топки с кипящим (псевдоожженным) слоем занимают промежуточное положение между слоевыми и факельными топками. Эта технология начала развиваться в 60-е годы прошлого века. Частицы топлива размером в несколько миллиметров подаются на решетку, на которую снизу подводится воздух. При определенной скорости воздуха слой взвешенных твердых частиц в восходящем потоке воздуха приобретает свойства жидкости (вязкость, текучесть, поверхностное натяжение). Разновидности кипящего слоя – стационарный, циркулирующий, с безмазутным плазменным воспламенением угольной пыли. Достоинства кипящего слоя: высокий коэффициент теплопередачи; компактность топочного устройства; низкие температуры сгорания (около 850⁰С), которые способствуют снижению выбросов оксидов азота; возможность эффективного сероулавливания с применением небольшого количества известняка в смеси с топливом; возможность сжигания низкорреакционных углей.

Сжигание угля в кипящем слое происходит в два этапа: газификация и дожигание. *Газификация топлив* [4,14] – производство генераторных газов из углей, мазута, сланцев, торфа, и др. Наличие окислителя при газификации топлив рассматривается как обязательное условие. Коэффициент избытка воздуха при

сжигании топлива $\alpha = 1,02 \div 1,2$, а при газификации топлива $\alpha \cong 0,5$. Для дожигания топлива предусмотрена дополнительная подача воздуха. Сжигание угля в установках с кипящим слоем относят к низкотемпературной газификации углей. Наряду с этим в последнее время развиваются методы высокотемпературной газификации [17], когда нижняя часть топки котла представляет собой камеру аэрошлакового расплава, в которую ниже уровня жидкого шлака подается пылевоздушная смесь. Температура в камере расплава выше температуры плавления угольного шлака (1400-1500⁰С). Основное достоинство высокотемпературной газификации – жидкое шлакоудаление сопровождается низким выходом летучей золы и открывает широкие возможности переработки шлака, недостаток же заключается в том, что для поддержания высокой температуры шлакового расплава необходима замена части воздуха, подаваемого в камеру расплава, на чистый кислород.

С начала XX века периодически проводились опыты по подземной газификации углей [9]. Закачивая в угольные пласты воздух под давлением в несколько атмосфер, на выходе получают газ, основным горючим компонентом которого является СО. Удельная теплота сгорания получаемого газа, составляет от 2 до 8 Мдж/м³, в то время как теплота сгорания природного газа, основным компонентом которого является метан, около 40 Мдж/м³.

Топочные устройства на газомазутном топливе разнообразны и более маневренны. При сжигании природного газа очень низкий выход оксидов азота, однако, происходит образование оксида ванадия V₂O₅, который является коррозионно активным. При сжигании сернистого мазута резко повышается выход оксидов серы. Жидкое топливо также может быть газифицировано при недостатке кислорода для полного окисления углеводородного сырья.

Способы утилизации биомасс. Газификация биомасс

Биомассы – это твердые и жидкие углеводородосодержащие бытовые и промышленные отходы, а также специ-

ально производимые продукты (дрова, древесина быстрорастущих кустарников).

Энергетический потенциал биомасс огромен. Один человек в сутки производит 0,5-3 кг бытовых и промышленных отходов, из которых можно получить 0,00125-0,5 м³ биогаза [5,6,15]. Количество получаемого биогаза зависит от вида отходов и от технологии их переработки. Но при переработке биомасс в настоящее время на первый план выступают не вопросы использования их энергетического потенциала, а вопросы утилизации. Традиционные способы утилизации биомасс: захоронение на полигонах; прямое сжигание без утилизации и с утилизацией тепла; сушка, брикетирование; использование в качестве удобрений; добавки в корм скоту; переработка с целью получения твердого и жидкого топлива; переработка с целью получения биогаза. Получение горючего биогаза из биомассы в настоящее время производят путем ферментации, сбраживания (аэробного или анаэробного), сублимации или пиролиза.

К биомассам должно быть применено более широкое определение газификации, нежели рассмотренное выше. *Газификация биомасс* – это получение газа из твердого и жидкого исходного сырья. При газификации только часть исходного сырья переходит в газообразную форму, возможно, с изменением химического состава, под воздействием высоких температур, катализаторов и других физических, химических и биологических воздействий.

Ферментация [16,18] – химический либо биохимический процесс преобразования биомассы под воздействием ферментов, т.е. биохимических катализаторов, которые могут ускорять процессы как ассимиляции, так и диссимиляции органических соединений. В качестве ферментов используются амилазы для расщепления крахмала, протеазы для расщепления белков и т.д. В результате ферментации образуется горючий газ, содержащий в различных пропорциях СО, СО₂, О₂, Н₂, N₂, Н₂S, Н₂О, СН₄, С_nН_m и т.д.

