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], экстрагирование 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: . (1) Скорость химической реакции численно может быть определена изменением массовой концентрации i -го компонента в единицу времени: . (2) Величина скорости прямой реакции в каждый момент времени пропорциональна произведению объемных концентраций реагирующих веществ

и определяется из соотношений: для гомогенных систем ; (3) для гетерогенных систем , (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 газо-воздушной смеси и смеси паров имеют вид: - по газу ; (5) - по пару . (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: (7)

Алгоритм расчета термохимических 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 , 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 () 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 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 улов токсичных или ценных компонентов из паровой смеси осуществляется конденсацией. При этом, если температура конденсации паров не превышает 300С, то требуется подготовка хладагента с применением холодильных устройств. При улавливании ценных $\text{Эфф} > 0$ или токсичных паров целесообразно применять поверхностные конденсаторы. Для улавливания парогазовых выбросов 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 обечеек 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) 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 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 соапстоков 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 соапсточного 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 соапсточного мыла. Результатами исследований по совершенствованию термохимических процессов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы отражены в кандидатских диссертациях Сунгатуллиной Г.И. (Игнатъевой Г.И.) [41], Мозохина М.А. [42], Просвирникова Д.Б. [43] и докторской диссертации Зиатдиновой 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 аппаратных оформлений термохимических процессов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы.