

УДК 691.11

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ НА ПРОПИТКУ ЗАЩИТНЫМИ РАСТВОРАМИ

**Овсянников С.И., канд. техн. наук, доцент,
Федоренко А.В., магистр**
(Белгородский государственный технологический
университет имени В.Г. Шухова)

Аннотация. Проведен анализ микроструктуры строения древесины. В результате установлены основные микроструктурные элементы строения древесины. К ним относятся поры в стенках сосудов, окаймление стенок сосудов, между сосудами тиллы. Охарактеризован процесс продвижения защитного раствора по порам древесины. Намечены основные направления, способствующие глубокой обработке древесины защитными растворами.

Актуальность. В деревянном домостроении защита древесины - это важный аспект, который позволяет продлить срок эксплуатации здания без необходимости в проведении капитального ремонта. С помощью пропитки антисептиками производится защита древесины от гниения и размножения в волокнистых частях различных видов бактерий. Для предупреждения самопроизвольного возгорания и снижения скорости горения при пожаре в любых жилых и социальных строениях следует активно использовать антипирены. Процессы пропитки защитными растворами называют импрегнацией. Импрегнированная древесина отличный строительный и отделочный материал. В отличие от термодревесины и ДПК, импрегнированная древесина может использоваться не только как декоративный и отделочный материал, но и как конструктивный материал. Термодревесина не может использоваться как конструктивный материал потому, что в процессе термообработки она становится очень хрупкой и становится очень колкой. Продукция из ДПК, содержащая в своём составе полимеры, подвержена сильной деформации. Изделия из ДПК гнутся и меняют свою форму. Импрегнированная древесина остаётся неизменной на протяжении всего срока службы. Она не подвержена деформации, как ДПК, не колется, как термодревесина. Импрегнированная древесина может быть использована, как строительный материал.

Анализ достижений и публикаций. Значительный вклад в разработку и оптимизацию процессов импрегнации внесли выдающиеся ученые: Калниньш А.Я. [1], Воробьев Г. И., Атрохин В. Г., Виноградов В. Н., Баракс А. М., Никифоров Ю. Н., И. К. Черкасов [3, 4, 5], Овсянников С.И. [2, 6]. Однако до сих пор не разработан способ глубокой обработки сердцевинной древесины и не установлены причины ограничения глубины проникновения растворов. В

основном пропитка проникает в заболонную часть и на несколько миллиметров в сердцевинную. Причины, препятствующие проникновению защитных растворов в древесину, не установлены. Известно, что некоторые породы легко поддаются пропитке, а некоторые – только на несколько миллиметров. Свойства пропиточных растворов представлены в работах [2, 8].

Поэтому, **целью работы** является изучение микроструктуры древесины для выявления причин препятствующих проникновению защитных растворов.

Основной материал. Оболочка молодых клеток представляет собой очень тонкую кожу или пленку, едва достигающую 0,001 мм, очень нежную, стекловидную, прозрачную, эластичную и легкопроницаемую для воды и водных растворов. После отмирания протопласта клетка, несмотря на целостность оболочки, будет мертвой. Древесина растущего дерева (в первую очередь ядровая часть) в основном, а срубленная древесина полностью состоит из таких клеток, с отмершим протопластом, т. е. только из клеточных оболочек. В момент образования оболочки клеток древесина состоит из пектиновых соединений, которые, однако, спустя непродолжительное время превращаются в целлюлозу. Макромолекула целлюлозы имеет нитевидную форму (цепная молекула). Диаметр такой макромолекулы около 0,57 нм, а длина от 0,1 до 1,8 мкм.

В процессе развития в зависимости от выполняемых клеткой функций оболочка претерпевает существенные изменения в размере, строении и составе. Наиболее частое изменение в составе клеточных оболочек - их одревеснение и опробковение. Одревеснение оболочки заключается в появлении нового органического вещества - лигнина. Одревеснение происходит очень быстро после образования молодых клеток и сопровождается сильным разбуханием оболочек. Лигнин придает оболочке прочность при сжатии, жесткость и твердость. Способность впитывать воду и разбухать у одревесневших оболочек уменьшается, хотя и остается довольно значительной; кроме того, лигнину приписывают еще консервирующее действие. Рост оболочек происходит двояким путем.