Сбраживание – биохимический процесс, который осуществляется

благодаря деятельности живых организмов – грибов, бактерий, личинок мух и т.п. [22]. Некоторые авторы рассматривают сбраживание как разновидность ферментации, когда ферменты имеют биологическую природу. В результате сбраживания образуется газ, содержащий горючие и негорючие компоненты, в том числе спирты $C_nH_{2n+1}OH$ (спиртовое сбраживание). Для протекания процессов ферментации и сбраживания необходимо поддержание определенных температуры (20-60°C) и влажности (до 95%) сырья.

Сублимация (возгонка) [14] – это переход вещества из твердого в газообразное состояние, минуя стадию жидкости. Происходит при температурах ниже температуры тройной точки. Для сублимации к веществу необходимо подвести энергию, называемую теплотой сублимации. Сублимация представляет собой физический процесс и не сопровождается изменениями химического состава.

Пиролиз [5,6] – химический процесс разложения исходного сложного соединения на более простые составляющие под воздействием высоких температур (300-850°C) и в отсутствие окислителя. Пиролиз в присутствии водяных паров называют гидропиролизом. В результате пиролиза могут быть выделены твердые, жидкие и газообразные при нормальных условиях вещества, согласно обобщенной формуле [5]: $BM + \text{тепло} = C$ (углистое вещество) + смолы + $CO + CO_2 + H_2 + H_2O + CH_4 + C_nH_m$. Газообразные продукты пиролиза представляют газ, содержащий $CH_4, CO, H_2, Q_H^P = 15-22 \text{ МДж/нм}^3$, выход до 70% от массы сухого сырья при высокотемпературном быстром пиролизе. КПД пиролиза составляет 80-90%.

Все рассмотренные процессы получения биогаза из органического сырья можно разбить на стадии: предварительная подготовка биомасс с использованием низкопотенциального тепла; получение биогаза; сжигание биогаза и получение высокопотенциальной тепловой энергии и электроэнергии; утилизация вторичных отходов.

Переработка твердых бытовых отходов

Удельная теплота сгорания мусора составляет 9,5-11,6 МДж/кг, в перспективе до 16 МДж/кг. Городские отходы содержат

50-75% органических веществ. Сжигание ТБО, как и угля, может производиться слоевым способом, но содержание вредных веществ в уходящих газах после топок с кипящим слоем существенно ниже.

Установки с кипящим слоем, предназначенные для сжигания ТБО, имеют следующие модификации [10,19,23-29]: с пузырьковым (стационарным) кипящим слоем; с циркулирующим кипящим слоем (с внешней или внутренней циркуляцией) (ЦКС); с вихревым кипящим слоем. Для создания кипящего слоя при сжигании ТБО используется твердый инертный материал, как правило, песок или галечник. При этом скорости воздуха, подающегося на сжигание, последовательно возрастают от 1,5 до 5 м/с, а теплонапряжение поверхности слоя возрастает от 2 до 7 МВт/м². В топках с пузырьковым и циркулирующим кипящим слоем возможно сжигать биомассу только после ее тщательной подготовки (сепарация, измельчение, гомогенизация). Частицы топлива и зола уноса на выходе из топки осаждаются в циклонах и возвращаются на дожигание в нижнюю часть топки.

Установки для переработки ТБО с вихревым кипящим слоем получили наибольшее распространение с начала 80-х годов. Преимущество таких топок заключается в их способности сжигать ТБО с минимальной подготовкой, измельченные до фракций 200-300 мм. Кипящий слой создается воздухом, который подается через скошенную сопловую решетку. Скорость воздуха увеличивается по направлению вниз вдоль решетки, что в сочетании с формой стенок топки создает циркуляцию слоя. КПД таких установок составляет 86-99,8%.

Горючий газ дает и захороненный в земле мусор. Пробуренные в местах старых полигонов скважины соединяют коллектором из поливинилхлоридных труб. Состав получаемого газа (по данным французских исследователей): 63,4% CH_4 , 36,5% CO_2 , 0,1% N_2 . Из 1 т захороненного бытового мусора можно получить 135 м³ биогаза.

