

Р. Г. Сафин, Д. Ф. Зиятдинова, Н. Ф. Тимербаев,
Д. А. Ахметова

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕСЯ ВЫДЕЛЕНИЕМ ПАРОГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Ключевые слова: термические процессы, гомогенные, гетерогенные реакции, парогазовая фаза, газоочистка, математическое моделирование, конденсация, испарение, абсорбция.

Проведен обзор исследований по термохимическим процессам переработки древесных материалов, сопровождающимся выбросами парогазовой смеси. Выявлено влияние основных режимных параметров на процесс газоочистки, области использования разработанных способов и аппаратных оформлений термохимических способов переработки древесных материалов.

Keywords: thermal processes, homogeneous, heterogeneous reactions, vapor-gas phase, gas cleaning, mathematic modeling, condensation, evaporation, absorption.

A review of studies on the thermochemical process of processing wood materials emissive gas mixture. The influence of the main regime parameters on the process of scrubbing, the use of the developed methods and hardware design methods of thermochemical processing of wood materials.

Одним из факторов, сдерживающих развитие предприятий лесопромышленного комплекса (ЛПК) является низкий уровень их технической оснащенности, приводящий к образованию большого количества токсичных выбросов парогазовой смеси, ведущий к катастрофическому уровню техногенного воздействия на окружающую среду [1].

Наиболее ярким представителем таких производств в целлюлозно-бумажной промышленности является периодический процесс сульфатной варки целлюлозы [2]; в лесохимических предприятиях можно выделить процессы пиролизного производства [3,4], экстрагирования веществ из коры и зелени древесины [5]; среди деревообрабатывающих предприятий имеются выбросы токсичных парогазовых смесей на производствах плитной продукции экструзионным методом [6], при энергетической переработке древесных отходов [7,8,9].

В настоящее время проблема охраны окружающей среды решается путем присоединения к действующему технологическому процессу дополнительного оборудования для улавливания парогазовой среды. Для снижения концентрации выделяющейся парогазовой среды на многих предприятиях идут по пути интенсификации работы газоочистного оборудования за счет разработки новых контактных устройств, интенсификации гидродинамических режимов контактирования и интенсификации процесса массопередачи путем подбора новых реагентов и сорбентов.

В результате традиционный подход к решению проблем, связанный с усовершенствованием газоочистного оборудования является малоэффективным. Более эффективным является комплексный подход, заключающийся в создании новых технологий и аппаратных оформлений, включающих в себя систему газоочистки.

К наиболее опасным производствам относятся: процессы производства целлюлозы,

термохимические методы переработки древесины, производства древесно-полимерных композиционных материалов [10,11], процессы экстракции веществ из древесных материалов. В результате анализа способов и оборудования для газоочистки от токсичных выбросов отмечено, что в ЛПК для очистки отходящих парогазовых смесей применяются в основном методы конденсации и абсорбции.

Физическая картина процессов термохимической переработки древесных материалов [12–22], сопровождающихся парогазовыми выбросами вредных веществ в атмосферу и снабженных совмещенной системой газоочистки представлена на рис. 1.

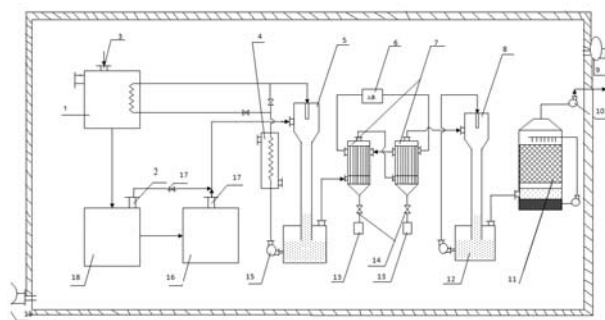


Рис. 1 - Структурная схема процессов термохимической переработки древесных материалов, снабженных совмещенной системой газоочистки

Структурная схема включает в себя участок подготовки древесного сырья 1 (сушка до необходимого влагосодержания, измельчение до требуемой фракции, прогрев до определенной температуры, предварительная химическая обработка), реактор для проведения термохимического процесса 18 (термомодификация, пластификация, варка, термическая переработка), участок разгрузки переработанного древесного

материала 16 (выдувной резервуар, разгрузочная площадка), систему газоочистки (конденсацию, абсорбцию, адсорбцию, каталитическую очистку).