Поверхностный рост обуславливается внедрением в промежутки между частицами вещества оболочки новых таких же частиц; рост же в толщину или утолщение оболочек происходит в результате отложения протопластом изнутри новых слоев, которые, однако, откладываются не сплошь, а оставляют в оболочке неутолщенные места, или поры, служащие для сообщения между клетками. Вполне сформировавшаяся клеточная оболочка включает первичную и вторичную стенки. Между соседними клетками находится межклеточное вещество. Основные структурные элементы первичной и вторичной стенок клеточной оболочки - целлюлозные волокна (микрофибриллы). Поперечные размеры микрофибрилл колеблются от 5 до 20 нм, по некоторым данным, - до 30 нм; длина микрофибрилл может быть разной. Микрофибрилла состоит из длинных нитевидных цепных молекул целлюлозы. Строение клеточной оболочки имеет важное практическое значение еще и потому, что оно объясняет

явления усушки и разбухания, а также влияние влажности на механические свойства древесины.

Поры, или неутолщенные места оболочек, бывают простые и окаймленные (рис. 1). Простая пора представляет собой отверстие округлой формы, разделенное мембраной, которая является частью первичной стенки. Когда говорят о поре, имеют в виду совокупность двух пор, расположенных друг против друга в оболочках соседних клеток. Окаймленная пора (пара пор) на поперечном и тангенциальном разрезах древесины имеет форму двух направленных друг к другу двухлучевых вилок, разделенных посередине замыкающей пору пленкой (оставшаяся неутолщенная часть первичной стенки). Эта пленка, называемая мембраной, имеет у хвойных пород в центре утолщение - торус, находящийся против отверстия поры во вторичной стенке. На радиальном разрезе древесины (вид на пору сбоку) окаймленная пора представлена двумя концентрическими кружками, между которыми иногда просвечивает третий кружок, являющийся внешним очертанием торуса.

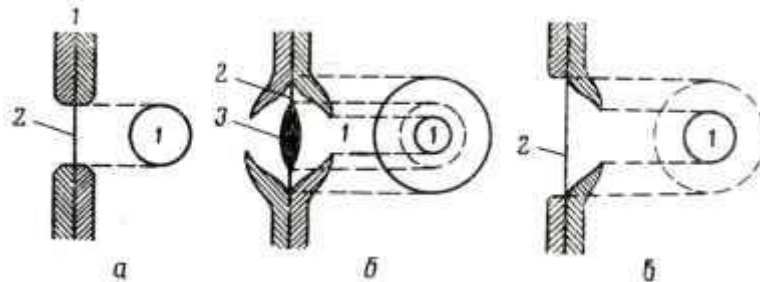


Рисунок 1- Типы пор в стенках: а —простая; б — окаймленная; в — полуокаймленная; 1 — отверстие поры; 2 — мембрана; 3 — торус.

Кроме простых и окаймленных пор, иногда встречаются полуокаймленные поры, имеющие окаймление только в оболочке одной клетки; в оболочке соседней клетки канал поры имеет округлую форму, как в простой поре.

Все виды клеток можно разделить на две основные группы: паренхимные - округлой или многогранной формы, в большинстве случаев с тонкими стенками и примерно одинаковыми размерами по трем направлениям (от 0,01 до 0,1 мм); прозенхимные, главные признаки которых - вытянутая, напоминающая волокно форма и, часто, утолщенные в той или иной мере оболочки (диаметр 0,01-0,05 мм, длина 0,5-3 мм, иногда до 8 мм). По этому признаку ткани делят на покровные, расположенные на самой поверхности растения и непосредственно подверженные воздействию внешней среды (кожица, пробка); механические, придающие растению способность сопротивляться механическим воздействиям (либриформ); проводящие, служащие для проведения воды с растворенными питательными веществами (например, сосуды); запасные, являющиеся хранилищами запасных питательных веществ (древесная паренхима); ассимиляционные, главная функция которых - усвоение углерода.