Переработка отходов растениеводства

Отходы растениеводства являются ежегодно возобновляемыми видами топлива, производство которых превышает 100 млн. т в год [2,3,8]. Отходы растениеводства сжигают как в плотном слое, так и в кипящем (псевдоожигенном) – стационарном и циркулирующем. Основными недостатками отходов растениеводства как топлива являются переменная влажность (до 17%) и неравномерное псевдоожигение. В то же время, они обладают низкой зольностью – до 3,1%, и высокой теплотой сгорания – 9-12,5 МДж/кг. Для сравнения средняя зольность сжигаемых в настоящее время на ТЭС России углей составляет около 30%, $Q_H^P = 25-30$ МДж/кг для каменных углей. Для снижения недожога применяют золоуловительные устройства типа циклон с возвратом уноса в зону горения. Для снижения неравномерности нагрузки применяют газогенераторы с подачей части вырабатываемого биогаза внешнему потребителю. В результате КПД установок по сжиганию растительных отходов в псевдоожигенном слое составляет 72-81% при их мощности 0,2-0,5 МВт (до 1,5 МВт). Для инициализации процесса необходимо сжигание растопочного материала (угля). Кипящий слой создается непосредственно в основном сжигаемом материале.

Переработка отходов животноводства

Основным отходом животноводства является навоз. Ежегодно в мире образуется не менее 45 млн. м³ навоза. В 1884 г. один из учеников Л. Пастера показал, что из 1 м³ навоза при 35^oC получается около 100 л метана. КПД биогазовых установок – около 60%.

Особенности переработки отходов животноводства: высокая влажность (до 80%) этих отходов требует повышенных расходов при сушке; по существующим на сегодняшний день технологиям возможно полезно использовать только 1-10% энергетического потенциала этих отходов; разрабатываемые технологии переработки должны снижать возникновение неприятных запахов, сопутствующих отходам; отходы животноводства являются ценным концентрированным органическим удобрением, и, возможно, это направление их

использования является наиболее целесообразным.

Наиболее перспективными способами газификации отходов животноводства с целью получения горючего биогаза являются сбраживание [11-13], и, возможно, совместное сжигание в смеси с традиционными топливами.

Совместное сжигание традиционных топлив и биомасс

Проводились опыты по совместному сжиганию углей и биомасс [1]. Недостатками биомасс при совместном сжигании являются: сезонность рынка биомасс; их переменная, в среднем высокая, влажность; специфический химический состав золы. Однако, совместное сжигание имеет и ряд преимуществ.

При малой процентной доле биомасс в топливе (по отношению к доле угля) их наличие практически не влияет на технологический цикл сжигания угля при слоевом сжигании и сжигании в ЦКС. Отпадает необходимость в разработке и строительстве специальных мусоросжигательных заводов для утилизации отходов. Добавки соединений калия, содержащихся в золе биомасс, снижают температуру плавления шлака, что позволяет существенно снизить температуру жидкого шлакоудаления и потери тепла со шлаком, изменяются и потребительские свойства шлака. В городе с населением 200 тыс. чел. ежедневно производится около 600 т бытовых и промышленных отходов, при сжигании которых в брикетированной форме может быть сэкономлено порядка 120 т угля в сутки. Совместное сжигание биомасс с углем при малой переменной доле биомасс целесообразно применять в установках большой мощности непрерывного действия.

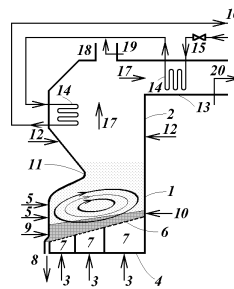
Фактически сжигание биомасс и так производится с непременным участием того или иного вида традиционного топлива (уголь, газ). [20] При высокой доле биомасс подача угля в качестве насыпного материала позволит решить сразу две проблемы – создание кипящего слоя и поддержание необходимой температуры за счет постепенного выгорания угля (рис. 1).

Возможна и другая форма совместного сжигания биомасс и традиционных топлив. Для инициализации процесса газификации и сжигания биомасс необходима дополнительная высокопотенциальная тепловая энергия. [21] Эта энергия вырабатывается за счет сжигания растопочного материала, либо за счет наличия в топках горелок, на которые подводится газомазутное топливо. Для создания кипящего слоя подается воздух со скоростью 5 м/с. Если вместо воздуха в подрешеточную полость подавать природный газ, а воздух подавать с помощью фурм второго и третьего уровня выше решетки (рис. 2), это позволит решить следующие задачи: газ, распределяясь в слое биомассы, будет способствовать созданию равномерного кипящего слоя; продукты сгорания газа имеют больший объем и температуру и будут создавать необходимые давления для формирования кипящего слоя при небольших скоростях газа и воздуха на входе в топку; создание кипящего слоя не в воздушном потоке, а в потоке газа и продуктов сгорания позволит поддерживать достаточно высокие температуры для переработки исходного сырья с большой влажностью. Совместное сжигание биомасс с углем или газом при большой доле биомасс целесообразно применять в малых энергетических установках периодического действия, ориентированных на определенный вид отходов и устанавливаемых непосредственно на предприятиях, производящих эти отходы. В таком случае отпадает

необходимость в сортировке отходов. Функционирование установки по утилизации биомассы в часы работы предприятия позволит снизить для предприятия потребность в энергии от внешнего поставщика и уменьшить суточные колебания нагрузки в электросети.

