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

УДК 620.952

Биогазовая установка, работающая на отходах деревообрабатывающей промышленности

***Черкашина Е.И.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»

Научный руководитель: Иванов В.Л., , к.т.н.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
turbosh@power.bmstu.ru

Одной из актуальных проблем России является утилизация отходов лесоперерабатывающего производства. Например, в Иркутской области после переработки леса в 2013 году неиспользованными остались около 1 млн куб. м коры, 1,5 млн куб. м опилок и более 2 млн куб. м технологической щепы[1]. В июне 2013 г. Министерство природных ресурсов и экологии РФ опубликовало план мероприятий по созданию благоприятных условий для использования возобновляемых древесных источников для производства тепловой и электрической энергии. В целом, использование древесного биотоплива позволит обеспечить предсказуемость тарификации на тепло и горячее водоснабжение в ЖКХ, исключить необходимость в «переброске» по стране миллионов тонн угля и мазута, снизить выбросы в атмосферу углекислого газа, уменьшить выбросы в атмосферу двуокиси серы и сократить загрязнение окружающей среды отходами деревообработки; создать новые рабочие места.

Рассматриваемый в работе энергокомплекс предназначен для процесса переработки древесных отходов в виде древесных пеллет методом противоточной газификации с последующим производством электроэнергии в газотурбинной установке. Принципиальная схема энергокомплекса представлена на рис. 1. Процесс газификации включает в себя процессы нагрева древесных пеллет, их сушку, пиролиз, горение и химической конверсии продуктов в генераторный газ. По сравнению с прямым сжиганием при газификации реализуется более полное сгорания продуктов газификации - газообразного топлива, а также образуется значительно меньшее количество вредных для окружающей среды химических

соединений. Для получения более «чистого» генераторного газа в газификатор могут загружаться специальные присадки (что часто делается для отшлаковывания сернистых соединений). Кроме того, генераторный газ может подвергаться дополнительной химической очистке, что значительно проще и дешевле, чем очистка продуктов сгорания при прямом сжигании древесных отходов.

Последовательность процессов газификации зависит от способа газификации, который в свою очередь зависит от требований, предъявляемых к генераторному газу. Различают три вида газогенераторов по характеру подачи топлива и дутья: противоточный (прямой), прямоточный (обращенный) и с поперечным процессом.

Проведенный анализ технологических схем переработки древесных отходов позволяет сделать вывод, что для реализации в условиях деревообрабатывающих предприятий наиболее перспективен противоточный процесс газификации. При такой схеме генераторный газ имеет более низкую температуру, т.е. не требует дополнительного охлаждения, также исключается парогазовый контур. Для более устойчивой работы газификатора в качестве топлива используются древесные топливные гранулы (пеллеты) – небольшие цилиндрические прессованные древесные изделия диаметром 4-12 мм, длиной20-50 мм, влажностью 8-22%, переработанные из высушенных остатков деревообрабатывающего и лесопильного производства: опилки, стружка, древесная мука, щепа, древесная пыль и т.д.

