

УДК 674.047.3:630.811.1

UDC 674.047.3:630.811.1

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СУШКИ  
ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

**THEORETICAL BASIS OF WOOD DRYING  
AFTER THERMOCHEMICAL  
PRETREATMENT**

Платонов Алексей Дмитриевич  
д.т.н., доцент  
*Воронежская государственная лесотехническая  
академия, Воронеж, Россия*

Platonov Aleksey Dmitrievich  
Dr.Sci.Tech., associate professor  
*Voronezh State Academy of Forestry and  
Technologies, Voronezh, Russia*

В статье приводятся результаты исследования влияния предварительной термохимической обработки на структуру проводящих элементов древесины дуба и механизм процесса конвективной сушки

The article presents the results of the study of the effect of thermochemical pretreatment on the structure of conductive elements of oak wood and mechanism of convective drying process

Ключевые слова: ДРЕВЕСИНА, ТЕМПЕРАТУРА, ТИЛЫ, СОСУДЫ, ВЛАЖНОСТЬ, ВЛАГОПРОВОДНОСТЬ, СУШКА, ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ПАР, ГИГРОСКОПИЧЕСКИЙ РАСТВОР

Keywords: WOOD, TEMPERATURE, WOOD, TEMPERATURE, TYLOSES, VESSELS, MOISTURE, MOISTURE CONDUCTIVITY, DRYING, THERMOCHEMICAL TREATMENT, VAPOR, HYGROSCOPIC SOLUTION

Интенсификация процесса сушки древесины, т. е. сокращение ее продолжительности и энергоемкости при одновременном сохранении качества, является актуальным направлением научных исследований.

Анализ применяемых в производстве способов сушки показал, что существенное сокращение сроков сушки древесины достигается за счет внедрения технически сложных, материалоемких конструкций сушильных установок и энергоемких технологий (СВЧ, ТВЧ, вакуумно-диэлектрических и др.). Эти способы не находят широкого промышленного применения, поскольку их эффективность ограничена рядом факторов: породой, толщиной, величиной начальной влажности, объемом высушиваемого материала, высокой энергоемкостью, сложностью конструкций и управления камерами и т.д. [5].

Большинство исследований проводимых в данной области направлено на повышение эффективности существующих или создания новых технологий не учитывает особенностей объекта сушки – анатомического строения древесины. Древесина является биологическим материалом с неоднородной структурой и свойствами. Поэтому важнейшим условием по-

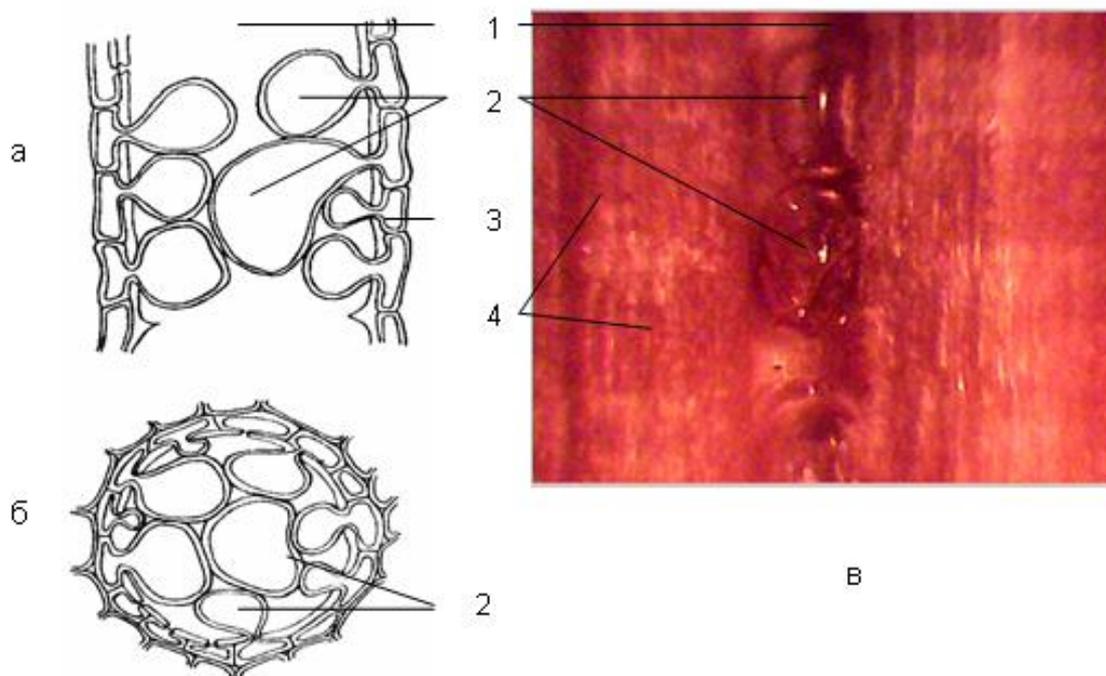
вышения эффективности процесса сушки является поиск новых технических и технологических решений на основе комплексного подхода и всестороннего анализа ряда физических явлений процесса сушки и структуры древесины.

