

Н. Ф. Тимербаев, А. Р. Садртдинов, И. Н. Ковернинский,
Л. Р. Смирнова, Т. Х. Галеев, Д. А. Ахметова

ТЕХНОЛОГИИ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ИННОВАЦИИ

Ключевые слова: технологии и оборудование газификации твердых топлив, генераторный газ, пиролиз, отходы, экология, распределенное энергоснабжение, биотопливо, возобновляемые источники энергии.

В настоящей статье рассматриваются особенности, преимущества, характерные признаки и области применения технологий и оборудования газификации твердых топлив. Показано современное положение дел, а также обозначены перспективы развития данной тематики.

Keywords: technologies and the equipment of gasification solid fuel, generating gas, pyrolysis, waste, ecology, distributed power generation, biofuel, renewed energy sources.

In present article it is considered features, advantages, characteristic signs and scopes of technologies and the equipment of gasification firm monлив. The modern state of affairs is shown, and also prospects of development of the given subjects.

Газификация растительного сырья (биотоплива) как доступного и дешевого альтернативного источника энергии взамен неуклонно дорожающих природных ископаемых источников энергии интересует большинство стран мира. В России это ощущается особенно остро в таких отраслях как лесопромышленный комплекс, сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность и другие отрасли промышленности, где накапливается большое количество не утилизируемых отходов [3]. Вообще большинство запатентованных сегодня «инновационных» технологий газификации конденсированного топлива зародились 1930-1950 годах и Советский Союз был одной из ведущих мировых держав в этой области. В 60-70-е годы прошлого века, в связи с ростом объемов добычи природного газа и нефти в мировом, энергетическом балансе произошли серьезные изменения, из-за чего конкурентоспособность газификации твердого топлива снизилась и повсеместно, за редким исключением, прекратилось производство генераторных газов (синтез-газов). И вот на стыке XX и XXI веков, в связи с тенденцией сокращения мировых запасов углеводородных ресурсов и перманентным повышением их стоимости, вновь возник повышенный интерес к технологиям газификации твердой растительной биомассы, и в первую очередь древесины.

Если проанализировать конструктивные особенности и принципы действия современных промышленных газогенераторов можно выделить четыре основополагающих инженерных решений.

1. Создание Friez Winkler в 1926 г. газогенератора с кипящим слоем. Эта технология послужила основой для многих современных процессов [6].

2. Технологии ГТТ под высоким давлением (например, газогенераторы Лурги), с использованием тепла атомных и термоядерных реакторов, с встроенными плазмотронами и множество других. Использование повышенного давления для интенсивного процесса газификации реализовано почти во всех современных промышленных газогенераторах [5].

3. Разработка Heinrich Koppers Friedrich Totsek в 1944-45 гг. пылеугольного газогенератора с жидким шлакоудалением. Первый промышленный аппарат этого типа был построен в 1952 г. в Финляндии. Пылеугольный принцип газификации с жидким шлакоудалением так же реализован во многих в промышленных аппаратах [9, 10, 11].

4. Разработка фирмой «Техасо» в 1950-е годы газификаторов для переработки тяжелых нефтяных остатков. Всего построено 160 установок. В 1970-е годы была разработана модификация аппарата «Техасо» для газификации водоугольной суспензии.

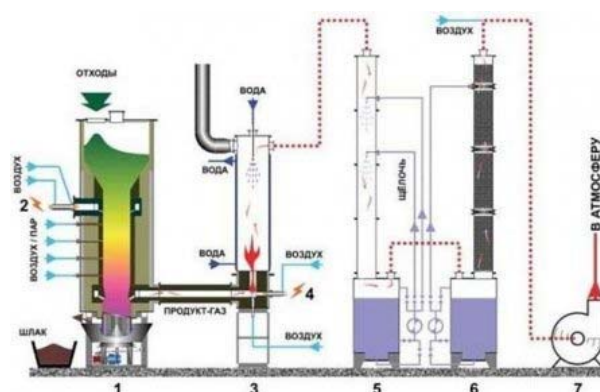


Рис. 1 – Схема плазменной установки: 1 – реактор-газификатор; 2 – генератор плазмы основной (мощностью до 50 кВт); 3 – дожигатель; 4 – генератор плазмы дополнительный (мощностью до 6 кВт); 5 – скруббер распылительный; 6 – скруббер насадочный; 7 – вентилятор вытяжной