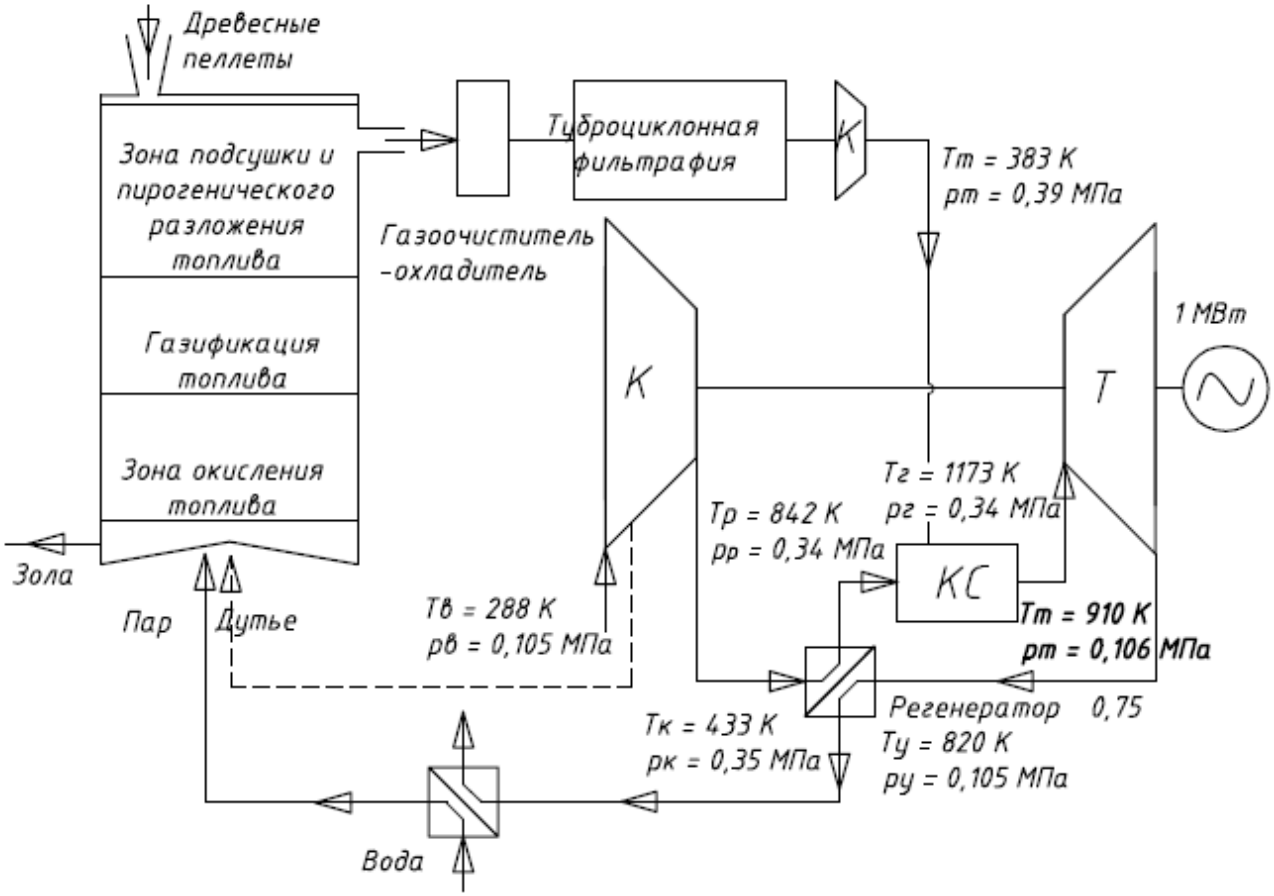


Рис. 1. Принципиальная схема энергокомплекса

В качестве энергопреобразователя используется ГТУ регенеративного цикла со степенью регенерации 0,8, что позволяет не только повысить КПД установки, но одновременно характеризуется сравнительно низким значением оптимальной степени повышения давления в цикле ГТУ. И, как результат, существенно облегчается проблема ввода генераторного газа в камеру сгорания ГТУ – используется относительно, низконапорный нагнетатель генераторного газа.

Согласно данной схеме древесные пеллеты, загружаемые в газификатор, последовательно проходят все четыре зоны. Используется газификатор тепловой мощностью 4,2 МВт, низшая теплота сгорания генераторного газа 6,8 МДж/нм3, температура на выходе из газификатора около 400 К. После газификатора генераторный газ очищается от смол в газоочитителе-охладителе, где его температура опускается до 323 К. Как правило, генераторный газ содержит пылезольные взвеси, которые привести к эрозионному повреждению лопаток турбины. Поэтому в схеме предусмотрена очистка генераторного газа от пылезольных взвесей. Следует отметить, что очистка генераторного газа перед его

сжиганием является более простой и более дешевой операцией по сравнению с аналогичной очисткой продуктов сгорания: объемный расход продуктов сгорания больше расхода генераторного газа в 50...80 раз и температура продуктов сгорания выше 1000 К.

