

Введение С каждым годом к сушке пиломатериалов на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях предъявляются все более жесткие условия, требующие сокращения энергозатрат и длительности процесса сушки без ущерба качеству высушиваемого материала. В связи с этим камерная сушка становится одним из важнейших участков предприятий, ответственным звеном общего технологического процесса обработки древесины [1, 2]. Наиболее распространенными сушилками в настоящее время являются, так называемые, конвективные сушильные камеры, которые снабжены тепловым и циркуляционным оборудованием. Процесс сушки в них протекает при атмосферном давлении, поэтому в качестве ограждений могут быть использованы различные конструкционные материалы. Конвективные камеры различают периодического и непрерывного действия, последние не получили широкого распространения ввиду затруднительной качественной сушки до требуемой эксплуатационной влажности [3]. К общим недостаткам конвективных сушильных камер следует отнести высокую продолжительность процесса (5 – 45 дней в зависимости от сортамента пиломатериала) и неравномерность высушивания штабеля. Но если первый недостаток – продолжительность процесса – обусловлен технологией (перемещение влаги к поверхности материала вызвано лишь градиентом влажности, а градиент температуры при этом оказывает тормозящее действие), то неравномерность высушивания штабеля является конструктивным недостатком. Решение данной проблемы заключается в необходимости создания равномерной температуры, влажности и скорости агента сушки в различных точках штабеля. Для этого многие конструкции сушильных камер выполняют с сужающимся по длине потока сечением, в частности, путем установки наклонных экранов. Однако сужение потока может создать лишь равномерную по сечению штабеля скорость. Температуру агента сушки в различных точках штабеля регулировать подобным образом является затруднительным. Поэтому сотрудниками Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) были реализованы сушильные камеры с вертикальной и горизонтально-поперечной циркуляцией теплоносителя через перфорированные экраны, внедренные соответственно на казанских предприятиях ООО «ПСФ «Карпентер» и ОАО «Вельд» (рис. 1) [1-3].

Рис. 1 – Схема модернизации конвективных камер: а – с вертикальной циркуляцией теплоносителя; б – с горизонтально-поперечной циркуляцией теплоносителя

Следующим достаточно удобным методом сушки в условиях малых столярных производств является контактная технология, когда тепло высушиваемому материалу передается теплопроводностью от нагретой поверхности. Однако при контактном методе распределение влагосодержания по толщине пиломатериала неравномерно и несимметрично: в контактном слое у греющей поверхности влагосодержание на протяжении всего процесса минимально, в центральных слоях – максимально. У открытой поверхности

влагосодержание ниже, чем в центральных слоях, но выше, чем в контактном слое. Такое распределение влагосодержания в процессе сушки ценных твердолиственных пород древесины может привести к нежелательным последствиям (развитие объемно-напряженного состояния). Температура в направлении от контактного слоя к открытой поверхности непрерывно убывает [4]. Перемещение влаги к поверхности материала обусловлено градиентами температуры и давления; градиент влагосодержания оказывает тормозящее действие, поэтому основное распространение контактный метод получил в сочетании с вакуумной технологией, поскольку является наиболее простым способом подвода тепла в вакууме. Основная часть При этом сотрудниками казанского предприятия ООО «ОКБ «Прогресс» совместно с КНИТУ была разработана и внедрена технология, при которой пиломатериалы контактируют не с одной нагревательной поверхностью как при классической технологии, а в процессе формирования штабеля укладываются между двумя нагревательными элементами, таким образом, что подвод тепловой энергии осуществляется одновременно к обоим пластам пиломатериала, обеспечивая симметричное распределение температуры и, соответственно, влажности древесины [3,4]. При этом в качестве нагревательных элементов используются плиты специальной конструкции, представляющие собой две перфорированные металлические пластины с установленными между ними змеевиковыми нагревателями. В качестве змеевикового нагревателя используются электронагревательные элементы, обеспечивающие минимальную инерционность процесса. При этом разработанный способ сушки древесины основан на «импульсной» технологии [5, 6]. Процесс сушки начинается с прогрева высушиваемой древесины (рис. 2) путем включения в работу нагревательных элементов. Процесс осуществляется при атмосферном давлении среды с целью минимизации удаления влаги из материала. Рис. 2 – Схема ведения процесса вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов методом «импульс-пауза» На стадии прогрева происходит накопление тепловой энергии. После прогрева пиломатериала включением конденсатора и вакуумного насоса начинается стадия вакуумирования, в процессе которой происходит интенсивное удаление влаги из древесины через перфорации нагревательных пластин. В процессе вакуумирования происходит отключение электронагревательных элементов и сушка древесины происходит за счет предварительно аккумулированной тепловой энергии. Стадию вакуумирования можно подразделить на два периода: процесс понижения давления и выдержка нагретого материала в условиях вакуума. После завершения стадии вакуумирования цикл «прогрев-вакуум» повторяется. Количество циклов определяется толщиной пиломатериала, конечной влажностью и породой древесины. Использование вакуумных технологий в деревообрабатывающей промышленности в последние годы набирает свои обороты: помимо вакуумно-кондуктивных сушилок, отличающихся большой

трудоемкостью погрузочно-разгрузочных работ, появляются камеры, использующие конвективный способ подвода тепловой энергии. В вакуумном аппарате конвективный нагрев возможен «импульсным» методом или путем сушки материала при стационарном пониженном давлении среды. При этом в качестве среды может выступать горячий воздух, перегретый пар или гидрофобная жидкость. Принцип «импульсных» режимов был заложен в основу технологии вакуумно-конвективных сушильных камер, реализованных сотрудниками КНИТУ на инновационном полигоне «Искра» (рис. 3). Процесс сушки складывается из последовательно чередующихся стадий нагрева древесины и ее вакуумирования. На стадии нагрева материал обдувается горячим воздухом при атмосферном давлении. В этот период температура древесины повышается, что сопровождается испарением влаги с ее поверхности. Влажность несколько снижается. Движение влаги внутри материала проходит под действием градиента влажности. Древесину нагревают до определенной температуры, после чего начинается стадия вакуумирования, которая характеризуется интенсивным испарением влаги с поверхности материала. Температура поверхности снижается. В полостях клеток происходит вскипание воды, образовавшийся водяной пар движется к поверхности под избыточным давлением. При этом часть пара удаляется из древесины, а часть, при контакте с охлажденными поверхностными зонами конденсируется. Рис. 3 – Вакуумно-конвективная сушильная камера. Водяной пар, покинувший древесину, образует вокруг нее среду практически чистого насыщенного или перегретого пара. В результате этого, влага удаляется при достаточно высокой влажности поверхности и, следовательно, малом ее перепаде по толщине материала, это позволяет избежать значительных сушильных напряжений и больших остаточных деформаций [7]. В период выдержки досок в вакууме при удалении свободной влаги ее движение проходит под действием градиентов давления, влажности и температуры, а при влажности древесины ниже предела насыщения градиентов влажности и температуры. Этим и обеспечивается высокая интенсивность вакуумно-конвективной сушки. Вакуумирование прекращается после падения температуры в центре материала до определенного значения. Число стадий «прогрев-вакуум» зависит от требуемой конечной влажности высушиваемых досок. Была апробирована возможность регулирования процесса конвективной сушки древесины в разреженной среде теплоносителя по дифференциальной усадке. Результаты проведенных исследований использованы при проектировании и разработке промышленных установок, одна из которых внедрена на производственной базе «Искра».