При необходимости предварительной сушки или прогрева исходного древесного материала до определенных параметров, может быть использована теплота химической реакции.

Любой из аппаратов или группы аппаратов существующего реального технологического процесса на данной схеме изображаются в виде камеры, расположенной в помещении цеха и снабженной патрубками для загрузки компонентов 3 и для отвода из камеры образующейся парогазовоздушной смеси 2. В результате осуществления технологической операции, сопровождаемой иногда химической реакцией между компонентами композиции, в камере образуются потоки паров и неконденсирующихся газов. Для обеспечения нормальных санитарных условий в помещении (концентрация выделяющихся паров и газов в воздухе рабочей зоны должна поддерживаться на уровне, не превышающем предельно допустимой концентрации – ПДК) камера должна быть сообщена устройством откачки парогазовой смеси с технологического оборудования, также в помещении должна быть приточно-вытяжная вентиляция 9, 19. Для очистки отходящих газов перед выбросом их в атмосферу на линии устанавливаются устройства газоочистки: конденсатор – 5,7, абсорбер, 11 - адсорбер или их комбинация. Согласно представленной схеме осуществляются существующие процессы переработки древесных материалов на большинстве предприятий ЛПК. Анализ способов осуществления процессов в деревообрабатывающей промышленности по данной схеме позволил выявить несколько возможных вариантов их реализации.

Исследуемый процесс протекает следующим образом: в камеру - 18 непрерывно с постоянной скоростью загружается перерабатываемый древесный материал определенного состава, за счет теплосодержания загружаемых компонентов и теплоты химической реакции в результате выполнения технологической операции в камере повышается температура и образуются потоки пара и газа. Снижение давления за счет непрерывного отвода образующейся парогазовой смеси приводит к образованию градиента парциального давления, являющегося движущей силой процесса конверсии компонента. Конверсия возвращает систему в новое состояние. При этом равновесное состояние системы будет характеризоваться новой совокупностью термодинамических параметров: температурой, давлением и составом композиции. Движение потоков пара и газа определяется разностью давлений в свободном объеме камеры и в системе газоочистки [23].

Поток массы пара i -го компонента с поверхности жидкости при испарении за счет изменившегося парциального давления и

температуры жидкой фазы определяется соотношением:

$$j_i = \frac{dm_{\text{исп}}}{F \cdot d\tau} = \frac{m_{\text{см}} d\bar{x}_{i \text{ исп}}}{F \cdot d\tau}. \quad (1)$$

Скорость химической реакции численно может быть определена изменением весовой концентрации i -го компонента в единицу времени:

$$\omega_i = - \frac{d\bar{x}_{i \text{ х.р.}}}{d\tau}. \quad (2)$$

Величина скорости прямой реакции в каждый момент времени пропорциональна произведению объемных концентраций реагирующих веществ и определяется из соотношений:

для гомогенных систем

$$\frac{dC_i}{d\tau} = k \prod_{i=1}^n C_i^{\chi_i} \quad (3)$$

для гетерогенных систем

$$\frac{dC_i}{d\tau} = KF \prod_{i=1}^n C_i \quad (4)$$

где K – коэффициент массопередачи, осложненный химическим превращением.

При выгрузке реакторов за счет технологического давления с учетом допущения об идеальном перемешивании компонентов парогазовой смеси дифференциальные уравнения материального баланса для компонентов газовой смеси и смеси паров имеют вид:

– по газу

$$j_{\text{г}} F_3 + j_{\text{в}} F_2 - Q_{\text{гв}} \rho_{\text{гв}} = V_{\text{св}} \frac{d\rho_{\text{гв}}}{d\tau}; \quad (5)$$

– по пару

$$j_{\text{п}} F_3 - Q_{\text{п}} \rho_{\text{п}} = V_{\text{св}} \frac{d\rho_{\text{п}}}{d\tau}. \quad (6)$$

В уравнении (5) первый член левой части характеризует приток газовых компонентов; второй член – натекание воздуха через имеющиеся неплотности и технологические отверстия; третий – отвод газовой смеси системой откачки. В уравнении (6) первый член левой части характеризует приток паровых компонентов смеси; второй член – отвод образующихся паров системой откачки паров. Правая часть уравнений (5) и (6) представляет собой изменение в объеме аппарата массы газовой и паровой смесей соответственно.

