

На основе аналитических исследований гипотетического технологического процесса термохимической переработки древесных материалов [1] был разработан экспериментальный стенд для исследования совмещенных процессов испарения и конденсации протекающих при термохимической переработке древесных материалов (см. рис. 1). Рис. 1 - Принципиальная схема экспериментального стенда

Экспериментальный стенд работает следующим образом [2]. С помощью шнекового дозатора в реактор загружается технологическая щепа. Открываются вентили и при помощи вакуум-насоса – 25 из системы откачивается инертный газ. Реактор вакуумируется, а величина разряжения контролируется по показаниям мановакуумметра – 3. Из емкости – 9 подается раствор химических компонентов через перфорированные трубки – 2, в результате достигается равномерное распределение раствора в технологической щепе. Реагенты поступают в реактор за счет избыточного давления, создаваемого с помощью сжатого воздуха. Требуемый расход реагентов осуществляется с помощью вентиля – 5 и объемного расходомера – 6. Подачей острого пара через барботер – 38 регулируется температура и давление в реакторе. Их величина фиксируется компьютером – 33 по показаниям хромель-копелевых датчиков и моновакуумметра – 3. По достижению конечной температуры содержимое реактора при необходимости выдерживают. В процессе химической обработки могут производиться, путем открытия вентиля – 4, сдувки парогазовой смеси, образовавшейся в процессе взаимодействия технологической щепы с компонентами. После окончания химического процесса реактор выгружают выдувкой готовой массы в выдувной резервуар – 13, для этого открывают механический затвор 37. В результате целлюлозная масса по выдувному трубопроводу поступает в выдувной резервуар 13. Так как реактор 1 до открытия клапана находится под избыточным давлением, а выдувной резервуар под атмосферным, жидкие компоненты, поступающие с древесной массой за счет сброса давления, резко вскипают, вследствие чего происходит бурное парообразование с выделением летучих токсичных веществ, таких как сероводород, диметилсульфид, метилмеркаптан. Готовый продукт сливают через патрубок 18 в емкость – 32. Пары сдувки и вскипания поступают в трехступенчатый конденсатор – 17 и конденсируются. Для поддержания заданных температурных режимов в конденсаторах используют холодильник – 22, охлаждающий теплообменник которого расположен в емкости с рассолом – 21. Хладагент движется через конденсаторы за счет принудительной циркуляции центробежным насосом – 20, расположенным в емкости – 21. Образовавшейся конденсат собирают в тарированную емкость для сбора конденсата – 28. Образующийся конденсат самотеком стекает в сборники с рубашкой – 28 которые снабжены вентилями для отбора проб – 29. Несконденсировавшиеся компоненты откачиваются водоструйным эжекторным насосом – 26. Температурные режимы в конденсаторах подбираются в

соответствии с теплофизическими свойствами образующихся паров. Замер температуры жидкости и пара в реакторе, выдувном резервуаре, паропроводах и сборниках осуществляется термopарами – 11, 34, 16 и выводятся на экран монитора персонального компьютера – 33. Расход воды в эжекторе регулируется вентилем – 23 и замеряется счетчиком – 12 марки УВК-30. Результаты экспериментальных исследований и результаты, полученные математическим моделированием в идентичных условиях, представлены в виде графиков, на которых сплошными линиями изображены данные, полученные расчетным путем, точками – экспериментальные значения. Результаты математического моделирования процесса улавливания паров метилмеркаптана, диметилового эфира, выделяющихся при сульфатной варке целлюлозы, позволяют при заданной скорости разгрузки варочного котла подобрать необходимый конденсатор [1]. Например, при скорости разгрузки 0,5 м³/с требуется площадь конденсации 11,7 м². Если же необходимо получить конденсат отдельных фракций, то следует подобрать ряд конденсаторов. В частности, для получения преимущественно конденсата метилмеркаптана и диметилового эфира требуется в соответствии с рассчитанной производительностью системы удаления паров и рационально подобранными температурными режимами в конденсаторах, подобрать два конденсатора с рассчитанной площадью поверхности конденсации. Такое аппаратное оформление позволяет исключить дорогостоящую стадию разделения смеси метилмеркаптан-диметиловый эфир и использовать полученные продукты в других отраслях промышленности. Результаты математического моделирования, проведенного в целях выявления влияния теплофизических свойств улавливаемой жидкости на величину площади поверхности конденсации, представлены в работе [5]. Для получения этих кривых в программу расчета вводились различные значения скрытой теплоты парообразования r и удельной теплоемкости c . Анализ полученных кривых показывает, что увеличение значения удельной теплоемкости и скрытой теплоты парообразования влечет за собой пропорциональное увеличение требуемой поверхности конденсации. Описанные выше зависимости получены для процесса удаления однокомпонентной жидкости. Анализ влияния состава испаряющейся жидкости на площадь поверхности конденсации, показал, что увеличение мольной доли диметилового эфира в смеси метилмеркаптан - диметиловый эфир влечет за собой увеличение необходимой площади конденсации. Сопоставление опытных и расчетных данных позволяет сделать вывод об удовлетворительном описании реального процесса разработанной математической моделью. Максимальное расхождение между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 16 %. Статистическая обработка кинетических зависимостей общего давления и температуры в реакторе при сульфатной варке целлюлозы с двумя сдвками [3,4], показывает, что отклонения расчетных значений от экспериментальных не

