К процессам в системе твердая фаза – жидкость – парогазовая смесь, протекающим при понижении давления парогазовой среды, относятся сушка материалов и десорбция растворителей из пористых сорбентов [1, 2]. Интенсивность удаления влаги из материала в указанных процессах определяется формой связи влаги с материалом (коллоидно-физическими свойствами). По форме связи влаги с материалом все тела, подвергаемые сушке, делятся на капиллярно-пористые, коллоидные и коллоидные капиллярно-пористые. Кроме того, твердая фаза может различаться по внешним признакам – иметь определяющий геометрический параметр. По внешним признакам материалы можно разделить на дисперсные, длинномерные и широкоформатные. К длинномерным отнесены изделия, у которых один размер (длина) намного превышает ширину и толщину, а к широкоформатным – изделия, толщина которых намного меньше длины и ширины. Разработка аппаратов для удаления влаги из капиллярно-пористых материалов Основным требованием к аппаратурному оформлению процессов удаления влаги из дисперсных материалов является создание идентичных условий в рабочем объеме аппарата [3]. На практике это требование выполняется введением в слой распределительных элементов системы вакуумирования. Объем материала разбивается на ряд слоев небольшой толщины, которые обеспечивают однородность продукта по конечному влагосодержанию. Обезвоживание материала понижением давления до требуемого конечного влагосодержания можно проводить в осциллирующем режиме. Осциллирующий режим характеризуется чередованием процессов охлаждения материала при понижении давления и его конвективного нагрева при атмосферном давлении. Периодический подвод тепла к материалу при вакуумном осциллировании осуществляется конвективным способом в замкнутом цикле теплоносителя, что обеспечивает перераспределение влаги в частицах, предотвращение коркообразования коллоидных материалов и тем самым – интенсификацию процесса удаления растворителя в следующем цикле понижения давления. Для снижения гидравлического сопротивления между сушильной камерой и системой вакуумирования, а также с целью создания одинаковых условий протекания процесса в различных точках дисперсного слоя разработаны конструкции вакуумных установок, в которых конденсатор совмещен с рабочим объемом аппарата сушки. На рис.1 приведена конструкция устройства вакуумной установки осциллирующей сушки для удаления растворителя из капиллярно-пористых материалов с совмещенным конденсатором [4]. Устройство содержит вертикальную сушильную камеру 1, конденсатор 2, отделенный от камеры перфорированной перегородкой 3 и снабженный в нижней части сборником конденсата 4, и узел 5 нагрева материала в виде замкнутого циркуляционного контура. Участок контура, размещенный внутри камеры 1, выполнен в виде центральной перфорированной трубы 6 и системы