Древесина хвойных пород отличается сравнительной простотой и правильностью строения. В состав ее входят всего два основных элемента: проводящие и механические функции здесь выполняют трахеиды, а запасающие - паренхимные клетки. Трахеиды - основной элемент древесины хвойных пород. Они занимают свыше 90% общего объема древесины. Трахеиды имеют форму сильно вытянутых в длину веретенообразных клеток (волокон) с утолщенными одревесневшими стенками и кососрезанными концами. На поперечном разрезе трахеиды расположены правильными радиальными рядами. Форма трахеид на поперечном разрезе близка к прямоугольной. Трахеиды — мертвые элементы; в стволе растущего дерева только вновь образующийся (последний) годичный слой содержит живые трахеиды, отмирание которых начинается еще весной, постепенно увеличивается к осени, а к концу зимы все трахеиды последнего годичного слоя отмирают. Ширина ранних трахеид сосны по радиальному направлению составляет в среднем 40 мкм, поздних - 20 мкм; толщина стенок ранних трахеид 2 мкм, поздних - от 3,5 до 7,5 мкм. Длина трахеид сосны колеблется от 2,1 до 3,7 мм, трахеид ели - от 2,6 до 5 мм; при этом длина поздних трахеид примерно на 10% больше ранних. У большинства наших хвойных пород стенки трахеид гладкие. На одной ранней трахеиде сосны находится в среднем 70 пор, на одной поздней - всего 17 пор; на трахеидах ели соответственно 90 и 25, на трахеидах лиственницы европейской - 90 и 8 пор. Диаметр окаймленных пор у разных пород колеблется от 8 до 31 нм, диаметр отверстия — от 4 до 8 нм. Мембрана окаймленных пор в трахеидах хвойных пород имеет в периферической неутолщенной части мелкие сквозные перфорации овальной или круглой формы, облегчающие сообщение между трахеидами. При отклонении мембраны в ту или иную сторону торус закрывает отверстие поры, вследствие чего проход воды через нее сильно затрудняется. В ядровой и спелой древесине хвойных пород окаймленные поры по существу выключены из действия и поэтому такая древесина становится труднопроницаемой для воды.

Количество закрытых пор в древесине хвойных пород возрастает в направлении от коры к сердцевине, причем наиболее резкое, скачкообразное увеличение количества их наблюдается при переходе заболони в спелую древесину. Вместе с тем замечено, что в поздних трахеидах ядра сосны закрытых пор значительно меньше, чем в ранних (по некоторым данным, в 8 раз), благодаря чему поздняя зона годичных слоев пропитывается антисептиками лучше, чем ранняя.

Паренхимные клетки в древесине всех хвойных пород составляют сердцевинные лучи, смоляные ходы (у некоторых хвойных) и у отдельных пород древесную паренхиму. Сердцевинные лучи хвойных пород очень узкие (однорядные на поперечном разрезе), по высоте состоят из нескольких рядов клеток. У сосны, кедра, лиственницы и ели сердцевинные лучи состоят из двух видов клеток: верхний и нижний ряды по высоте луча представлены горизонтальными (или лучевыми) трахеидами с мелкими окаймленными порами

и характерным утолщением стенок у некоторых хвойных; внутренние, т. е. средние по высоте, ряды состоят из паренхимных клеток с простыми порами. Паренхимные клетки лучей сосны и кедра снабжены одной-двумя большими простыми порами, а у остальных наших хвойных пород эти клетки имеют по три-шесть мелких простых пор. У сосны, кедра, лиственницы и ели, кроме однорядных лучей, есть еще многорядные, по которым проходят горизонтальные смоляные ходы. Лучевые трахеиды - мертвые элементы, паренхимные клетки луча остаются живыми на протяжении заболони, а иногда и в ядре, т. е. в течение 20-30 лет.

Древесина лиственных пород построена более сложно и состоит из большего числа разных элементов, причем на поперечном разрезе радиальное их расположение обнаруживается только у сердцевинных лучей. Сильное развитие отдельных элементов, особенно сосудов, смещает соседние клетки, вследствие чего древесина лиственных пород не имеет того правильного строения, которое характерно для древесины хвойных пород. Сердцевина лиственных пород образована довольно крупными паренхимными клетками, среди которых иногда встречаются мелкие толстостенные клетки, расположенные поодиночке или небольшими группами и заполненные бурым содержимым; у березы, дуба и ясеня клетки сердцевины могут оставаться живыми до 20-летнего возраста. В состав древесины лиственных пород входят проводящие элементы - сосуды и трахеиды, механические элементы - волокна либриформа и запасающие элементы - паренхимные клетки.