Среди последних можно отметить технологию плазменной газификации «BioSynGas», разработанную американской фирмой «Solena», технологию «PGM», продвигаемую на территории России и стран СНГ ООО «Эко Прогресс Энерджи» («дочкой» российско-израильской компании «Environmental Energy Resources Ltd»), технологии плазменной газификации твёрдых отходов

«Московского радиотехнического института РАН» и «Института электрофизики и электроэнергетики РАН» [7].

Если раньше технологии газификации рассматривались лишь применительно к использованию для выработки тепловой энергии, то сегодня все активнее рассматриваются возможности эксплуатации газогенераторных установок (ГГУ) для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии [1].

Самым эффективным промышленным способом преобразования первичной энергии в электроэнергию является комбинированный парогазовый цикл, в котором используется только газообразное топливо, поэтому для получения электроэнергии из твердого топлива (той же древесины) его необходимо предварительно газифицировать, превратив в газогенераторный газ - смесь, состоящую в основном из водорода и монооксида углерода. Среди серьезных проблем, препятствующих широкому использованию генераторного газа, выработанного при газификации древесины, - его низкая теплотворность, а также смолообразование, которое происходит при охлаждении газа до температуры ниже 200 °С. В состав смол входит целый ряд ароматических соединений, таких как бензол, толуол, крезолы. Смола образуется на внутренних поверхностях газопроводов, на рабочих поверхностях газовой турбины и на поршневой группе газовых моторов. Поэтому при использовании генераторного газа в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) автотранспорта и танков во время Второй мировой войны и в послевоенное время, по регламенту, через весьма непродолжительный период эксплуатации требовалась полная очистка двигателя от смолы.

Надо отметить, что процесс смолообразования при газификации до конца еще не изучен. «При проектировании аппаратов газификации твердого топлива возникают затруднения, связанные с отсутствием надежных методик расчета процессов неполного горения. Это связано с тем, что не существует простых и одновременно реалистичных физико-химических моделей процессов неполного окисления реальных топлив».

Сегодня в Европе существуют три концепции решения проблем смолообразования при газификации:

- так называемая газификация без смолообразования может быть реализована только при сверхвысокой температуре, которая достигается при использовании чистого кислорода. Такая технология, применяемая в газификаторах компаний Shell, Prenflo, Carbon, в связи с очень высокой стоимостью (оборудование для получения чистого кислорода, его подача и пр.), используется только на очень больших объектах;

- очистка холодного газа и использование газовых поршневых двигателей (дизель или мотор Отто). Применяются очистка охлажденного генераторного газа водой, а также используются катализаторы и электрофилтры. В связи с

высокими инвестиционными затратами и большими издержками на утилизацию отходов (сточные воды, фильтр), такая технология не получила распространения;

- очистка горячего генераторного газа и использование газовой турбины. Самое простое решение проблемы смолообразования при газификации - не охлаждать генераторный газ ниже температуры конденсации смолы. Тогда углеводороды остаются в газовой фазе и повышают качество сгорания газа в газовой турбине. При реализации такой концепции применяют аллотермический процесс газификации рис. 2.

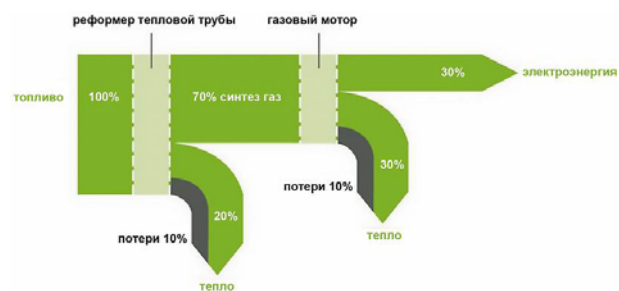


Рис. 2 – Энергетический баланс процесса газификации

По способу подвода энергии различают автотермический и аллотермический процессы газификации. При автотермическом процессе тепловая энергия для достижения необходимого температурного уровня поступает от сгорания части сырья, а при аллотермическом процессе – подводится извне. При автотермическом процессе из-за низких температур и сжигания части топлива генераторный газ загрязняется балластными примесями и вредными веществами, что снижает эффективность его дальнейшего использования [12].