перфорированных каналов 7, равномерно размещенных по объему высушиваемого материала. Сушильная камера 1 соединена с конденсатором 2 при помощи барботажных трубок 8, нижний торец которых введен в сборник 4 конденсата с образованием гидрозатворов. Устройство также содержит рукавный фильтр 10, холодильный агрегат 11, узлы загрузки 12 и выгрузки 13, штуцер 14 для подключения к вакуумной системе, баллон 15 с инертным газом, калорифер 16 и газодувку 17. Устройство работает следующим образом. Влажный материал загружают в сушильную камеру 1 через узел загрузки 12, после чего камеру 1 герметизируют, включают холодильный агрегат 11 и подключают сушильную камеру к вакуумной системе. Испарившаяся из материала влага через систему перфорированных каналов 7 и барботажные трубки 8 подается под слой жидкости (залитой перед началом работы в сборник 4 конденсата) и, барботируя через нее, конденсируется, а неконденсирующиеся газы через штуцер 14 удаляются из системы. После создания в сушильной камере 1 требуемого остаточного давления процесс вакуумирования прекращают, систему заполняют инертным газом из баллона 15, повышая давление до атмосферного, включают в работу газодувку 17. Нагретый в калорифере 16 газообразный теплоноситель, проходя через слой материала, повышает его температуру. По достижении высушиваемым материалом заданной температуры нагрев прекращают и сушильную камеру снова подключают к вакуумной системе. Разработка аппаратов для удаления влаги из коллоидных материалов На рис.2 представлена принципиальная схема вакуумной установки осциллирующей сушки с совмещенной конденсатором для удаления влаги из материалов коллоидного типа [5], обладающих большим внутридиффузионным сопротивлением. Сушилка содержит вертикальный корпус 1 с загрузочным 2 и разгрузочным 3 узлами, внутри которого размещены нагревательные элементы 4 и 5. Элементы выполнены в виде системы перфорированных труб, подключенных к коллекторам подвода 6 и отвода 7 теплоносителя. В корпус 1 введены пароотводящие ячейки 11, внутри которых установлены трубки Фильда 12. Нагревательные элементы 4 сообщены с коллектором 6 подвода, а элементы 5 – с коллектором 7 отвода теплоносителя. Сушилка имеет полость 13 для сбора конденсата, снабженную штуцерами 14 и 15, а также полости подвода 17 и отвода 18 хладагента со штуцерами 19 и 20. В трубную решетку 21 полости 17 подвода хладагента вмонтирована внешняя труба 22 свечи Фильда 12, а в трубную решетку 23 полости 18 отвода хладагента - внутренняя труба 24. Вакуумная сушилка работает следующим образом. Влажный материал загружается через загрузочный узел 2 в рабочий объем сушилки, которую затем герметизируют. Через штуцер 25 в коллектор 6 подают теплоноситель (газообразный греющий агент), который через нагревательные элементы 4 подается в слой дисперсного материала и равномерно нагревает его. После получения заданной температуры материала

нагрев прекращают и начинают процесс вакуумирования. Пары влаги, испарившейся из нагретого материала, конденсируются на наружной поверхности трубы 22, а жидкость стекает в полость 13. Неконденсирующийся газ откачивается вакуум-насосом через штуцер 15. После достижения в сушилке остаточного давления, ниже которого вести процесс нецелесообразно ввиду резкого возрастания энергетических затрат на дальнейшее вакуумирование, процесс прерывают и производят нагрев материала, затем вновь вакуумируют сушилку. В вакуумных установках осциллирующей сушки чередование нагрева и вакуумирования осуществляют до тех пор, пока конечное влагосодержание материала не достигнет требуемой величины. Разработка аппаратов для удаления влаги из коллоидных капиллярно-пористых материалов

Пиломатериалы, относящиеся к группе длиномерных коллоидных капиллярно-пористых материалов, высушивают в штабелях вакуумным способом. При разработке аппаратного оформления процесса удаления влаги из древесины необходимо предусмотреть, чтобы все пиломатериалы находились в идентичных условиях, то есть испытывали одинаковое внешнее давление, противодействующее внутренним напряжениям, которые приводят к короблению древесины. На рис.3 представлена принципиальная схема установки сушки длиномерных материалов [6]. Установка содержит герметичный цилиндрический корпус 1 с крышкой 2, камеру сушки 3, калориферы 4, вентилятор 5, вакуум-насос 6, тележку 15 со штабелем пиломатериалов 16. Камера сушки 3 образована боковыми 7 и верхней 8 перегородками, установленными в корпусе 1 с зазорами. Боковые перегородки 7 выполнены перфорированными с переменным размером отверстий, а верхняя - с возможностью вертикального перемещения. В зазоре 11, образованном перегородкой 8 и корпусом 1, помещена герметичная емкость 12, выполненная из эластичного материала. Установка работает следующим образом. Штабель пиломатериалов 16 на тележке 15 помещают в камеру сушки 3, после чего корпус 1 герметизируют при помощи крышки 2. Включают вакуум-насос 6, сообщенный через патрубок 13 с герметичным корпусом 1, и понижают давление. За счет разности давлений во внутреннем пространстве корпуса 1 и герметичной емкости 12 последняя расширяется, перемещая верхнюю перегородку 8 по направлению к штабелю 16, и сдавливает верхний ряд досок. Давление, оказываемое перегородкой 8 на верхний ряд досок, позволяет сохранить первоначальную форму пиломатериалов при сушке. В процессе вакуумирования корпуса 1 аккумулированная тепловая энергия древесины расходуется на испарение влаги. По мере удаления влаги материал охлаждается. Для увеличения скорости сушки понижением давления корпус 1 разгерметизируют краном 14 (при выравнивании давления в момент разгерметизации пружины 10 возвращают верхнюю перегородку 8 в исходное положение) и включают вентилятор 5. Воздух, проходя через калориферы 4,

