электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.438

Перспективные установки для выработки электроэнергии в районах, не имеющих централизованного энергоснабжения

***Алексеева Е.К.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»

Научный руководитель: Моляков В.Д., к. т.х н., доцент
кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Для энергетического хозяйства наиболее предпочтительным сырьем и теплоносителем является газообразное топливо. Благодаря ряду отличительных свойств, таких как экологичность и транспортабельность, а также возможность использовать данный вид топлива в различных типах машин, делает газообразное топливо одним из самых востребованных и значимых в мировой энергетике.

Дефицит первичных энергоресурсов, а также постоянное увеличение спроса на тепло- и электроэнергию будут требовать замены нефти и природного газа другими энергоносителями. По оптимистическим прогнозам аналитиков нехватка природного газа и нефти будет остро чувствоваться примерно через 80-120 лет. В то время как только в России разведанных запасов угля хватит более чем на 800 лет, а в целом по миру – на 2000 лет. Однако сжигание угля на ТЭЦ не является самым эффективным и чистым способом использования энергопотенциала угольного топлива (Стоит вспомнить экологические катастрофы в столице Китая, когда город задыхался от пыли и сажи ТЭЦ, работающих на угле). В условиях непрерывной борьбы за повышение надежности и экологичности энергоснабжения переработка угля в газообразный теплоноситель и сырье приобретает решающее значение в уже недалеком будущем.

Моя задача заключается в разработке новой газотурбинной установки полузамкнутого цикла, работающей на генераторном газе, получаемом в ходе процесса газификации твердого топлива (низкосортных углей). Основным элементом установки является газогенератор и ГТУ. Сперва дадим несколько понятий, используемых в области переработки твердого топлива в газообразное.

Основным понятием является газификация. По определению газификацией называется процесс превращения твердого топлива в газообразное, происходящий при высокой

температуре; при этом углерод топлива взаимодействует с кислородом воздуха и водяным паром. В зависимости от свойств топлива и назначения газа газификация производится в различных по схеме и устройству газогенераторах.

Существует несколько разновидностей процессов газификации, применяемых для различных видов топлив - прямой или противоточный процесс для богатых углеродом топлив (антрациты), обратный или прямоточный процесс для битуминозных топлив (топлива, с высоким содержанием летучих компонентов) и поперечный процесс. Основными являются первые два.

При прямом процессе газификации топливо и воздух в смеси с водяным паром движутся навстречу один другому. Схема этого процесса газификации изображена на рис.1. В этом случае топливо, заполняющее газогенератор, опускается вниз по мере выгорания коксового остатка на колосниковой решетке, а через колосниковую решетку снизу подводится паровоздушная смесь. Газы, образовавшиеся в окислительной зоне, поднимаются вверх, нагревают лежащие выше слои топлива, реагируют с углеродом топлива в восстановительной зоне и выходят из газогенератора после прохождения всего слоя топлива или его части.

Схема обратного, или прямоточного, процесса газификации представлена на рис.2. В данном случае воздух поступает в середину слоя топлива, а образовавшиеся газы опускаются вниз и проходят через слой раскаленного угля. При этом происходит разложение смолистых веществ, кислот, спиртов и других продуктов сухой перегонки топлива, выделяющихся из топлива в слое, расположенном над окислительной зоной.

В транспортных газогенераторах получил некоторое распространение так называемый поперечный (или горизонтальный) процесс газификации. Он отличается от описанных выше процессов тем, что поток продуктов газификации проходит поперек опускающегося вниз топлива. Продукты сухой перегонки частично примешиваются, при этом к генераторному газу в конце зоны газификации перед выходом из газогенератора.