Уравнение теплового баланса паровой смеси определяется по соотношению:

$$\rho_{\text{см}} C_{\text{см}} V_{\text{св}} dT = c_{\text{см}} F T \left(\sum_{i=1}^2 j_i \right) d\tau - Q_{\text{к}} \rho_{\text{см}} C_{\text{см}} T d\tau \quad (7)$$

Алгоритм расчета термодинамических процессов переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами парогазовых смесей представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

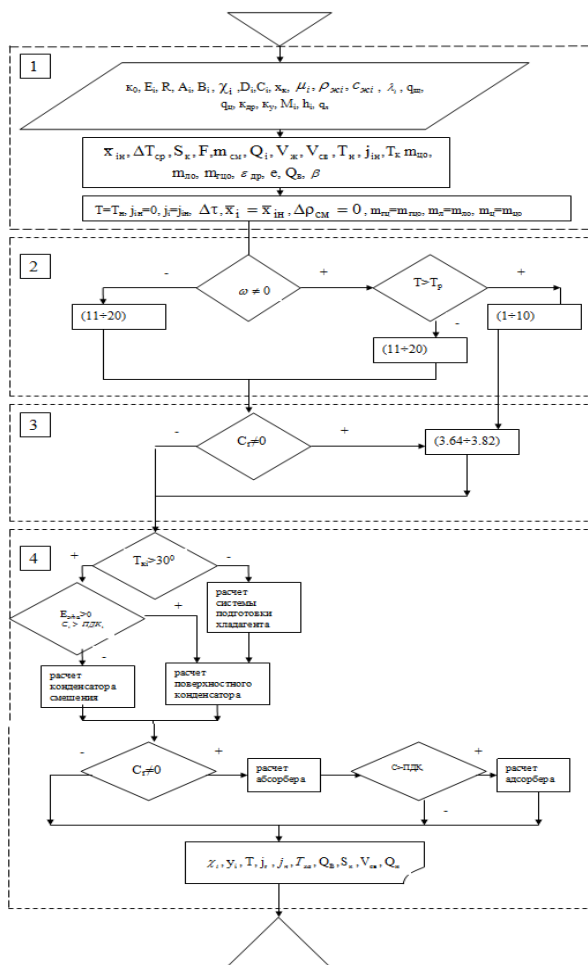


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма расчета системы газоочистки по обобщенной математической модели

Алгоритм расчета состоит из четырех блоков. В первом блоке вводятся теплофизические характеристики исходных веществ, константы уравнений, варьируемые переменные, величина временного шага и исходные данные для расчета первого шага, задаются условия расчета. Далее представлен цикл, в котором оператором перехода является наличие химической реакции $\omega \neq 0$, вид химического разложения древесины. При термическом разложении древесины ($T > T_p$) расчет ведется с учетом скоростей химических реакций: для гомогенных систем по уравнению (3) или гетерогенных систем по уравнению (4).

При отсутствии химических превращений или после завершения химических процессов ($\omega_i = 0$) ведется расчет паровой фазы в выдувном резервуаре с использованием упрощенных уравнений теплового и материального баланса (5÷7), в которых отсутствуют члены, описывающие химические процессы.

При учете в паровой фазе неконденсирующихся газов $C_r \neq 0$ расчет ведется с введением III блока с системой уравнений, включающей выражение (3).

В четвертом блоке осуществляется выбор системы газоочистки. При отсутствии в выбросах

газовой составляющей ($C_r = 0$) улов токсичных или ценных компонентов из паровой смеси осуществляется конденсацией.

При этом, если температура конденсации паров не превышает 30°C , то требуется подготовка хладагента с применением холодильных устройств.

При улавливании ценных $\Delta_{\text{эфф}} > 0$ или токсичных паров $C_i > \text{ПДК}_i$ целесообразно применять поверхностные конденсаторы.

Для улавливания парогазовых выбросов ($C_r \neq 0$) необходимо устанавливать абсорбера, а для достижения более глубокой очистки при $C_i > \text{ПДК}_i$ рекомендуются адсорбционные устройства. При выполнении всех заданных условий происходит завершение работы программы.

В результате расчетов получаем не только кинетические зависимости конкретного технологического процесса, сопровождающегося выделением парогазовой смеси, но и осуществляется выбор системы газоочистки [1,5,6].

На рис. 3. представлены кинетические зависимости концентрации токсичных компонентов и плотности паровой фазы в выдувном резервуаре при сульфатной варке целлюлозы.

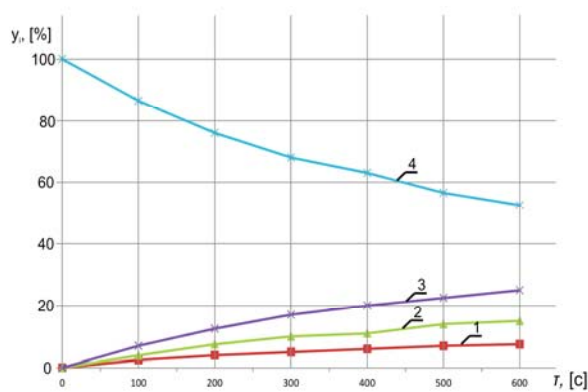
Анализ кинетических кривых изменения концентраций показывает равномерный характер их изменения. Уменьшение концентрации черного щелока в выдувном резервуаре связано с тем, что конденсируется в первую очередь высококипящая жидкость, поэтому концентрации остальных компонентов возрастают.

Кинетическая зависимость плотности паровой фазы хорошо согласуется с характером изменения давления в выдувном резервуаре.

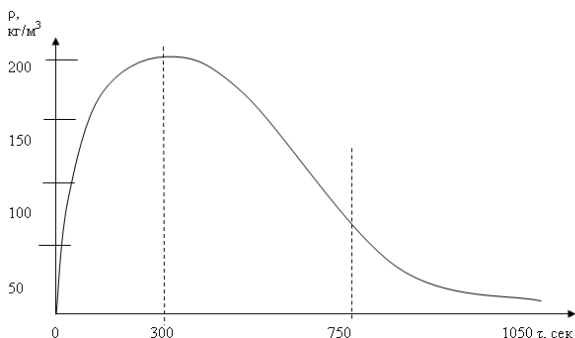
Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показывают, что при разгрузке варочного котла в соответствии с усовершенствованным технологическим процессом варки [2,32] в выдувном резервуаре возникают избыточные давления, которые требуют внесения соответствующих поправок при расчете толщины обечайки выдувного резервуара.

Методика расчета конструктивных элементов установки сульфатной варки целлюлозы должна быть согласована с работой системы конденсации паров выдувки.

В работе [1] приводится описание разработанных технологий и оборудования для организации процессов переработки древесных материалов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы (см. рис. 4). Разработанные технологии и оборудования, защищенные патентами РФ, предназначены для гидротермической обработки древесных материалов (сушки, пропитки экстрагирования веществ из зелени и коры древесных материалов), для производства новых видов продукции (древесно-стружечных плит, метанола, термомодифицированной древесины, древесного угля) для производства целлюлозы, для термической переработки древесных отходов (сжигания, газификация, пиролиза).



а



б

Рис. 3 - Кинетические кривые: а) концентрации токсичных веществ в выдувном резервуаре: 1- метилмеркаптан, 2- диметилсульфид, 3 – сероводород, 4 - черный щелок; б) плотность паровой фазы



Рис. 4 - Классификация разработанных технологий и оборудования для переработки древесных материалов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы, защищенных патентами РФ

Анализ разработок по гидротермической обработке древесных материалов показывает, что для улавливания выделяющейся парогазовой смеси применима объемная или поверхностная конденсация, поэтому для гидротермической обработки древесно-композиционных материалов целесообразно применение вакуумной техники. Такой подход позволяет не только улавливать ценные компоненты, но и интенсифицировать протекающие процессы испарения, сушки, пропитки, экстрагирования [24-27]. В разработанной

установке осциллирующей сушки древесины отсутствует дорогостоящее компрессорное оборудование и вакуумный насос, а необходимая мощность парогенератора может быть достигнута использованием дешевого теплоносителя – отработанного пара или работой парогенератора на отходах деревообработки [28].

Высокая концентрация вредных веществ в зоне обслуживания экструзионных прессов при производстве древесно-стружечных плит ликвидирована путем совмещения экструдера [6,29,30] с устройством улавливания пыли и летучих компонентов.

Для очистки отходящей парогазовой смеси при производстве целлюлозы от метилмеркаптана, диметилсульфида и сероводорода использована многоступенчатая система конденсации [31,32], с использованием абсорбции неконденсирующихся паров.

Сжигание древесных отходов, содержащих полимерные включения, сопровождается выделением копоти и токсичных веществ. В связи с этим разработана установка для термической переработки твердых отходов, позволяющая ликвидировать указанные недостатки [33,34,35].