Сосуды - типичные водопроводящие элементы только лиственных пород представляют собой длинные тонкостенные трубки, образовавшиеся из длинного вертикального ряда коротких клеток, называемых члениками сосудов, путем растворения перегородок между ними. Если при этом в перегородке образуется одно большое округлое отверстие, такая перфорация называется простой. Если после растворения в перегородке остается ряд полос, между которыми расположены щелевидные отверстия, то такая перфорация называется лестничной (рис. 2). У многих пород встречается какой-либо один тип перфораций в сосудах, например: у дуба только простые, а у березы только лестничные. Некоторые породы имеют и те и другие, но и в этом случае преобладает какой-либо один тип перфораций. После соединения клеток, образующих сосуд, протоплазма и ядро отмирают и сосуды превращаются в мертвые капиллярные трубки, заполненные водой. В крупных сосудах диаметр члеников большой, длина же их нередко меньше диаметра; перегородки между члениками перпендикулярны длине сосуда, перфорации простые. В мелких сосудах диаметр члеников мал, а длина их в несколько раз превышает поперечные размеры; перегородки между члениками сильно наклонены и у многих пород снабжены лестничными перфорациями.

Таким образом, форма члеников сосудов может быть различной - от веретенообразной в мелких сосудах до цилиндрической или бочкообразной в крупных сосудах; длина их в ранней древесине кольцесосудистых лиственных

пород (крупные сосуды) от 0,23 до 0,39 мм, а в поздней древесине (мелкие сосуды) от 0,27 до 0,58 мм.

В местах соприкосновения стенок с соседним сосудом есть окаймленные поры разной формы, которые отличаются от окаймленных пор хвойных пород меньшей величиной и отсутствием торуса. В местах, где стенка примыкает к паренхимным клеткам, сосуды имеют полуокаймленные поры (окаймление только со стороны сосуда). В местах соприкосновения с клетками сердцевинного луча на стенках сосуда находятся прямоугольные участки, на которых тесно расположены овальные или округлые поры с очень узким окаймлением. В местах соприкосновения с волокнами либриформа стенки сосудов пор не имеют.

У некоторых пород с образованием ядра сосуды закупориваются тиллами и выводятся из строя как проводящие элементы. Тиллы представляют собой выросты в большинстве случаев соседних клеток сердцевинных лучей и, редко, древесной паренхимы; они имеют форму пузырей с одревесневшими стенками. Вростание паренхимных клеток в сосуд происходит через поры на его стенках (см. рис. 2). У некоторых пород тиллы образуются нормально уже после одного или нескольких лет работы сосуда. У многих пород тиллами закупориваются обычно сосуды ядра (у дуба, вяза), но и у безъядровых пород в определенных случаях наблюдается сильное тиллообразование (например, в ложном ядре бука). В срубленном дереве наличие тилл сильно затрудняет пропитку древесины; например, ложное ядро бука почти не поддается пропитке.

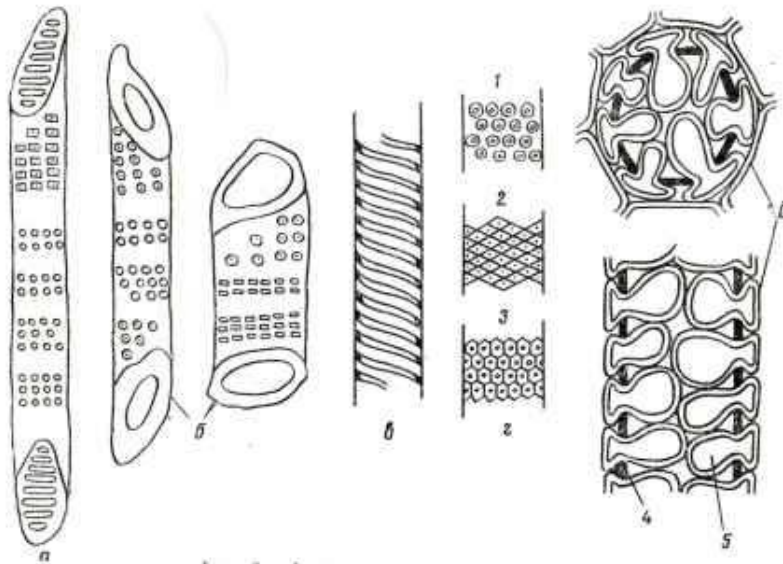


Рисунок 2 - Детали строения сосудов: *a* - членик сосуда с лестничной перфорацией; *б* - два членика сосуда с простой перфорацией; *в* - спиральный сосуд; *г* - типы окаймленных пор на стенках сосудов; *д* - сосуд с тиллами; 1 - округлые поры (береза); 2 - ромбовидные поры (клен); 3 - многогранные поры (вяз); 4 - стенка сосуда; 5 - тиллы.

На основе проведенного обзора установлено, что основными факторами, влияющими на пропитку древесины защитными растворами, являются размер пор соединяющихся сосудов, запечатывание пор торусами у хвойных пород, и перекрытие сосудов тиллами у лиственных пород. Размеры пор составляют 20-150 нм.

При определении размеров молекул химических растворов импрегнантов, за основу приняты результаты работы [8], в которой указывается, что строение комплексной молекулы дигидрокверцетина состоит из заключенные в оболочку макромолекул арабиногалактана и представляют собой наноматериал с размерами комплексных частиц от 5 до 20 нм.

Таким образом можно сделать **вывод**, что размеры молекул защитного раствора сопоставимы с размерами пор древесины. Это приводит к образованию заторов в местах сужения. Для повышения глубины пропитки древесины необходимо создавать импульсное избыточное давление раствора для преодоления преград заторов в местах соединения волокон. Для подтверждения выдвинутой гипотезы предполагается провести серию опытов с целью определения оптимальных режимов обработки, а именно определить влияние частоты и амплитуды импульсного давления.

Список литературы

1. Калниньш А.Я./ Физика древесины; Кострома 2009. – 146с. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.kstu.edu.ru/univer/misc/Fizika%20drevesiny.pdf>
2. Овсянников С.И., Лесовик В.С., Федоренко А.В. Огнебиозащитные средства для деревянных строений и конструкций / Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 24–25 ноября, 2015 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – Ч. II. – С. 222-228.
3. Воробьев Г. И./ Лесная энциклопедия: В 2-х т. /: Анучин Н. А., Атрохин В. Г., Виноградов В. Н. и др./ – М. : Сов. энциклопедия, 1985. -563 с.,
4. Баракс А.М./ Глубокая пропитка древесины путем применения наколов. Никифоров Ю. Н. – Москва. – 1969. – 176 ст. <http://www.booksite.ru/fulltext/rusles/baraks/text.pdf>
5. Черкасов И. К./ Консервирование и защита лесоматериалов, Москва. - 1971.
6. Овсянников С.И., Ковшик Д., Грошиков В. Метод ускоренной импрегнации древесины / Сб. науч. трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика», - ВГЛТА, Воронеж : 2014, № 3, часть 2. – С. 309 – 310.
7. Овсянников С.И., Громова А.Г. Закономерности влияния технологических параметров на свойства композиционных материалов из

древесных отходов и твердопластичных полимеров / Сб. науч. трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Эколого- и ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве», - ВГЛТА, Воронеж : 2014, № 3, часть 4. – С. 296 – 300.

8. Производство нанокompозита древесины – учимся у природы [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/proizvodstvonanokompозita-drevesiny-uchimsya-u-prirody>. Опубликовано tosurа 18 апреля, 2011.

9. Микроскопическое строение древесины [Электронный ресурс]: Режим доступа <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/micro/>

Анотація.

**ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МІКРОСТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ НА
ПРОСОЧУВАННЯ ЗАХИСНИМИ РОЗЧИНАМИ**

Овсянніков С.І., Федоренко Г.В.

Проведено аналіз мікроструктури будови деревини. В результаті встановлені основні мікроструктурні елементи будови деревини. До них відносяться пори у стінках судин та тілли. Охарактеризований процес просунення захисного розчину у порах деревини. Намічені основні напрямлення, що сприятимуть глибокій обробці деревини захисними розчинами.

Abstract.

**THE INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE PARAMETERS OF WOOD
IMPREGNATED WITH PROTECTIVE SOLUTIONS**

Ovsyannikov S.I., Fedorenko A.

The analysis of the microstructure of a structure of wood. As a result the main microstructural elements of wood structure. These include pores in the walls of blood vessels, bordering blood vessels, between nearby Tilly. Described the process of moving the protective solution within the pores of the wood. Outline the main directions for promoting the deep processing of wood with protective solutions.