Аллотермический процесс был выбран для реализации пилотного проекта в баварском регионе Ахенталь, в ФРГ. Этот проект, по мнению экспертов, должен привести к прорыву в области газификации древесины. Местная ТЭС и региональная теплоцентраль в коммуне Грассау введены в эксплуатацию в 2010 году. На топливный склад завозится щепа трех стандартов: щепа самого высокого качества по EN-нормам, которая частично продается частным лицам для личного пользования; щепа средней категории качества, которая полностью идет на газификацию; лесная топливная щепа с корой, сучьями, листьями, которая частично газифицируется, а остатки сжигаются в биотопливном котле. Тепло, вырабатываемое на этой ТЭС, поступает по 11-километровому трубопроводу к 550 частным домам и на муниципальные объекты.

Общая площадь станции с топливным складом составляет 90 м². В составе ТЭС топливный склад с транспортерами и «живым дном», газификатор на базе HR-реактора и ВНКВ (когенерационный модуль - блочный газовый мотор) мощностью 400 кВт. Общий КПД станции - 80%, так называемый КПД холодного газа - 70%.

КПД по электроэнергии - 30%. Таких показателей эффективности совсем недавно можно было достигнуть только на больших ТЭС. Газификатор выполнен в виде цилиндра диаметром всего 850 мм и смонтирован на бетонном фундаменте $2,5 \times 2,5$ м, а верхняя часть установки изготовлена из специального прозрачного материала и в темноте светится бледно-зеленым цветом - за счет непрерывно происходящих химических процессов газификации.

Газификатор, как было сказано выше, работает по принципу аллотермического процесса газификации в циркуляционном кипящем слое. Газовым потоком путем подачи водяного пара создается кипящий (псевдооживленный) слой из песка и топлива во взвешенном состоянии. Кипящий слой - специфическое состояние слоя мелкозернистого материала, который продувается потоком газа. За счет большой турбулентности обеспечивается интенсивное движение частиц топлива и песка, которые при температуре 800 °С и преобладании в газовой смеси водорода и окиси углерода начинают распадаться. Песок и крупные негазицированные частички топлива возвращаются в зону газификации. При дальнейшем увеличении скорости потока газа, излишки газа, сверх необходимого для псевдооживления, проходят через слой в виде пузырей, что создает эффект, схожий с бурно кипящей жидкостью, отчего и возникло название «кипящий слой». При использовании описанного выше метода на выходе получается в 2,25 раза больше генераторного газа, чем при газификации путем подачи воздуха. Разумеется, требуется дополнительный подвод тепла [2].

Камера сгорания представляет собой цилиндр высотой 8 м (1/3 общей высоты сооружения), расположенный ниже газификатора. Около 3/4 используемой для газификации биомассы поступает напрямую в газификатор-реформер, а 1/4 - в камеру сгорания. В момент, когда в газификаторе достигается давление 4-5 бар, дутьевым вентилятором в зону горения (окисления) снизу начинается подача воздуха рис. 3.



Рис. 3 – Схема процесса газификации

Для достижения максимальной эффективности процесса выполняется отбор дымовых газов из камеры сгорания и отвод тепла из газификатора для подготовки пара. За счет этого

генераторный газ охлаждается до 300 °С перед прохождением через патронный фильтр, который задерживает песок и крупные частицы топлива и направляет их снова в камеру сгорания. Для очистки от смол с помощью рапсметилэфира (РМЭ) используется специальное устройство: скруббер. Очистка газов от примесей с помощью скрубберов относится к мокрым способам. Этот способ основан на промывке газа жидкостью (РМЭ) при максимальной поверхности контакта жидкости с частицами аэрозоля и самом интенсивном перемешивании очищаемого газа с жидкостью.

