

Теоретические основы технологии получения модифицированной древесины

*М. А. Михеевская², А. Д. Платонов,¹ С. Н. Снегирева¹, Т. К. Курьянова¹,
А. В. Киселева¹, Е.А. Первакова²*

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова

² Ухтинский государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматриваются теоретические основы технологического процесса получения модифицированной древесины для изготовления шпал. С этой целью выполнен системный анализ физических явлений, лежащих в основе технологических операций и на основании которого теоретически рассчитаны кривые нагрева заготовки по сечению в маслянистой жидкости и продолжительность сушки заготовок. Приняты методы пропитки, нагружения и снятия давления при прессовании. На основании системного анализа физических явлений и выполненных расчетов разработана структура и режимы технологического процесса изготовления модифицированной древесины.

Ключевые слова: модифицированная древесина, сушка, пропитка, прессование, антисептик, влажность, стабилизатор, физико-механические свойства, шпала, технология модификации древесины

В настоящее время шпалы изготавливают в основном из натуральной древесины хвойных пород. В связи с истощением запасов древесины в мире и малым сроком службы деревянных шпал, остро стоит вопрос повышения срока их службы и замены качественной древесины малоценной [1, 2].

Уменьшить недостатки шпал из натуральной древесины возможно, если для их изготовления использовать модифицированную древесину мягких лиственных пород, которая за счет прессования будет по прочности превосходить шпалы из натуральной древесины хвойных пород [3]. В связи с чем, существует необходимость создания нового высокотехнологичного ресурсосберегающего производства железнодорожных шпал с повышенными эксплуатационными свойствами. Для этого необходимо сырье для производства шпал подвергнуть пропитке составом антисептика и стабилизатора и провести термомеханическую модификацию древесины.

Разработка технологии модификации древесины возможна на основе анализа физических явлений, лежащих в основе технологических операций.

Самой продолжительной и энергозатратной операцией технологического процесса получения модифицированной древесины является сушка и пропитка древесины. Существующие виды и способы сушки древесины основываются на особенностях передачи тепла высушиваемому материалу. При производстве шпал из модифицированной древесины используется конвективная сушка в нагретых жидких сушильных агентах. Агентом сушки древесины может быть любая гидрофобная жидкость: различные масла, маслянистые антисептики (креозот, антрацен, жидкость техническая консервационная (ЖТК), петролатум) парафин и другие гидрофобные растворы. Одновременно в процессе сушки древесины все вышеуказанные жидкости её пропитывают [4].

Высыхание древесины в любой жидкости может происходить только при температуре, превышающей 100 °С [5]. По своей физической сущности способ сушки древесины в жидкостях близок к способу сушки в среде перегретого пара.

Долговечность и качество изделий из модифицированной древесины определяется её биостойкостью и формоустойчивостью. С этой целью древесину перед прессованием необходимо пропитать раствором антисептика со стабилизатором. При сушке древесины в маслянистых жидкостях наиболее эффективным является способ пропитки в горяче-холодных ваннах.

Прессование древесины - одно из наиболее перспективных направлений улучшения ее физико-механических свойств. Материал, получаемый в результате уплотнения древесины, обладает более высокими прочностными свойствами по сравнению с исходной (натуральной) древесиной. Повышение прочности происходит за счет уменьшения (сплющивания) полостей клеток,

составляющих для отечественных пород 40...77 %, при сохранении массы древесины. Из различных видов прессования для производства железнодорожных шпал из модифицированной древесины применяется одноосное поперечное равномерное прессование, при котором древесина уплотняется равномерно как по длине, так и в поперечном сечении прессуемой заготовки [4, 6].