Анализ структуры элементов древесины лиственных пород показывает, что все они в той или иной степени являются элементами ее водопроводящей системы. Но основным водопроводящим элементом древесины лиственных пород являются сосуды. Остальные элементы древесины, соприкасаясь с сосудами посредством пор, образуют единую водопроводящую систему сообщающихся макрокапилляров. Однако, как показывает структурный анализ древесины, с течением времени, у большинства кольцесосудистых и некоторых рассеянососудистых древесных пород водопроводящую способность сосуды частично утрачивают по причине закупорки их тилами и экстрактивными веществами. Такая закупорка части сосудов затрудняет передвижение влаги по древесине.

Тилы – это выросты клеток древесной паренхимы или сердцевинных лучей, внедряющиеся в полость водопроводящих элементов (рис. 1) [8]. Разрушение тил позволит соединить все проводящие элементы в единую систему. Эффективность «подключения» всех сосудов в единую водопроводящую систему для лиственных пород будет неодинаковой.

Процесс сушки в целом очень сложен по содержанию и многообразен по характеру явлений. Удаление влаги происходит в результате испарения. Если бы задача сушки древесины сводилась только к испарению влаги с поверхности высушиваемого материала, технология сушки была бы достаточно простой. Однако, при сушке древесины влага внутренних слоев прежде чем испариться должна переместиться к поверхности. Скорость же перемещения влаги внутри древесины во много раз меньше, чем возможная скорость ее испарения с поверхности. Отсюда следует вывод, что продолжительность сушки древесных сортиментов промышленных

размеров зависит в основном от скорости продвижения влаги поперек волокон изнутри древесины к поверхности.



а – продольный разрез; б – поперечный разрез; в – радиальный скол (Ув. 20); 1 – сосуд; 2 – тилы; 3 – пора; 4 – сердцевинный луч

Рисунок 1. Сосуд с тилами в древесине дуба

По мере уменьшения влажности древесины наблюдается увеличение разности между скоростями испарения и подсоса влаги. Поверхностные слои довольно быстро достигают равновесной влажности с окружающей средой и становятся практически не проницаемой для влаги, соответственно влагообмен древесины со средой прекращается. При этом процесс сушки резко замедляется, несмотря на наличие психрометрической разности и градиента влажности в материале, а в некоторых случаях может прекратиться полностью. Методы борьбы с этим явлением – это периодическое увлажнение поверхности древесины и использование режимов с повышенной относительной влажностью агента сушки [6, 7].

Особенность процесса сушки и его механизм определяются главным образом характером влагопереноса, т. е. перемещения влаги внутри материала, которое может происходить под действием градиента влажности, или влагосодержания; градиента температуры; градиента избыточного давления. Отдельно рассматриваемые потоки влаги, возникающие под действием различных сил, могут накладываться или, наоборот, быть направленными противоположно один к другому.

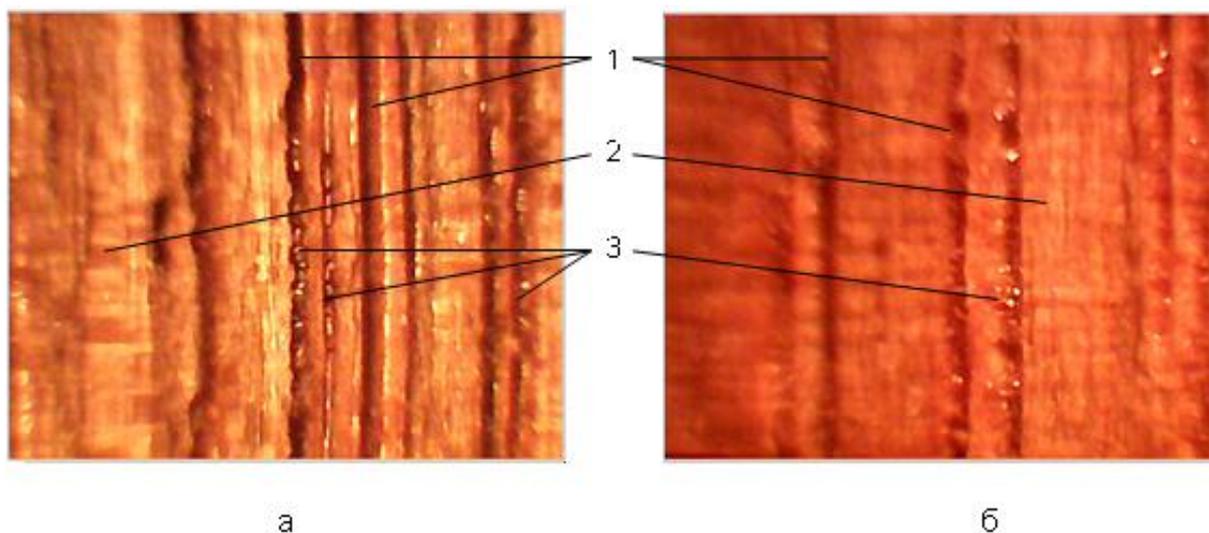
Интенсивность процесса сушки обусловлена суммарным эффектом наложения градиентов. Эффективность существующих промышленных способов сушки древесины основана на использовании одного, двух или трех из указанных градиентов. Отсюда можно предположить, что ускорение процесса сушки следует вести в направлении поиска новых движущих сил (градиентов), которые позволят увеличить влагопроводность древесины.

С точки зрения, энергоемкости, качества, разнообразия высушиваемых пиломатериалов и древесных пород конвективный способ сушки, в настоящее время, является одним из самых эффективных, поскольку позволяет высушивать древесину различных древесных пород и толщин с хорошим качеством. Поэтому представляется целесообразным проведение научных исследований направленных на повышение эффективности процесса сушки на основе этого способа.

Существенно повысить эффективность конвективной сушки возможно путем проведения предварительной термохимической обработки древесины растворами гигроскопических веществ.

В результате такой непродолжительной тепловой обработки свободная вода в полостях клеток вскипает и превращается в пар. Но поскольку быстрый выход пара из древесины затруднен, то в ней образуется избыточное парциальное давление по отношению к атмосферному. Этого сов-

местного воздействия температуры и давления достаточно для разрушения тил, вымывания экстрактивных веществ (рис. 2) [1, 4].



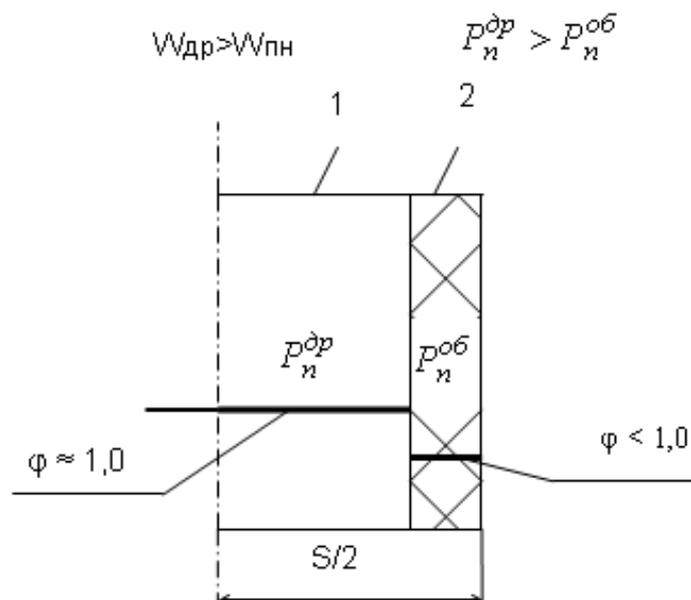
а – натуральная древесина; б – после термохимической обработки;

1 – сосуд; 2 – сердцевинный луч; 3 – тилы

Рисунок 2. Микроструктура древесины ядра дуба (Ув. 10)

Одновременно поверхностные слои древесины пропитываются растворами гигроскопических веществ. Пропитанный слой «оболочка» видоизменяет механизм последующей конвективной сушки обработанной древесины. Физические явления процесса сушки термохимически обработанной древесины имеют ряд отличительных особенностей по сравнению с конвективной сушкой древесины без предварительной обработки.

Известно, что над истинным и коллоидным растворами давление пара ниже, чем над чистым растворителем, в частности над водой (рис. 2). Поэтому раствор высыхает медленнее и кипит при более высокой температуре, чем растворитель. Концентрация раствора при испарении растворителя постепенно повышается, что еще более затрудняет испарение влаги и препятствует усушке поверхностных слоев.



1 – натуральная древесина; 2 – древесина, пропитанная гигроскопическим раствором;  $S$  – толщина материала;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха;  $W_{др}$  – влажность древесины;  $W_{пн}$  – предел насыщения;  $P_n^{др}$  – давление пара в древесине;  $P_n^{об}$  – парциальное давление пара в древесине, пропитанной гигроскопическим раствором

Рисунок 2. Распределение парциального давления пара в термохимически обработанной древесине

Испарение влаги с поверхности древесины возможно лишь при парциальном давлении пара агента сушки меньше парциального давления пара над гигроскопическим раствором в пропитанном слое. При равенстве этих парциальных давлений испарение влаги возможно только тогда, когда влага из центра древесины подойдет к поверхности. В этом случае влажность поверхностных слоев увеличится, и концентрация раствора в них уменьшится, а парциальное давление пара увеличится. При уменьшении концентрации раствора, вследствие увеличения парциального давления пара, возникнет разность упругостей пара, и материал начнет сохнуть. Ес-

ли приток влаги из центра прекратится, то в поверхностных слоях после установления насыщенного раствора испарение также замедлится.

Таким образом, пропитка поверхностных слоев древесины растворами гигроскопических веществ оказывает влияние на механизм влагообмена материала со средой и вносит коррективы в технологию конвективной сушки материала.

Исследование процесса термохимической обработки показало, что поверхностные слои древесины, во время обработки, пропитываются гигроскопическим раствором. Глубина проникновения раствора в древесину зависит от породы и начальной влажности древесины. Для всех типов древесных пород глубина пропитки, при влажности свыше предела гигроскопичности, составляет 0,25–1,0 мм. Поэтому пропитанный слой легко и полностью удаляется путем строгания при последующей механической обработке [3, 5].

При сушке непропитанной древесины, поверхностные слои довольно быстро достигают равновесной влажности с окружающей средой и соответственно влагообмен древесины со средой прекращается. Поверхностный слой древесины, пропитанный раствором хлорида натрия, позволяет уменьшить интенсивность испарения влаги, поскольку раствор высыхает медленнее, чем растворитель. Так как парциальное давление пара на поверхности «оболочки» не превышает парциального давления пара окружающей среды. Концентрация раствора при испарении растворителя (влаги) постепенно повышается, что еще более затрудняет процесс испарения.

Одновременно с понижением интенсивности испарения влаги пропитанный слой вызывает более интенсивный внутренний перенос в лаги в материале. Это объясняется тем, что в наружных слоях пропитанных раствором соли, упругость пара на поверхности меньше, чем во внутренних слоях, где содержится вода (чистый растворитель). Эта разность парциаль-

ных давлений и вызывает более интенсивный внутренний перенос влаги в материале [2].

Особенностью протекания процесса сушки после термохимической обработки является то, что испарение влаги с поверхности материала происходит непрерывно, даже при состоянии обрабатываемой среды близкой к насыщению. Влияние градиента температуры в данном случае не оказывает существенного влияния на перемещение влаги из центра к поверхности. Поэтому начальный прогрев древесины можно исключить из технологического процесса.

Физические явления кинетики сушки древесины после термохимической обработки имеют также ряд отличительных особенностей. Возрастает скорость сушки материала. Интенсивность убыли влаги на всем протяжении процесса сушки носит более равномерный характер.

При конвективной сушке непропитанной древесины температура ее поверхности все время повышается, а при испарении гигроскопической влаги постепенно приближается к температуре среды. Величина перепад температуры  $\Delta t$  уменьшается и, соответственно, интенсивность теплообмена снижается и возрастает продолжительность сушки. «Оболочка» пропитанной древесины уменьшает интенсивность испарения влаги и, тем самым, поддерживает более высокую влажность поверхности материала в процессе сушки. Более высокая влажность поверхности будет иметь температуру близкую к температуре смоченного термометра. Поэтому на протяжении всего процесса сушки будет сохраняться большой перепад температур, а, следовательно, и более интенсивный теплообмен, который позволяет дополнительно стимулировать ток влаги в материале.

Важнейшим критерием эффективности любого способа сушки является продолжительность процесса и качество высушенного материала (допустимый перепад влажности и величина внутренних напряжений, а также отсутствие трещин и покоробленности). Экспериментально установлено,

что продолжительность конвективной сушки обработанной древесины твердых лиственных пород снижается в 1,5–2,5 раза.

У термохимически обработанной древесины перепад влажности между центром и поверхностью на протяжении всего процесса сушки значительно меньше, чем у необработанной древесины. Более равномерное распределение влаги в материале не способствует развитию в древесине больших внутренних влажностных и остаточных напряжений.

Исследования развития внутренних напряжений в процессе конвективной сушки у древесины после термохимической обработки и без химической обработки показали, что они имеют ту же природу и носят те же закономерности. Величина внутренних напряжений у пропитанной древесины примерно в 2,5–3,0 раза меньше, чем у необработанной древесины. При том, что из технологического процесса сушки были исключены технологические операции начального прогрева и влаготеплообработки.

Предварительная термохимическая обработка позволяет в 2,0–3,0 раза сократить сроки атмосферной сушки древесины. Кроме того, соляной раствор обладает антисептирующим свойством, что позволит предохранить древесину от возможного ее поражения биологическими разрушителями. Гигроскопичность соляного раствора позволит сохранить высокую интенсивность удаления влаги из материала и тем самым предохранить его от растрескивания.

Установлено, что после термохимической обработки интенсивность убыли влаги из материала. Поэтому представляется целесообразным проводить атмосферную подсушку обработанных сырых пиломатериалов. Подобная выдержка позволит, сократить продолжительность последующей камерной сушки в 2–2,5 раза, при этом общая продолжительность процесса сушки сократиться в 1,5–2,0 раза.

**Список использованной литературы**

1. Курьянова Т. К. Технология сушки древесины дуба с предварительной химической обработкой / Т. К. Курьянова, А. Д. Платонов / Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2004. – № 9. – С. 177-179.
2. Малеев В. И. Ускоренная сушка древесины / В.И. Малеев, В. А. Баженов // Лесная индустрия. – 1937. – № 9. – С. 65 – 71.
3. Патент 2096702 РФ С1 РФ, 6 FВ <sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Способ сушки дубовых заготовок / Курьянова Т. К., Платонов А. Д. и др. РФ – 1997. - № 95112874/06 – Заявл. 20.07.95; Опубл. 20.11.97, Бюл. № 32. – 6 с. 2 табл.
4. Платонов А. Д. Исследование влагопроводности древесины после химической обработки / А. Д. Платонов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2005. – № 2. – С. 56-63.
5. Платонов А. Д. Особенности развития относительной деформации древесины после СВЧ-сушки / А. Д. Платонов, Т. К. Курьянова, А. В. Киселева // Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модифицирования древесины : материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 13-16 июня 2000 г. / ВГЛТА. – Воронеж, 2000. – Т. 2. – С. 193-195.
6. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины / ЦНИИМОД. – Архангельск, 2001. – 132 с.
7. Чудинов Б.С. Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968. –256 с.
8. Эзау К. Анатомия семенных растений: В 2 кн. – М.: Мир, 1980. (Кн. 1. – 224 с., Кн. 2. – 225 с.).