Установка б) позволяет перерабатывать древесные отходы, содержащие полимерные включения, такие как резина, пластмассы, смолы, полиэтилен и др., а дожигание отходящих газов совместно с пиролизными газами способствует не только сокращению вредных выбросов в атмосферу, но и повышению КПД установки.

Производство древесного угля в углевыжигательных установках сопровождается выделением в атмосферу большого количества токсичных газов. Применение известных способов газоочистки сопряжено дальнейшими капитальными затратами и характеризуется ненадежностью. В связи с этим были разработаны непрерывно-действующие установки для производства древесного угля [3,4].

При выделении с технологических процессов горючих газовых выбросов наиболее эффективным способом газоочистки является сжигание. В [35] представлена установка, разработанная для сжигания газовых выбросов, позволяющая производить полное их термическое окисление.

Анализ представленных разработок технологий и аппаратного оформления процессов переработки древесных материалов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы показывает, что система газоочистки в них осуществляется методом конденсации, абсорбции, сжигания или их конверсии.

Совершенствование технологий переработки древесных материалов заключается в том, что система газоочистки, выбранная в зависимости от физико – химических свойств улавливаемых компонентов, должна вписываться в технологический процесс, изолируя тем самым рассматриваемую технологию от окружающей среды.

Такой подход позволяет интенсифицировать тепло-массообменные процессы, протекающие внутри технологического процесса и сократить тем самым габаритные размеры системы газоочистки. При этом часть выделяющихся компонентов может рециркулировать внутри технологического процесса и снизить потребление исходного сырья.

В работе [1] приведены результаты промышленной реализации процессов переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами парогазовой смеси. Для расчета технологических параметров и отдельных систем газоочистки технологических комплексов по переработке древесных материалов приведены методики расчета устройств конденсации паровой смеси, устройств сжигания горючих газов, а также аэродинамический расчет парогазового тракта разработанных технологических комплексов.

Для ликвидации выбросов указанных дурнопахнущих веществ в атмосферу по результатам полупромышленных испытаний и на основе инженерной методики расчета была спроектирована усовершенствованная технологическая схема процесса разгрузки варочного котла после сульфатной варки целлюлозы [31,32].

Внедрение усовершенствованной технологической схемы разгрузки варочного котла при сульфатной варке целлюлозы исключает выбросы диметилсульфида, метилмеркаптана, сероводорода в атмосферу и позволяет получить экономический эффект только от предотвращения экологического ущерба в размере более 2 млн. руб.

Результаты приведенных исследований на пилотной установке показали возможность совершенствования аналогичных процессов в других отраслях промышленности.

На ОАО «Нэфис-косметик» внедрены [36,37,38]: установка для извлечения жирных кислот из soapстоков установка безреактивного расщипления жиров, на ГУП «Муромский приборостроительный завод» усовершенствована технологическая схема получения наполненных пластиков экструзией [30], на ОАО «Нижекамский шинный завод» внедрено вытяжное устройство на участке зарядки аккумуляторных батарей [39,40].

Внедрение установки для извлечения жирных кислот из soapсточного мыла позволило не только снизить выбросы токсичных веществ до ПДК, но и интенсифицировать процесс разложения за счет изменения избыточного давления; а соответственно и температуры варки soapсточного мыла.

Результатами исследований по совершенствованию термохимических процессов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы отражены в кандидатских диссертациях Сунгатуллиной Г.И. (Игнатьевой Г.И.) [41], Мозохина М.А. [42], Просвирикова Д.Б. [43] и докторской диссертации Зиятдиновой Д.Ф. [44,45]. Проведенный обзор исследований по термохимическим процессам, сопровождающимся

выделением парогазовой фазы показывает, что предлагаемый подход к решению проблем газоочистки эксплуатационных установок, заключающийся в совмещении источников газообразования со стоками в единой установке, является основой создания новых технологий и аппаратурных оформлений термохимических процессов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы.