Очищенный газ, после предварительного сжатия, подается в камеру сгорания, где сгорает с суммарным коэффициентом избытка воздуха 5,2. Температура продуктов сгорания составляет 1173 К; таким образом охлаждение лопаток турбины не требуется. При расчете параметров газотурбинного цикла использованы данные по газификации древесины, полученные в работе [4]. На рис. 2 приведено (в графической форме) решение уравнения сгорания генераторного газа – продукта газификации древесины, позволяющее определить величину коэффициента избытка воздуха в зависимости от температуры воздуха на входе в камеру сгорания и температуры продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания.

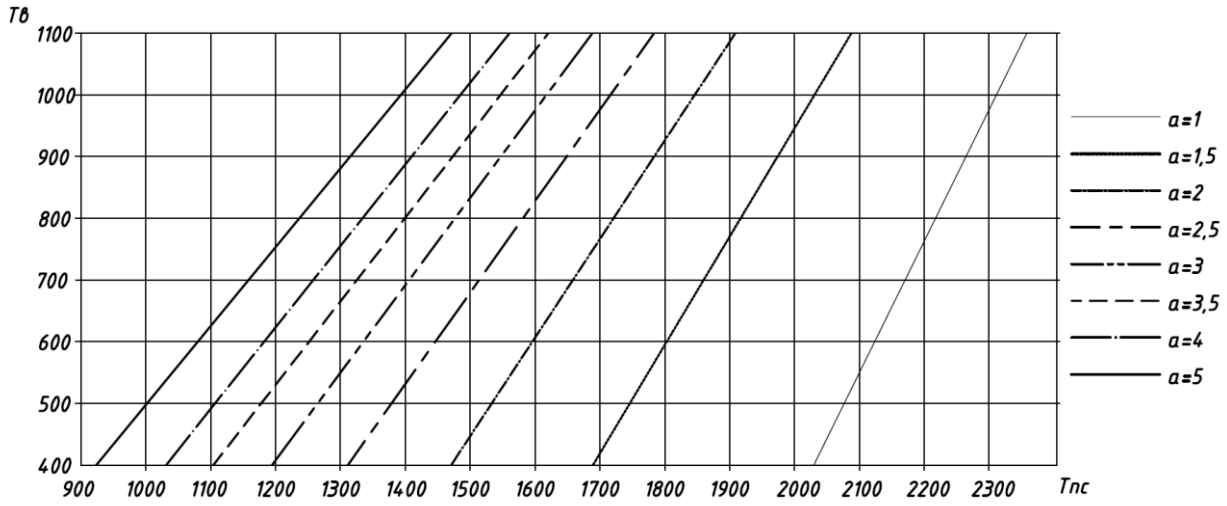
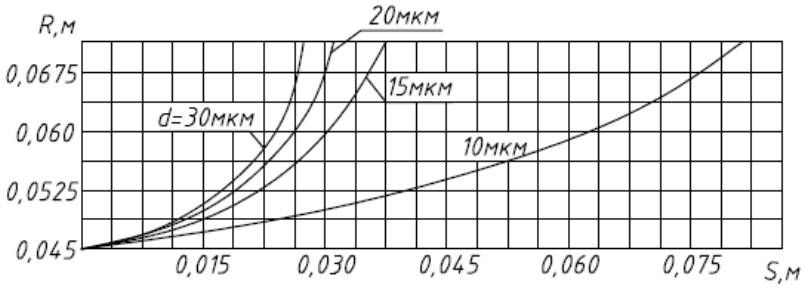


Рис. 2. Сгорание генераторного газа.