В скруббере за счет испарения происходит охлаждение генераторного газа - сначала до 120 °С, далее примерно до 75 °С. Вследствие этого конденсируется водяной пар, составляющий 35-40% объема синтез-газа. Расход РМЭ - около 4 л в час, воды - 60 л в час. Около 3% водяного пара остается в объеме синтез-газа, который сжигается в модуле ВНКВ и выводится с выхлопными газами. РМЭ, который содержит после фильтрации длинные цепи углеродов в виде смол и дегтя, сжигается в камере сгорания.

Для газогенерации с использованием водяного пара необходим эффективный подвод тепла извне. Инновационный метод Heatpipe-Reformer состоит в том, что проблема подвода тепла решается просто и малозатратно, с помощью так называемых Heatpipes (закрытых трубок с внутренней капиллярной структурой, заполненных рабочей жидкостью - жидким натрием или калием, - которая испаряется в зоне горения и конденсируется в охлаждаемой зоне). По этим трубкам можно переносить необходимые потоки тепла при незначительном перепаде температуры, что повышает эффективность теплообмена между камерой сгорания и реформером (газификатором). При этом достигается значительный коэффициент теплообмена и подвод тепла лимитируется только теплообменом поверхностей трубок и кипящего слоя. По капиллярам внутренней структуры трубок происходит обратный сток конденсата.

Краткие технические характеристики вышеописанного газификатора: генерация электроэнергии - 400 кВт, генерация тепловой энергии - 630 кВт при температуре 90/70 °С, теплотворность генераторного газа (синтез-газа) - 11 000 кДж/м³, что в два с лишним раза превышает теплотворность газа при газификации по автотермическому процессу; используемое топливо - пеллеты, щепа, древесные отходы после ландшафтных работ (ухода за парками, посадками вдоль автобанов, ветрозащитными лесополосами и др.) влажностью до 25%. Годовое потребление - 2000 т в пересчете на сухую основу.

Технология была разработана в Техническом университете Мюнхена, первый прототип изготовлен еще в 2002 году. Функциональный принцип Heatpipes применяется во многих технических разработках, например при охлаждении процессоров в компьютерах. Тестовая модель с микротурбиной испытывалась в 2004 году. Перед разработчиками технологии была поставлена

цель: реализовать стандартные проекты такой газификации в малой, децентрализованной, энергетике.

На кафедре ПДМ КНИТУ с 2004 года ведутся исследования по газификации древесных отходов [1-35]. В настоящее время исследования по газификации преследуют цель получить синтез-газ для синтеза новых веществ. На рис. 4 представлена схема, разработанной технологии плазменной газификации древесной биомассы с получением метанола.

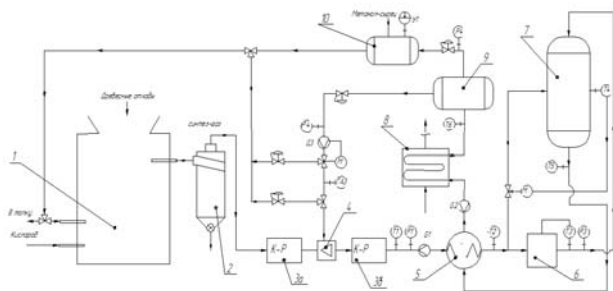


Рис. 4 – Схема получения метанола из древесной биомассы

Согласно представленной схеме, синтез-газ полученный путем плазменной газификации древесных отходов газогенераторе 1, проходит очистку от золы и мелкодисперсных частиц в циклоне 2. После циклона синтез-газ поступает в компрессор 3а, для компримирования до 4 МПа. Полученный сжатый газ смешивается в газовом эжекторе 4 с циркуляционным газом, поступающим из сепаратора 9 и подается в дожимной компрессор 3б, на выходе из которого газ имеет давление 5,6 МПа.

После компримирования синтез-газ поступает в трубное пространство рекуперативного теплообменника 5, где газ нагревается за счёт тепла газа, отходящего из реактора синтеза метанола и проходящего по межтрубному пространству. Температура нагретого газа на выходе из теплообменника составляет 180-230 °С.