Литература

1. Зиятдинова Д.Ф. Ресурсо- и энергосберегающие технологии и аппаратурное оформление процессов, сопровождающихся выделением газовой фазы: Монография / Д.Ф. Зиятдинова, В.Н.Башкиров, Р.Г.Сафин - Казань: КГТУ, 2008. – 168 с.
2. Патент № RU 2425917. Российская федерация, МПК D21C 3/02 Способ получения сульфатной целлюлозы / Р.Г.Сафин, Р.Р.Сафин, Д.Б.Просвириков, Р.Зиятдинов, Т.Д.Просвирикова, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 10.08.2011.
3. Патент № 2463331 Российская Федерация МПК C10B 53/02 Способ производства древесного угля / Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Р.Р. Сафин, Р.Г.Сафин, И.И. Хуснуллин, В.В. Степанов, А.Е. Воронин, Д.А. Ахметова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр «Альтернативная энергетика»»; опубл. 10.10.2012.
4. Патент № 2468061 Российская Федерация МПК C10B1/04 Установка для производства древесного угля Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Р.Р. Сафин, Р.Г.Сафин, А.Е. Воронин, А.Р. Садртдинов, И.И. Хуснуллин; патентообладатель ООО «Научно – технический центр «Альтернативная энергетика»»; опубл. 27.11.2012.
5. Патент № 2404238 Российская Федерация, МПК C11B 9/02. Способ комплексной переработки древесной зелени / Р.Р. Сафин, А.Е. Воронин, Р.Г. Сафин, Е.Ю. Разумов, Е.К. Воронин, П.А. Кайнов, Д.Ф. Зиятдинова, Н.Ф. Тимербаев; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 20.11.2010.
6. Патент № 2185961 Российская Федерация, МПК В 29 С 47/76. Установка для получения наполненных пластиков, преимущественно стекловолокна / Р.Г.Сафин, В.А.Лашков, Е.К.Воронин, О.И.Окишев, А.А.Нелюбин, Д.Ф. Зиятдинова и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 28.03.2001.
7. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З. Г. Саттарова Техника и технология термической переработки отходов деревообрабатывающей промышленности / Казан. гос. техн. ун-т, Казань: КГТУ, 2010-172 с.
8. Патент №2453768 Российская Федерация, МПК F23G 5/027 Газогенератор для газификации влажного топлива / Р.Р. Сафин, Р.Г.Сафин, Е.Ю. Разумов, Н.Ф. Тимербаев, А.Е. Воронин, А.Р. Садртдинов, А.Р.Хисамеева, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 20.06.2012.
9. Патент № 2478604 Российская Федерация, МПК C07C 29/145, C10J 3/84, B01J 8/06 (2006.01). Способ получения метанола / Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., А.Р.Хисамеева, А.Р.Садртдинов, Д.А.Ахметова, М.Б.Бадрутдинов, Г.А.Шабаева, Л.В.Ширяева, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО

- «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 10.04.2013.
10. Зиятдинова Д.Ф. Совершенствование технологии получения наполненных пластиков / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Н.И. Горбачевский, В.Н. Башкиров, Н.Ф. Тимербаев // Химическая промышленность – 2003 г. - №9 – С. 22-23.
 11. . Зиятдинова Д.Ф. Анализ современного состояния производства теплоизоляционных материалов и возможности создания новых материалов на основе отходов деревообработки / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Л.И. Левашко // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. -Т.14 - №18 - С. 63-68.
 12. . Зиятдинова Д.Ф. Совершенствование технологических процессов, сопровождающихся выбросами токсичных веществ / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, В.Н. Башкиров, А.Ш. Беляев, Н.Ф. Тимербаев // Тепло-массообменные процессы и аппараты химической технологии: Межвузовский тематический сборник научных трудов / – Казань: КГТУ – 2002 г. – С.68-72.
 13. Зиятдинова Д.Ф. Усовершенствование системы газоочистки в производстве целлюлозы и побочных продуктов в виде спиртов, дрожжей, фурфурола при безреактивном расщеплении отходов деревообработки / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, М.А. Мозохин, Р.Р. Зиятдинов, Д.А. Ахметова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010 г. - №10 – С. 574 -578.
 14. Зиятдинова, Д.Ф. Совершенствование системы газоочистки при сульфатной варке целлюлозы / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, М.А. Мозохин, Р.Р. Зиятдинов, Д.А. Ахметова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010 г. - №11 - С. 166-170.
 15. Зиятдинова Д.Ф. Комплексная переработка древесных отходов паровзрывным методом в аппарате высокого давления / Д.Ф. Зиятдинова, Д.Б. Просвириков, Е.И. Байгильдеева, Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. - №2 - С. 124-131.
 16. Зиятдинова Д.Ф. Современное состояние техники и технологии производства древесной массы сбросом давления / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Р. Зиятдинов, Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011г. №7 - С. 53-57.
 17. Зиятдинова Д.Ф. Математическая модель технологических процессов, сопровождающихся локальными выбросами / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г.Сафин, В.Н.Башкиров, Н.И.Горбачевский // Известия вузов: Химия и химическая технология. – 2004 г. – Т.47 - №10 – С. 129-132.
 18. Зиятдинова Д.Ф. Извлечение примесей из древесноволокнистой массы, полученной при обработке лигноцеллюлозного материала высокотемпературным паровзрывным автогидролизом / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Д.Б. Просвириков // Вестник Казанского технологического университета. – 2011г. - Т.14 - №12 - С. 70-77.
 19. Зиятдинова Д.Ф. Разработка опытно-промышленной установки для разделения лигноцеллюлозного материала на компоненты методом высокотемпературного парового гидролиза / Д.Ф. Зиятдинова, Д.Б. Просвириков, Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011г. - Т.14 - №12 - С. 93-101.
 20. Зиятдинова Д.Ф. Энергосберегающая технология системы газоочистки при безреактивном расщеплении жиров / Д.Ф. Зиятдинова, Н.Ф.Тимербаев, Р.Г.Сафин // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2009 г. - № 5 - 6. - С. 80-84.
 21. Зиятдинова Д.Ф. Усовершенствование промышленной установки для улавливания паров с выдувного резервуара при сульфатной варке целлюлозы / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Д.Ш. Гайнуллина, М.А. Мазохин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011г. - Т.14 - №14 - С. 215-219.
 22. Зиятдинова Д.Ф. Экспериментальный стенд для исследования процесса прогрева древесных частиц в среде насыщенного пара и явлений, сопровождающих процесс при сбросе давления / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, М.А. Мозохин, Р.Р. Зиятдинов // Вестник Казанского технологического университета. - 2011 г. - Т.14 - №15 - С. 205-209.
 23. Зиятдинова, Д.Ф. Моделирование процесса выгрузки варочного котла при переработки древесных отходов / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Д.Ш. Гайнуллина, М.А. Мозохин, Р.Р. Зиятдинов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011 г. Т.14 - №18 - С. 76-80.
 24. Патент № 2343948 Российская Федерация МПК В 01 D 3/00 Установка для перегонки в токе носителя / В.А.Лашков, Р.Р.Сафин, С.Г.Кондрашева, Р.Г.Сафин, Ф.А.Арсланов, Н.Ф.Тимербаев, А.А.Нелюбин, Д.А.Мухаметзянова, А.Е.Воронин, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 14.11.06.
 25. Патент №2351642 Российская Федерация, МПК С 11 D 9/02. Установка для получения хвойного экстракта / Сафин Р.Р., Башкиров В.Н., Сафин Р.Г, Воронин А.Е., Тимербаев Н.Ф., Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 16.05.2007.
 26. Патент № 2464367 Российская Федерация Установка для поучения технической целлюлозы взрывным методом / Р.Г.Сафин, Р.Р.Сафин, Д.Б.Просвириков, Р.Р.Зиятдинов, Н.Ф Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова патентообладатель ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет»; опубл. 20.10.2010.
 27. Патент № 2422266 Российская Федерация, МПК В27К 5/00. Способ термообработки древесины / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, Е.Ю. Разумов, Н.Ф. Тимербаев, Зиятдинова Д.Ф., Хайрутдинов С.З., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е., А.Р. Шайхутдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 27.06.2011.
 28. Патент № 2200284 Российская Федерация, МПК F 25 D 9/00. Пароэжекторная установка для охлаждения воды / Р.Г.Сафин, В.А.Лашков, А.А.Нелюбин, А.В.Петрова, Р.Р.Сафин, Е.К.Воронин, В.Н.Александров, Р.Х.Сафиуллина, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 27.06.2011.
 29. Патент № 2422268 Российская федерация, МПК В27N 3/28 Установка для получения экструзионных древесностружечных плит / Р.Г.Сафин, Р.Р.Сафин, Е.Ю.Разумов, Н.Ф. Тимербаев, А.В.Дерзаева, М.А. Мозохин, П.А.Кайнов, А.Р. Зиятдинов, А.Е.Воронин, Т.Н.Ахтямова, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 27.06.2011.
 30. Патент № 2185961 Российская Федерация, МПК В 29 С 47/76. Установка для получения наполненных пластиков, преимущественно стекловолокнита / Р.Г.Сафин, В.А.Лашков, Е.К.Воронин, О.И.Окишев, А.А.Нелюбин, Д.Ф. Зиятдинова и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 28.03.2001.