При производительности газификатора 1,12 т пеллет в час, номинальная мощность ГТУ составляет 1 МВт. Температура газов после турбины составляет 910 К, что позволяет получить достаточно высокую температуру воздуха (после регенератора) на входе в камеру сгорания – 842 К. КПД на выходном валу газотурбинной установки составляет 30,5 %. При этом температура уходящих газов после регенератора остается достаточно высокой – 820 К, что создает дополнительную возможность получения теплофикационной мощности и горячего теплоснабжения на технологические нужды предприятия.

Проблема очистки газового потока от пылезольных взвесей не является новой для газотурбостоения. Такая проблема возникла еще в 1950-х годах, когда делались

многочисленные (отечественные и зарубежные) попытки создания газотурбинных установок на твердом (пылеугольном)топливе. [5] В числе пионеров этого направления была кафедра «Газовых турбин» Московского Высшего Технического Училища имени Н.Э. Баумана (ныне кафедра «Газотурбинных и нетрадиционных энергоустановок» Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана). Целью работы тех лет было создание железнодорожного локомотива-газотурбовоза на каменном угле. В результате целого комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ были созданы пылеугольная камера сгорания и оригинальный турбоциклонный способ очистки продуктов сгорания от зольных взвесей [7, 8]. Работы этого направления на кафедре продолжаются и в настоящее время, но на основе современного подхода – сначала газификация, затем сжигание [3]. Обладая преимуществами инерционных способов очистки (циклоны, жалюзийные фильтры не требуют периодической очистки, т.к. пыль отводится в пылесборный бункер), турбоциклонный способ характеризуется не только более высокой эффективностью очистки, но и высокой объемной компактностью очистного устройства. Кроме того, появляется возможность управления процессом сепарации при переходе на измененный фракционный состав генераторного газа. Принципиальная схема турбоциклона осевого типа и траектория движения твердой частицы в канале турбоциклона в осевом и радиальном направлениях приведены на рис. 3.



Траектория движения твердых частиц в канале турбоциклона

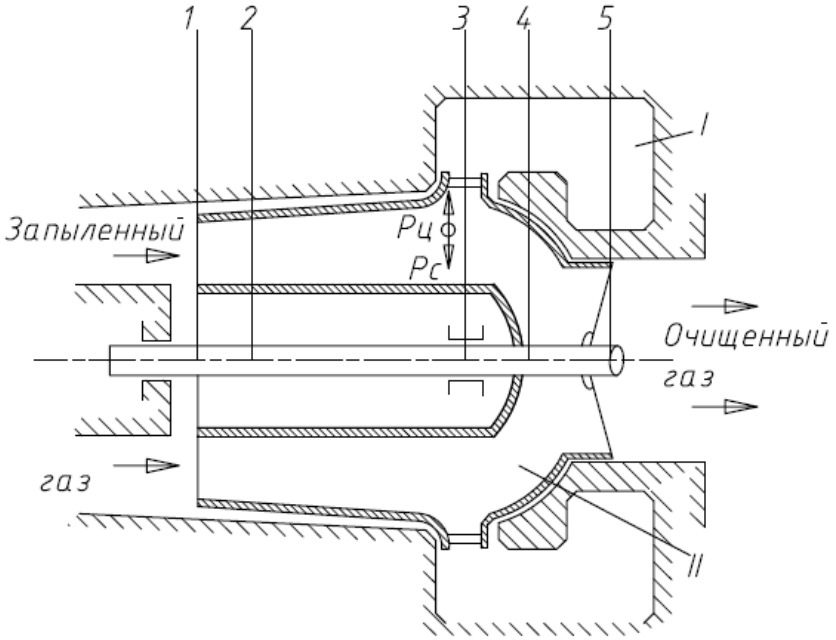


Рис. 3. Схема турбоциклона: *I* – крыльчатка турбоциклона; *II* – пылесобиратель.