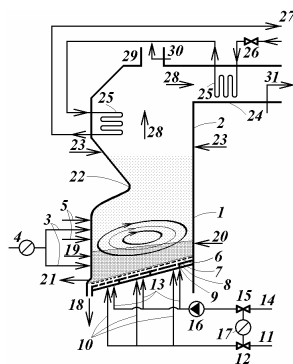
Выводы

Газификационная технология в настоящее время широко применяется для переработки и сжигания как традиционных топлив, так и биомасс. Мировой опыт эксплуатации топок с вихревым кипящим слоем показал, что имеется возможность совместного сжигания практически любых горючих веществ, в том числе высоковлажных и высокозольных. Основным достоинством при этом является возможность снижения вредных выбросов за счет снижения температуры окислительных процессов. Конструкции установок и технологические особенности процессов при переработке различных топлив отличаются, но не принципиально. Совместная переработка традиционных топлив и биомасс позволит сочетать достоинства различных топлив.



1 – камера газификации; 2 – камера дожига; 3 - дутьевые сопла для подачи первичного воздуха; 4 - днище установки; 5 - устройства для подачи биомасс; 6 - распределительная решетка; 7 - воздушные камеры; 8 - патрубок для отвода золошлаковых отходов; 9 - устройство для розжига; 10 - устройство для загрузки насыпного материала; 11 – пережим; 12 - сопла для подачи вторичного воздуха; 13 - газоотводящий тракт; 14 - многоходовые рекуператоры; 15 - запорный клапан водовода; 16 – потребители; 17 - дымовые газы; 18 - патрубок для отбора генераторного газа; 19, 20 – задвижки.

Рис. 1. Использование угля в качестве насыпного материала для создания кипящего слоя при совместной газификации с биомассами



1 – камера газификации; 2 – камера дожигаания; 3 – дутьевые сопла для подачи первичного воздуха; 4 – регулятор; 5 – устройства для подачи биомасс; 6 – распределительная решетка; 7 – газораспределительное устройство; 8 – газовые камеры; 9 – днище камеры; 10 – форсунки; 11 – газопровод; 12 – запорный клапан газопровода; 13 – сопла для подачи вторичного воздуха; 14 – воздухопровод; 15 – запорный клапан воздухопровода; 16 – насос; 17 – переключатель; 18 – патрубок для отвода золошлаковых отходов; 19 – устройство для розжига; 20 – устройство для загрузки инертного материала; 21 – устройство для выгрузки инертного материала; 22 – пережим; 23 – сопла для подачи вторичного воздуха; 24 – газоотводящий тракт; 25 – многоходовые рекуператоры; 26 – запорный клапан водовода; 27 – потребители; 28 – дымовые газы; 29 – патрубок для отбора генераторного газа; 30, 31 – задвижки.

Рис. 2. Создание кипящего слоя в потоке природного газа при газификации биомасс

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Алехнович А.Н., Богомолов В.В., Артемьева Н.В. Совместное факельное сжигание биомасс с углем // Теплоэнергетика. – 2001. – № 2. – С. 26.
- Анискин В.И., Голубкович А.В. Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплив. – Теплоэнергетика, 2004. – № 5. – С. 60.
- Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдоожиженном слое. – Теплоэнергетика, 2004. – № 6. – С. 49.
- Белосельский Б.С., Хмелевская Е.Д. Пирогазификация – экономически эффективный и экологически чистый метод подготовки и использования низкосортных топлив на электростанциях. – Теплоэнергетика, 1994. – № 1. – С. 26.
- Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 1. – Экотехнологии и ресурсосбережение, 2000. – № 2. – С. 3.
- Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 2. – Экотехнологии и ресурсосбережение, 2000. – № 3. – С. 3.
- Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С. Основные этапы совершенствования способов сжигания твердых топлив и их наиболее перспективные современные направления. – Теплоэнергетика, 2003. – № 12. – С. 42.
- Коломийцева А.М., Федорова Н.В. Сравнительный анализ химического состава и свойств углей и биомассы. – Проблемы теплоэнергетики. – Изв. вузов. Сев.-Кав. рег. Технич. науки. 2005. Спец. выпуск. – Стр. 38.
- Масленников В.И., Выскубенко Ю.А., Щтеренберг В.Я. и др. // Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией топлива и экологические проблемы энергетики, 1983. – М.: Наука, 264с.
- Мусоросжигательный завод – Москва, контракт № 1879017 / 280 / 1 / 191311 ком. № 402210. Общее функциональное описание. 8.02.96. – 37 с.
- Панцхава Е.С., Кошкин Н.Л. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения. – Теплоэнергетика, 1993. – № 4. – С. 20.
- Панцхава Е.С., Пожарнов В.А., Зысин Л.В. и др. Преобразование энергии биомассы. Опыт России. – Теплоэнергетика, 1995. – № 5. – С. 33.
- Реймерс Н.Ф., Роздин И.А., Лестровой А.П. // Отходы как источник

- энергии. – М.: О-во "Знание" РСФСР, 1986. – 48 с.
14. Советский энциклопедический словарь / Научно-редакционный совет: А.М. Прохоров (пред.). – М.: "Советская Энциклопедия", 1981. – 1600 с. с илл.
15. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
16. Ушаков В.Г. // Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие.-Новочеркасск: Новочерк. гос. техн. ун-т. 1994. – 120 с.
17. Федорова Н.В. Построение модели кристаллохимических процессов, протекающих при сжигании твердых топлив и кристаллизации шлака на ТЭС. – Автореф. дис. канд. техн. наук. / Юж. – Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск, 2002. – 20 с.
18. Федянин В.Я., Лавров И.М., Утемесов М.А. и др. // Опыт эксплуатации биогазовой установки в условиях Алтайского края. – Теплоэнергетика, 1996. – № 2. – С. 8.
19. Кочан А., Петрик Я. Анализ полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ) в остатках из сжигания твердых бытовых отходов. – НИИ профилактической медицины, Лимбова 14, 83301, Братислава, Чехословакия, 1988 г.
20. Заявка на полезную модель № 2006111078 от 05.04.06г. «Установка для совместной газификации и сжигания твердых топлив и биомасс».
21. Заявка на полезную модель № 2006109759 от 27.03.06г. «Установка для сжигания отходов».
22. Твайдел Дж., Уэйр А. // Возобновляемые источники энергии: Перевод с английского. – М.: Энергоатомиздат. 1990.-392 с.: илл.
23. Beige N. NO_x control in circulating fluidized bed combustor. 2-ud Int. conf. on CFB Technology, Pergamon Press, 1988, P. 421.
24. Hallsrom C., Karlsson K. Waste incineration in circulating fluidized bed boiler. Test results and operating experience., 3-rd Int.conf. on CFB, Japan, 1990. P. 1.
25. Hirota T., Ohshita T., Kusugi S. et al. Characteristics of the internally circulating fluidized bed boiler, 3-rd Int.conf. on CFB, Japan, 1990. P. 1.
26. Ishikawa K., Ischiko M., Uchiyama K. TIF Fluidized-bed Municipal Waste Incineration System & Materials Recovery Facility - Isesaki City Clean & Recycle Center 21 /Ebara jiko, № 190, 2001. P. 90.
27. Ishizuka H., Hyvarinen K., Morita A. et al. Experimental Study on NO_x reduction in CFB coal combustion. 2-ud Int.conf. on CFB Technology, Pergamon Press, 1988. P. 437.
28. Iwahashi H., Yaguchi E., Miyaki T. A Batch-type. Municipal Waste Fluidized-bed Incineration System/Ebara jiko, № 186, 2000. P. 58.
29. Suzuki T. et al. Comparison of NO_x Emission between Laboratory Modeling and Full Scale Pyroflow Boilers, 3-rd Int.conf. on CFB, Japan, 1990. P. 1.

The gasification of the organic fuels and bioweights

Efimov N.N., Fedorova N.V., Mirgorodsky A.I., Kolomijtseva A.M.

South Russian State Technical University

(Novocherkassk Polytechnic Institute)

Last years the gasification technologies are widely applied for burning both traditional fuels and bioweights of a various origin. Gasification is made in a boiling layer at lack of an oxidizer more often. The designs of installations for the various fuels gasification are differ, but not essentially. The parameters of generating gas appear relatives also. The development of installations and technologies for various fuels joint processing is necessary.