нагревается и проступает в камеру сушки 3. Благодаря переменному размеру перфорации боковых перегородок 7 создается равномерный ввод и отвод теплоносителя по длине камеры сушки 3, что при его движении в зазорах, образованных прокладками, поперек штабеля 16 обеспечивает идентичные условия для всех досок в процессе нагрева. Нагрев пиломатериалов осуществляется в замкнутом объеме смесью воздуха с парами испарившейся жидкости, сопровождается увлажнением поверхности досок и перераспределением влагосодержания по сечению. Нагрев прекращают при достижении заданной температуры поверхности пиломатериалов. После процесса нагрева краном 14 герметизируют корпус 1 и вновь проводят процесс вакуумирования. Режим вакуумного осциллирования обеспечивает равномерное распределение влагосодержания по толщине пиломатериалов в процессе сушки и исключает развитие объемно-напряженного состояния древесины сверх предельно допустимой величины. Наиболее рациональной конструкцией аппарата для удаления влаги из широкоформатных материалов является вакуумная сушилка с кондуктивным подводом тепла. На рис.4 представлена вакуумная установка для сушки войлочных полостей батарейного типа [7]. Установка содержит рабочую камеру 1 с греющими поверхностями 2, сообщенными с теплообменным устройством 3 и соединенными через гибкую связь 4 с корпусом 5. По центру рабочей камеры 1 установлен коллектор 6 с перфорированными плоскими поверхностями 7. Рабочая камера 1 снабжена крышкой 8, на которой закреплены гибкие тяги 9, удерживающие войлочные полости 10 в вертикальном положении. Теплообменное устройство 3 через патрубки ввода 11 теплоносителя связано с источником нагрева. Рабочая камера 1 через штуцер 15 и трехходовой кран соединена с линией вакуумирования. Установка работает следующим образом. Войлочные полости 10, поступающие со стадии отжима, закрепляют на свободных концах гибких тяг 9 и вводят в рабочую камеру 1, которую затем закрывают крышкой 8. Открывают вентиль 13 на линии подачи пара в теплообменное устройство 3 и соединяют рабочую камеру 1 при помощи трехходового крана с линией вакуумирования. За счет разности давлений в теплообменном устройстве 3 и рабочей камере 1 осуществляется прижатие войлочных полостей 10 греющими поверхностями 2 к перфорированным поверхностям 7 коллектора 6. В результате деформации полостей 10 обеспечивается равномерное уплотнение войлока, сокращение объема пор, занятого воздухом, и увеличение эффективного коэффициента теплопроводности. При взаимодействии влажного материала с греющими поверхностями 2 и понижении давления в рабочей камере 1 жидкость испаряется. Образующиеся пары отводятся через коллектор 6, штуцер 15 в конденсатор. По окончании процесса трехходовым краном перекрывают линию вакуумирования и сообщают внутренний объем рабочей камеры 1 с атмосферой. Открывают крышку 8 и извлекают высушенные до заданного влагосодержания

полости 10. Регулируя степень сжатия широкоформатного материала, можно получать войлок различной плотности.