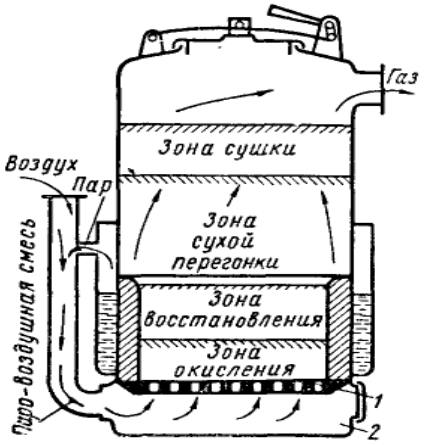

Рис.1. Схема прямого процесса газификации

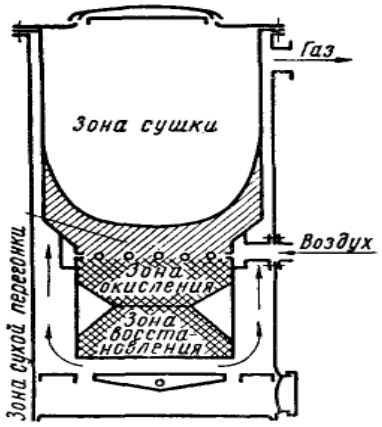

Рис. 2. Схема обратного процесса газификации

К середине XX в процесс газификации получил широкое распространение в большинстве промышленных стран мира. Например, в СССР в 50-е годы работало свыше 350 газогенераторных станций, на которых было установлено около 2500 газогенераторов. Эти станции вырабатывали ежегодно 35 млрд. м^3 энергетических и технологических газов. Газогенераторы также нашли широкое применение в транспортных двигателях. В сельском хозяйстве и лесной промышленности в 1930-1950 годах широкое распространение получили тракторы и трудовые машины на генераторном газе. В связи с нехваткой жидкого топлива в трудные годы войны и послевоенное время большое количество автомобилей было переведено на данный энергоноситель. Так в 1936 году была выпущена первая партия газогенераторных грузовиков ЗИС-13, а затем — ЗИС-21 и на Горьковском заводе — ГАЗ-42. Топливом для таких машин были обычные деревянные чурки. Однако с развитием нефтехимической и газодобывающей промышленности такие установки перестали быть актуальны и остались в истории.

В настоящее время процесс газификации твердого топлива снова привлек к себе внимание. Большое количество компаний занимается разработкой новых конструкций газогенераторов и технологий газификации. В 1990-е годы бурное развитие получила внутрицикловая газификация для производства электроэнергии, т.е. использование бинарного цикла, при котором горючий газ утилизируется в газовой турбине, а продукты сгорания используются при генерации пара для паровой турбины. Первая коммерческая электростанция с внутрицикловой газификацией – Cool Water, США, шт. Калифорния, мощностью 100 МВт (60

т/ч по углю) была построена еще в 1983 г. Повышенный интерес к внутрицикловой газификации угля в развитых странах объясняется двумя причинами.

Во-первых, ТЭС с внутрицикловой газификацией экологически менее опасна. Благодаря предварительной очистке газа сокращаются выбросы оксидов серы, азота и твердых частиц.

Во-вторых, использование бинарного цикла позволяет существенно увеличить КПД электростанции и, следовательно, сократить удельный расход топлива.

В таблице 1 приведены характерные величины удельных выбросов и КПД для ТЭС с внутрицикловой газификацией и для ТЭС с традиционным сжиганием угля.

Таблица 1

Величины удельных выбросов и КПД для ТЭС с внутрицикловой газификацией и с традиционным сжиганием угля

Параметры	Традиционная угольная ТЭС	ТЭС с внутрицикловой газификацией
Концентрация вредных веществ в дымовых газах (для угольной ТЭС – согласно Евростандарту), мг/м^3		
- SO_x	130	10
- NO_x	150	30
- Твердые частицы	16	10
Электрический КПД, %	33-35	42-46

Наиболее известными на сегодня являются газификаторы с восходящим движением газа компании Bioneer Oy (теперь Foster Wheeler Energia Oy, Финляндия) и реакторы PRM Energy Systems, Inc. (США), газификаторы с циркулирующим кипящим слоем Pyroflow компании A. Ahlstrom Oy, а также компаний Lurgi Energie und Umwelt (Германия) и TPS Termiska Processer AB (Швеция). Кроме упомянутых выше, в мире имеется около 25 производителей газификаторов с нисходящим движением газа и более 10 производителей газификаторов с кипящим слоем и циркулирующим кипящим слоем. Производители газификаторов с нисходящим движением газа это, в основном, мелкие компании, выпускающие газификационные системы небольшой мощности (ректор + двигатель внутреннего сгорания). Среди крупных производителей газификаторов можно выделить PRIMENERGY Inc. (США),

Babcock & Wilcox Volund ApS (Дания), KARA Energy Systems BV (Нидерланды), Kvaerner Pulping AB Power Division (Швеция), Future Energy GmbH (Германия).

Газификатор Bioneer был разработан в Финляндии компанией VTT в сотрудничестве с SME Company. Bioneer проводит низкокалорийный генераторный газ с большим содержанием смол. Генераторный газ может применяться на тепловых станциях 1...15 МВт и мини-ТЭЦ с электрической мощностью 1...3 МВт.

В 1982 – 1986 гг. были построены 9 газификаторов Bioneer (4...5 МВт) и введены в экстракцию на коммерческом уровне в Финляндии и Швеции. Практически все они до сих пор работают: восемь – на тепловых станциях малой мощности, один – в паре с сушильной печью. Несколько позже (в 1996 г.) была построена десятая тепловая станция с газификатором Bioneer в Ilomantsi (Финяндия).

Фирма PRM Energy Systems (США) выпускает газификаторы с восходящим движением газа уже более 20 лет. Одна из последних установок PRM Energy Systems (4 МВт) построена в 2003 г. в Rossano (Италия). Она состоит из газификатора PRMES KC-18, системы охлаждения, очистки и контроля качества генераторного газа, а также шести газовых двигателей Guascor S.A. (Испания). Газификатор работает на жмыхе маслин (потребление 4500 кг/ч) без какой-либо предварительной подготовки сырья.

Организация Wamsler Umwelttechnik GmbH (теперь Hugo Petersen Umweltengineering, Германия) имеет успешный опыт работ по созданию газификационных установок с нисходящим движением газа. В 1994 г. три такие установки тепловой мощностью 0,6...1,5 МВт были запущены в Германии.

На всемирной конференции по технологиям газификации (Колорадо, октябрь 2013) были представлены данные по мировой выработке генераторного газа за последние 15 лет (табл. 2). По количеству проектов и газогенераторов можно наблюдать постоянный рост выработки газа и увеличение количества станций. Большинство этих проектов разработаны в США, Германии, Финляндии.

В России также существуют предприятия, занимающиеся разработкой газогенераторов. ММПП ФНПЦ "Салют", ОИВТ РАН, ИПХФ РАН продолжают научно-исследовательские и демонстрационные работы по развитию и совершенствованию технологий газификации. Больших успехов достигли специалисты института КАТЭКНИИуголь (Красноярск). Занимаясь проблемой переработки бурого угля Канско-Ачинского бассейна, в КАТЭКНИИуголь был разработан новый процесс газификации - «Термококс». В данном процессе используется только два исходных компонента - уголь и воздух и получается только два конечных продукта - газ и активированный кокс. И ни одного побочного продукта. Энергия исходного угля

распределяется между продуктами примерно поровну, а потери тепла в окружающую среду не превышают 4-5%. Это означает, что термический КПД процесса около 95%.

Таблица 2

Динамика развития газогенераторных станций за последние 15 лет

Год	Общее число проек-тов	Общее число газогенераторов	Действующ газоген./ проекты	Конструир. газоген./ проекты	Планируем газоген./ проекты	Мощность действующстанций ГВт	Мощность конструир. станций ГВт	Мощность планируем станций ГВт
1999	329	754	128/366	-	33/48	42.7	-	18.2
2001	350	800	131/409	-	32/59	43.3	-	24.5
2004	391	841	117/385	-	38/66	43.0	-	25.3
2007	408	891	144/427	-	10/34	56.2	-	36.5
2010	463	990	192/505	11/17	37/76	70.8	10.9	40.4
2013	747	1741	234/618	61/202	98/550	104.7	63.4	84.0

Разработка газогенераторных станций актуальна для России – страна богата запасами бурого угля, каменного угля, торфа, горючих сланцев требуется переработка большого количества отходов деревообработки и сельского хозяйства, твердых бытовых отходов. Однако в настоящее время разрабатывается совсем небольшое количество проектов по переработке данного сырья с целью получения тепло- и электроэнергии. При рассмотрении карты распределения природных ресурсов России (рис.3) практически в каждом районе и области можно видеть неиспользуемые месторождения угля, торфа. Если наложить поверх карты распределения ресурсов карту электрификации районов страны (рис. 4), то ясно видно, что многие районы, не имеющие не только централизованного, но и местного энергоснабжения можно обеспечить необходимым количеством электроэнергии за счет местных ресурсов и энергоносителей.

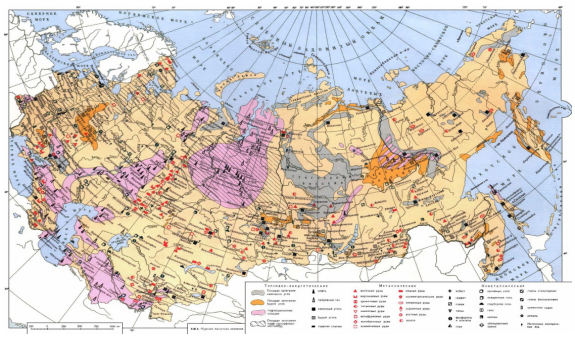

Рис. 3. Карта распределения природных ресурсов Рис. 4. Карта электрификации России