Далее газ проходит электронагреватель 6, где полученная смесь газов подогревается до температуры не более чем 250 °С. Электронагреватель работает преимущественно в пусковой период, а также служит для поддержания оптимальной температуры газа перед входом в реактор синтеза. Электронагреватель представляет собой систему трубок и нагревательных лент, расположенных на цилиндрической обечайке.

До электронагревателя газ разделяется на два потока – основной и вспомогательный. Основной поток, пройдя электронагреватель, поступает в верхнюю часть реактора синтеза 7, а вспомогательный охлаждающий поток (байпас) подается в боковую часть реактора, так как газ, проходя через катализатор в реакторе нагревается в результате протекания экзотермических реакций, и может достигать свыше 300 °С, что не приемлемо. Из реактора парогазовая смесь выходит с температурой не более 280 °С и объёмной долей метанола 3,0-5,0 %.

Далее газ поступает в трубное пространство рекуперативного теплообменника 5, где охлаждается до температуры около 150 °С. После теплообменника 5 газ доохлаждается в аппарате водяного охлаждения 8, до 40°С.

Конденсирующаяся смесь метанола и воды (метанол-сырец) поступает в сепаратор 9, где отделяется от циркуляционного газа, проходя сепарирующие устройства, и поступает в сборник метанола-сырца 10. Давление циркуляционного газа на выходе из сепаратора контролируется. С целью исключения возможности накопления циркуляционного газа выше регламентируемой нормы датчик расхода, установленный на выходе из сепаратора, подает сигнал на привод регулируемого клапана для сброса лишнего газа. При снижении расхода ниже заданного значения клапан закрывается. Для контроля состава реакционного газа на выходе из газогенератора и сепаратора установлены пробоотборники, через которые газы постоянно поступают в газоанализатор, который контролирует концентрации компонентов в смеси газов. Не соответствующий заданным параметрам циркуляционный газ отправляется на сжигание в топку.

Весь подпор давления в системе получения метанола обеспечивается регуляторами давления, каждый из которых имеет свой заранее установленный диапазон регулирования.

В сборнике метанола-сырца 10 помимо жидкой фазы содержится и газообразная, которая впоследствии в виде танковых газов удаляется из сборника и отправляется на сжигание в топку.

Нужно отметить, что в мире ведутся интенсивные исследования в области переработки синтез-газа в метанол, являющиеся сырьем для получения ряда важных промышленных продуктов. При определенных условиях переработка сырья в химическую продукцию становится экономически целесообразной и выгодной.

В Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года указано, что к 2020 году совокупная доля возобновляемых источников в производстве электроэнергии без учета крупных ГЭС должна составить 4,5% (во всем мире – 20%). Сегодня эта доля всего 0,5%. Так что у биоэнергетики есть большой потенциал для развития, но для его реализации требуется поддержка государства [4].

Литература

1. Копытов В.В., Состояние дел и перспективы ФГУП «ММПП «САЛЮТ» в области газификации твердых топлив. *Альтернативная энергетика и экология*, 10 (90), 187–195 (2010).
2. Сыромятников, Н.И., Волков В.Ф. *Процессы в кипящем слое*, Металургиздат, Москва, 1959. 248 с.
3. Загруднинов, Р.Ш. Нагоров А.Н., Сеначин П.К. *Ползуновский вестник*, 3, 40–47 (2007).
4. Гинсбург Д. Б. [и др.]; под. ред. Швецова Б. С. *Газогенераторные установки* Легкая пром-сть, Москва, 1936. 316 с.
5. Саламанов А.А., Установки для сжигания и газификации древесных отходов /А.А. Саламанов // *Промышленная энергетика*.- 1985.-№2.-С.52-54.