31. Зиятдинова Д.Ф. Гипотетическая схема процессов физико-химической переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами вредных веществ в атмосферу / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Д.Ш. Гайнуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013 г. - Т.16 - №6 - С. 43-46.
32. Патент № 2437972. Способ получения сульфатной целлюлозы / Р.Г.Сафин, Р.Р.Сафин, Д.Б.Просвириков, Р.Р.Зиятдинов, Д.Ш.Гайнуллина, Д.Ф. Зиятдинова ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет»; опубл. 27.12.2011.
33. Патент № 2481528 Российская федерация, МПК F23G5/027. Высокотемпературная установка для термической переработки твердых медицинских отходов / Н. Ф. Тимербаев, Р. Г.Сафин, Р. Р.Сафин, А. Е. Воронин, А. Р.Садртдинов, З. Г.Саттарова, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 10.05.2013.
34. Патент № 2400671 Российская Федерация, МПК F23G 5/027. Установка для термической переработки твердых отходов / Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Р.Р. Сафин, А.Р. Садртдинов, Р.Г. Сафин, И.А. Кузьмин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Миндубаев; патентообладатель ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет»; опубл. 27.09.2010.
35. Патент №2184909 Российская Федерация, МПК F 23 G 7/06. Установка для сжигания газовых выбросов / Р.Г.Сафин, В.А.Лашков, О.И.Окишев, А.А.Нелюбин, Д.Ф. Зиятдинова, Р.Т. Шияпов и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 03.05.2000.
36. . Патент №2171274 Российская Федерация, МПК С 11 Д 13/02. Установка для извлечения жирных кислот из соапстока / Р.Г.Сафин; В.Н.Башкиров; В.А.Лашков; Г.И.Самойлов; Ф.С.Зиятдинова; Д.Ф. Зиятдинова и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 27.07.2001.
37. Патент № 2175001 Российская Федерация, МПК С 11 В 13/00. Установка безреактивного расщепления жиров / Р.Г.Сафин, В.Н.Башкиров, В.А.Лашков, Г.И.Самойлов, Г.И.Сунгатуллина, Д.Ф. Зиятдинова и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 20.10.2001.
38. Зиятдинова Д.Ф. Совершенствование технологии извлечения жирных кислот из соапстока / Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, А.Н. Смирнова // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2009 г. – Т.52 - вып. 5 - С.109-111.
39. Патент №2161349 Российская Федерация, МПК Н 01 М 2/12. Вытяжное устройство для аккумуляторов / Р.Г.Сафин, В.Н.Башкиров, В.А.Лашков, Д.Ф. Зиятдинова, А.А.Нелюбин, А.Ф. Вахитов и др.; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 20.04.2010.
40. Патент № 2200284 Российская Федерация, МПК F 25 Д 9/00. Пароэжекторная установка для охлаждения воды / Р.Г.Сафин, В.А.Лашков, А.А.Нелюбин, А.В.Петрова, Р.Р.Сафин, Е.К.Воронин, В.Н.Александров, Р.Х.Сафиуллина, Д.Ф. Зиятдинова; патентообладатель ООО «Научно – технический центр по разработке прогрессивного оборудования»; опубл. 27.06.2011.
41. Г.И. Сунгатуллина Совершенствование системы газоочистки при получении глицерина методом безреактивного расщепления жиров / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Иваново, 2002 г. – 16 с.
42. М.А. Мозохин Энерго-ресурсосберегающая технология газоочистки при сульфатной варке целлюлозы / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2012 г. – 16 с.
43. Д.Б. Просвириков Совершенствование техники и технологии процесса высокотемпературной паровзрывной обработки древесных отходов / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2013 г. – 16 с.
44. Д.Ф. Зиятдинова Совершенствование системы газоочистки при извлечении жирных кислот из соапстока / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Иваново, 2004 г. – 16 с.
45. Д.Ф. Зиятдинова Разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий термической переработки древесных материалов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы / Автореферат дисс. докт. техн. наук, Казанский государственный технологический университет, Казань, 2013 г. – 38 с.

© Р. Г. Сафин – д.т.н., проф., зав. каф. переработки древесных материалов КНИТУ, safin@kstu.ru; Д. Ф. Зиятдинова - д.т.н., проф. той же кафедры; Н. Ф. Тимербаев - д.т.н., проф. той же кафедры; Д. А. Ахметова – к.т.н., доц. той же кафедры.