Ротор турбоциклона - самоходный (решетка профилей на входе компрессорная, на выходе-турбинная) и работает за счет разности давлений потока по входу и выходу ротора.

На входном участке 1 происходит поджатие потока, на горизонтальном участке 2-3 происходит очистка потока и отвод пыли в кольцевой пылесобиратель и далее в пылевой бункер. На последнем участке 4-5 происходит расширение потока в осевой турбине. Работа такой крыльчатки адекватна гидравлическому сопротивлению турбоциклона. Необходимая длина горизонтального участка крыльчатки турбоциклона зависит от величины сепарированных частиц и окружной скорости крыльчатки.

Для рассматриваемого проекта был выбран иной тип турбоциклона, также разработанный на кафедре. Это радиальный тип турбоциклона [6], рис. 4, с принудительным вращением ротора от внешнего привода, что сделало его независимым от газодинамических

параметров потока и обеспечивало более широкий диапазон регулирования тонкости и чистоты очистки. Дополнительно предусмотрено регулирование величины сечения входа (радиальной щели) в бункер складирования сепарированной пылевой массы. Также во внимание принята возможность использования турбоциклона для повышении давления фильтруемого газа на выходе из турбоциклона с целью «разгрузки» нагнетателя подачи топливного газа в камеру сгорания Г ТУ.

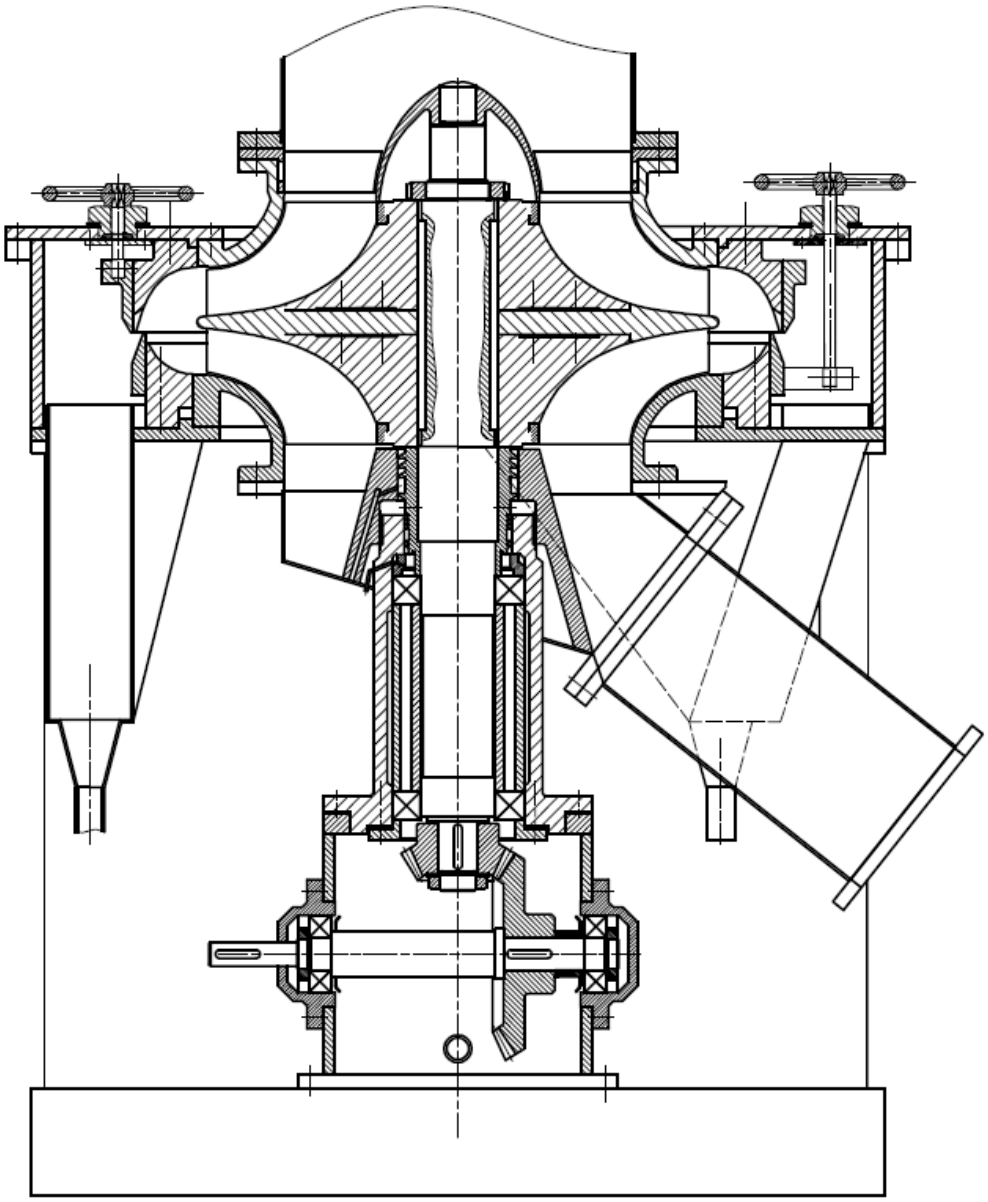


Рис. 4. Радиальный турбоциклон.

Из уравнений движения частицы, описывающего зависимость ее радиального перемещения от времени, следует, что величина радиального перемещения частицы r зависит

от таких параметров: угловой скорости крыльчатки ω, диаметра частицы *d*, плотности частицы $\gamma_{част}$, динамической вязкости газа μ, наружного радиуса турбины r_2.

Согласно результатам экспериментального и теоретического исследования, приведенным в [6], была выбрана угловая скорость вращения крыльчатки 500 рад·сек$^{-1}$, при минимальном наружном радиусе турбины r_2= 0,162 м. В таком случае, ожидаемая эффективность очистки турбоциклонным фильтром составит от 90 до 96,5 % (при содержании в пылезольной взвеси около 10% частиц размером менее 20 мкм), что показывает высокую эффективность данного метода очистки.

Заключение

При производительности установки $N_{эл}$ = 1 МВт, в течении суток перерабатывается (в около 27 тонн исходного сырья. Таким образом энергоустановка в течении года работы может утилизировать более 9000 тонн отходов деревообрабатывающей промышленности, решая важную экологическую проблему переработки как текущих отходов деревопереработки, а таких и ранее накопленных (существующих в виде захоронений) Энергоустановка служит источником энергии для производственных и бытовых целей.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/ (дата обращения 26.02.2014).
2. Федеральное агентство лесного хозяйства. Режим доступа: http://www.rosleshoz.gov.ru/ (дата обращения 26.02.2014).
3. Иванов В.Л. Газотурбинный преобразователь для установки утилизации твердых бытовых и промышленных отходов методом газификации // Вестник МГТУ им. Н. Баумана. 2013. № 7 С. 134-144.
4. Иванов В.Л., Заживихина Т.А. Газотурбинный двигатель для установки по термической переработке твердых бытовых и промышленных отходов // Известия ВУЗов, Сер. Авиационная техника. 2006. № 2. С. 76-80.
5. Уваров В.В., Бекнев В.С., Грязнов Н.Д. и др. Локомотивные газотурбинные установки. М.: Машгиз. 1962. 548 с.

6. Рождественский А.М. Исследование движения твердых частиц в межлопаточных каналах турбоциклонного золоуловителя. // Инженерно-физический журнал. 1963. Том VI, №11. С. 112-118.
7. Чернобровкин А.П. К теоретическому исследованию турбоциклона// Вопросы газотурбостроения. 1955. №. 59. С. 55-67.
8. Пчелкин Ю.М. Исследование работы камеры сгорания газотурбинного двигателя на твердом топливе // Вопросы газотурбостроения. 1955. №. 59. С. 67-80.