Предлагается новая стационарная установка полузамкнутого цикла, мощностью 500 кВт, для обеспечения электроэнергией поселка, не имеющего централизованного энергоснабжения. Основными элементами являются газогенератор прямого процесса газификации, вырабатывающий низкокалорийный генераторный газ, систему очистки и охлаждения газа, топка с подогревателем, рекуператор и газотурбинную установку для выработки электроэнергии. Схема установки представлена на рис. 5. Преимуществом такого типа установок является так называемая «передача тепла через стенку» - газотурбинный двигатель работает на воздухе, получая необходимое тепло через теплообменный аппарат, что позволяет использовать различные, в том числе и с высоким содержанием смол, топлива для газогенератора. Очищение газа от смол с одной стороны необходимо, а с другой стороны приводит к уменьшению теплотворной способности газа. Однако неочищенный газ невозможно использовать напрямую в ГТУ – это приводит к быстрому загрязнению проточной части турбины, износу основных узлов и как результат – поломке агрегата. Таким образом, выбрав данную схему, решается сразу несколько проблем – возможность использовать битуминозных топлив, которые распространены повсеместно на территории России и на данный момент используются нерационально. Установки такого типа легко перевести на другой тип топлива, не меняя при этом конструкцию основных узлов. Еще одним преимуществом является максимальное использование энергопотенциала теплоносителя, экологичность и мобильность.

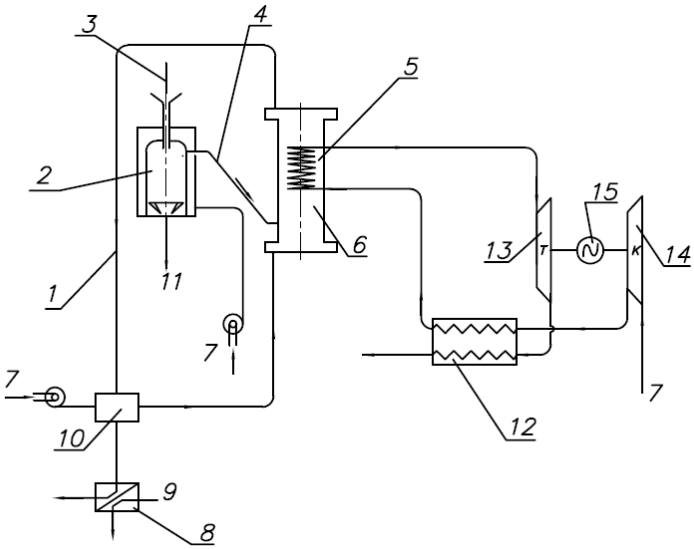

Рис. 5. Схема полузамкнутой газотурбинной установки на генераторном газе
1 – продукты сгорания, 2 – газогенератор, 3 – подача угля, 4 – продукт-газ, 5 – подогреватель, 6 – топка, 7 – подача воздуха, 8 – подогреватель воды, 9 – подача воды, 10 – система очистки газа, 11 – удаление золы, 12 – рекуператор, 13 – турбина, 14 – компрессор, 15 – генератор

Развитие малой энергетики просто необходимо для нашей страны. Таким способом можно решить большое количество проблем, имеющихся в том и ином районе – опустошение плодородных земель, потеря определенных групп населения, неразумное использование ресурсов и территорий, отчуждение некоторых районов. И разработка проектов, подобных данному, является пусть небольшим, но все же шагом навстречу решению таких проблем.

Список литературы

1. Моляков В.Д., Тумашев Р.З. Обоснование схем и параметров высокоэффективных газотурбинных установок для малой энергетики // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 10. С. 52-58
2. Моляков В.Д., Осипов М.И., Тумашев Р.З. Повышение эффективности режимов работы газотурбинного двигателя // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2006. № 3. С. 80-95.
3. Михальцев В.Е., Моляков В.Д., Тумашев Р.З. Полузамкнутая газотурбинная установка на твердых горючих // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1999. № 1. С. 75-84.
4. Моляков В.Д., Осипов М.И., Тумашев Р.З., Олесевич К.А. Перспективные направления повышения эффективности ГТУ // Газотурбинные технологии. № 3 (94). 2011. С. 2-7.

5. Михальцев В.Е., Моляков В.Д., Петрович Л.М. Эффективность энергетической ГТУ на возобновляемых нетрадиционных горючих // Турбины и компрессоры. 1999. № 8. 9. С. 56-60.
6. Михальцев В.Е., Моляков В.Д Расчет цикла газотурбинной установки: учеб. пособие. / под ред. И.Г. Суровцева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 32 с.
7. Куфтов А.Ф., Топливо и топливосжигающие устройства тепловых агрегатов общепромышленного назначения: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 42 с.
8. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция, расчет. М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1955. 244 с.
9. Коллеров Л.К. Газомоторные установки. М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 19551. 239 с.
10. Шиллинг Г-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. М.: Недра, 1986. 175 с.
11. Кузьмин С.Н., Ляшков В.И., Кузьмина Ю.С. Биоэнергетика: учеб. пособие. Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 81 с.
12. Higman Chris. State of the Gasification Industry – the Updated Worldwide Gasification Database. Gasification Technologies Conference, Colorado Springs, CO, October 16, 2013.