6. Современные тенденции развития систем газификации угля / Д.Ф. Серант (и др.) // Промышленная энергетика. - 2009. - №2. - С.2-9.
7. Копытов, В.В. «Газификация твердых топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития.», <http://alternativenergy.ru/knigi/002/238-gazifikaciya-tverdogo-topliva-ch-9.html>
8. Копытов В.В. Газификация твердых топлив: оборудование и технологии. Журнал «Твердые бытовые отходы», 10 / 2010; (<http://www.solidwaste.ru/publ/view/608.html>)
9. Основы химии и технологии мономеров, Н.А. Платэ, Е.В. Сливинский, 2002 г. (<http://monomers-book.ru/book/2-1>)
10. Сергей П. (Германия), Инновационная технология газификации древесины, Журнал, ЛесПромИнформ №4 (94) 2013 (<http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3177>)
11. Регина Б, «ЛеспромИнформ» № 3 (85) 2012, Биоэнергетика в России: опыт внедрения, С.168
12. Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин Анализ современного состояния лесопромышленного комплекса и перспективы его развития на базе кафедр лесотехнического профиля КГТУ // Вестник Казанского технологического университета. – 2010 г. - №4 - С. 120-130.
13. Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин Перспективы развития лесопромышленного комплекса Республики Татарстан на базе научных разработок кафедр лесотехнического профиля КНИТУ // Деревообрабатывающая промышленность. – 2012 г. - №3 – С. 22-27.
14. А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, Р.Г. Сафин Использование методов приближения при моделировании процесса термической переработки древесных отходов // Химия и химическая технология. 2004 г. – Т.47. - № 10 с.137-140.
15. Патент РФ № 2232348. Установка для термической переработки твердых отходов / Сафин Р.Г., Башкиров В.Н., Грачев А.Н. и др. – Бюл. № 18, 2004 г.
16. А.Н. Грачев Совершенствование техники и технологии процесса термической переработки древесных отходов // Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Иваново, 2005 г. – 16 с.
17. Патент РФ № 2274851, МПК G01N 25/50. Устройство для определения параметров воспламенения и горения твердых материалов / н.Ф. Тимербаев, А.Н. Грачев, Р.Р. Сафин и др.; патентообладатель НТЦ РТО; опубл. 20.04.2006
18. Н.Ф. Тимербаев Экспериментальный стенд для исследования процесса сжигания древесных частиц. – Успехи в химии и химической технологии. / Казань Т.ХVIII №3(43). – 2004. – С.95-97
19. Н.Ф. Тимербаев повышение эффективности энергетического использования древесных отходов / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Иваново, 2007 г. – 16 с.
20. Патент РФ № 2256686, МПК C10B 1/04. Углевывжигательная печь / Н.Ф. Тимербаев, А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин и др.; патентообладатель НТЦ РТО; опубл. 20.07.2005
21. Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин, И.В. Валеев Экспериментальное исследование влияния давления при пиролизе древесины // Вестник Казанского технологического университета // № 1. – 2005. – С. 256-260.
22. Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин, И.В. Валеев Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды // Вестник Казанского технологического университета // № 2. – 2005. – С. 168-174.
23. Т.Д. Исхаков, А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин К вопросу утилизации отработанных деревянных шпал / Известия Самарского научного центра РАН Самара. – 2008. – С.21-24
24. А.Н. Грачев Разработка методов расчета технологии и оборудования пирогенетической переработки древесины в жидкие продукты / Автореферат дисс. док. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2012 г. – 36 с
25. Н.Ф. Тимербаев Техника и технологии термической переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: монография / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2010-172 с.
26. Н.Ф. Тимербаев Совершенствование техники и технологии процесса газификации высоковлажных древесных отходов: монография / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Хисамеева, Т.Д. Исхаков; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2012-95 с.
27. Н.Ф. Тимербаев Комплексная энерготехнологическая переработка древесных отходов с применением прямоточной газификации: монография / Н.Ф. Тимербаев; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2011 – 248 с.
28. Н.Ф. Тимербаев Математическое описание процесса термической переработки влажных древесных отходов методом прямоточной газификации / Н.Ф. Тимербаев // Вестник Казанского технологического университета. 2012 г. - № 1. – с. 101-105
29. Baker, E.G., L.K. Mudge and O.H. Mitchell, 1984. Oxygen. Steam gasification of wood in a fixed-bed gasifier. Ind. and Eng. Chem. Proc. Des. and Dev., 23: 4, 725-728.
30. Kansa, E.J., H.E. Perlee and R.F. Chaiken, 1977. Mathematical model of wood pyrolysis including internal forced convection. Combustion and Flame, 29:311-324.
31. Havens, J.A., H.T. Hashemi and L.E. Brown, 1972. A Mathematical Model of the Thermal Decomposition of Wood. Combust Sci. and Technol., 5:91-98.
32. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Садртдинов, А.Р. Хисамеева Моделирование процесса прямоточной газификации древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. - №7 - С. 75-79.
33. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Хисамеева Газификация органических видов топлива // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. - №1 - С. 326-329.
34. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова, Д.А. Ахметова Исследование восстановительной зоны процесса газификации древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. - №8 - С. 90-96.
35. Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, А.Р. Хисамеева, Д.А. Ахметова Газификация влажных древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012 г. - №17 - С. 195-199.
36. А.Р. Садртдинов Совершенствование техники и технологии процесса газификации отходов деревообработки / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2011 г. – 16 с.
37. З.Г. Саттарова Совершенствование технологии переработки древесных отходов в генераторный газ / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский

- государственный технологический университет, Казань, 2013 г. – 16 с.
38. А.Р. Хисамеева Разработка техники и технологии термохимической переработки влажных древесных отходов в метанол / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2013 г. – 16 с.
 39. Н.Ф. Тимербаев Комплексная энерготехнологическая переработка древесных отходов с применением прямоточной газификации / Автореферат дисс. докт. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2012 г. – 38 с.
 40. Патент РФ № 2507238. Способ получения синтез-газа из древесных отходов / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова, Л.М. Исмагилова и др. патентообладатель КНИТУ, опубликовано 20.02.2014 Бюл. № 5.
 41. Патент № 2478604 Способ получения метанола КНИТУ опубликовано 10.04.2013 Бюл. № 10.
 42. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова, Т.Х. Галеев Разработка технологии получения моторного топлива из отходов деревообработки // Вестник Казанского технологического университета. – 2012 г. - №11 - С. 205-207.
 43. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Т.Х. Галеев Разработка технологии получения метанола из древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 г. - №3 - С. 168-170.
 44. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Л.М. Исмагилова Технология переработки древесных отходов в диметиловый эфир // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 г. - №7 - С. 95-97.
 45. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Д.А. Ахметова, А.Г. Мухаметзянова Разработка технологии переработки высоковлажных древесных отходов с целью получения моторного топлива // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 г. - №19 - С. 211-213.
 46. Н.Ф. Тимербаев, Т.Х. Галеев Производство метанола из древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 г. - №1 - С. 12-15.

© **Н. Ф. Тимербаев** – д.т.н., профессор кафедры переработки древесных материалов КНИТУ, tnail@rambler.ru; **А. Р. Садртдинов** – к.т.н., доцент каф. ПДМ КНИТУ, dog_home@mail.ru; **И. Н. Ковернинский** – д.т.н., профессор МГУЛ, kovern@list.ru; **Л. Р. Смирнова** – магистрант каф. ПДМ КНИТУ, lavaciya@rambler.ru; **Т. Х. Галеев** – аспирант каф. ПДМ КНИТУ, aksissound@gmail.com; **Д. А. Ахметова** – к.т.н., доцент каф. ПДМ КНИТУ, pdm_d@list.ru.

© **N. F. Timerbaev** – doctor of engineering, professor of chair of processing of wood materials KNRTU, tnail@rambler.ru; **A. R. Sadrtidinov** – candidate of technical sciences, associate professor of processing of wood materials KNRTU, dog_home@mail.ru; **I. N. Koverninsky** – doctor of technical sciences, professor of MSFU, kovern@list.ru; **L. R. Smirnova** – undergraduate of chair of processing of wood materials KNRTU, lavaciya@rambler.ru; **T. H. Galeev** – graduate student of chair of processing of wood materials KNRTU, aksissound@gmail.com; **D. A. Ahmetova** – candidate of technical sciences, associate professor of processing of wood materials KNRTU, pdm_d@list.ru.