превышают 18%. При этом процессе в течении 2000сек осуществляется нагрев массы с 200С до 1700С. Варка смеси происходит при 1700С в течение двух часов. Затем происходит выдувка массы в выдувной резервуар, находящийся под атмосферным давлением. а б б) Рис. 2 - Кинетические кривые давления в выдувном резервуаре: а) при параллельном наращивании конденсаторов: 1 - $F=0.3\text{м}^2$; 2 - $F=0.6\text{м}^2$; 3 - $F=0.9\text{м}^2$; б) при двухступенчатой конденсации: 1 - последовательное соединение конденсаторов; 2 - параллельное соединение конденсаторов

Анализ кинетических кривых показывает, что при двух проведенных сдुвках происходит осцилирование давления, температура процесса при этом практически не изменяется, это объясняется относительно малым количеством сдуваемых паров по сравнению с общей массой установки, не учитываемой математической моделью. Изменения давления в выдувном резервуаре представлены кривыми на рис. 2. При разгрузке варочного котла в выдувной резервуар происходит бурное вскипание черного щелока за счет испарительного охлаждения, что вызывает в нем увеличение давления [6].

Анализ кривых показывает, что давление в выдувном резервуаре колеблется в значительных пределах от атмосферного давления. Для уменьшения амплитуды колебания желательно точнее рассчитать мощность системы вакуумирования, а также поддерживать оптимальную температуру в выдувном резервуаре после выдувки. Параллельное наращивание поверхности конденсации незначительно влияет на длительность процесса, но позволяет уменьшить избыточное давление в выдувном резервуаре. При последовательном соединении конденсаторов максимальная амплитуда остаточного давления в выдувном резервуаре (см. рис. 2б) будет больше чем при их параллельном соединении. Это объясняется увеличением гидравлического сопротивления системы конденсации. Однако за счет увеличения давления скорость процесса конденсации становится выше, что ведет к повышению эффективности процесса и более быстрому достижению более низких остаточных давлений в выдувном резервуаре. На рис. 3. приведены зависимости производительности конденсатора от поверхности конденсации и температуры охлаждающего агента. а б Рис. 3 - Зависимость производительности конденсатора: а) от поверхности конденсации при различных температурах охлаждающего агента: 1- 00С; 2 - 200С; 3- 400С; б) от начальной температуры охлаждающего агента: 1 - $F=0,9\text{м}^2$; 2 - $F=0,6\text{м}^2$; 3 - $F=0,3\text{м}^2$

При получении экспериментальных значений поверхность конденсации увеличивалась путем параллельного подключения конденсаторов. Кривые производительности конденсатора от температуры охлаждающего агента и от поверхности конденсаторов отклоняются от линейного закона. Это объясняется уменьшением средней движущей силы процесса в процессе выгрузки варочного котла. На рис. 4. представлены кинетические зависимости концентрации токсичных компонентов и плотности паровой фазы в выдувном резервуаре. 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 (см.рис. 9) хорошо согласуется с характером изменения давления в выдувном резервуаре. Статистическая обработка экспериментальных данных и сопоставление их с расчетными данными свидетельствует об адекватности разработанной модели совмещенного процесса испарения и конденсации многокомпонентных смесей и правомерности принятых допущений. Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показывают, что при разгрузке варочного котла в соответствии с усовершенствованным технологическим процессом варки 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. а б) б Рис. 4 - Кинетические кривые: а) концентрации токсичных веществ в выдувном резервуаре: 1- метилмеркаптан, 2- диметилсульфид, 3 - сероводород, 4- черный щелок; б) плотности паровой фазы