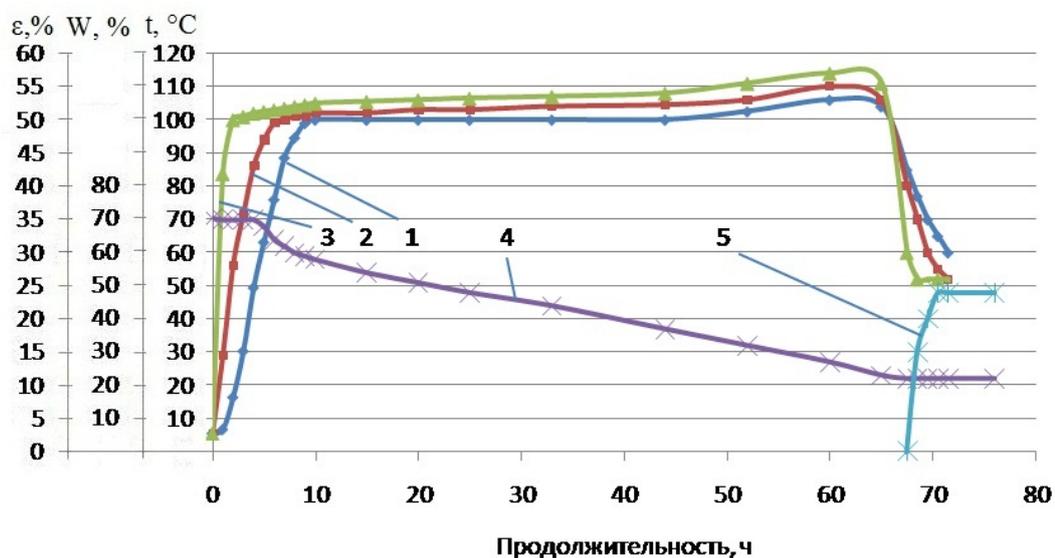
Качество модифицированной древесины, зависит от технологических параметров сушки, пропитки и прессования древесины. основополагающим параметром этих операций является температура среды и древесины (на поверхности и в центре заготовки).

Согласно ГОСТ 78-2004 «Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Технические условия» размерные характеристики шпал - 180×250×2750 мм. С учетом степени прессования необходимо правильно обосновать первоначальный размер заготовки.

Поскольку древесина является анизотропным материалом, то при нагревании и сушке распределение температуры внутри древесины неравномерное как по сечению, так и по длине. Представленные на рис. 1 поз. 1-3 теоретические кривые нагрева образца древесины березы сечением 225×250 мм, полученные расчетным методом, основываясь на критериях подобия (критерий Фурье F_0 , безразмерная температура θ и безразмерная координата x/R) по известной методике [4].

Ориентировочно через 2,5-3,0 часа поверхностные слои заготовки (28 мм от поверхности – 0,25R) достигают температуры свыше 100 °С (поз. 3 рис. 1) после чего начинается интенсивное выпаривание из них свободной влаги. По мере дальнейшего прогрева заготовки по сечению свыше 100 °С происходит углубление зоны выпаривания. Ориентировочно через 7 часов на расстоянии 56 мм от поверхности (0,5R) температура достигнет 100 °С (поз. 2, рис. 1). Через 11,5 часа температура в центре заготовки (112,5 мм - R)

достигает 100 °С (поз. 1, рис. 1) и после чего начинается процесс выпаривания влаги из центральной части заготовки. И через некоторое время влажность в центре заготовки составит 25-30 %.



1, 2, 3 – температура (t) в центре заготовки, на расстоянии 0,5R (радиуса) и 0,25R (радиуса); 4 – кривая влажности (W); 5 – степень прессования заготовки (ε)

Рис. 1. - Теоретические кривые процесса получения модифицированной древесины для производства железнодорожных шпал при начальной влажности древесины 70 % и температуре пропиточного раствора 130 °С

Сушка является самой продолжительной операцией технологического процесса получения модифицированной древесины совмещенным способом. Длительность сушки зависит от начальной влажности и температуры древесины и температуры маслянистой жидкости.

Продолжительность сушки березовых заготовок размером 225×250×2750 мм с начальной влажностью 50 %, 60 % и 70 % была определена по теоретическому расчету на основе физических явлений теплообмена [5]. Результаты теоретического расчета продолжительности сушки от начальной температуры 5,6 °С (среднегодовая температура для г. Воронеж) и при температуре пропиточного состава 130 °С представлены на рис. 1.

Ориентировочная общая продолжительность сушки березовой заготовки от начальной влажности 70 % до конечной 22 % составит 67,4 часа, при влажности 60 % - около 60 часов, а при 50 % - 47 часов от момента достижения в рабочей ванне температура пропиточного состава 130 °С. Понижение температуры горячего раствора до 120 °С, увеличивает продолжительность сушки на 49 %. Это существенно понижает эффективность технологического процесса.

Следующая операция технологического процесса - пропитка. Пропитка шпальных заготовок осуществляется способом горяче-холодных ванн, который заключается в том, что на первом этапе древесина помещается в горячий раствор, где происходит повышение парциального давления паровоздушной смеси с частичным её удалением из древесины. Затем следует быстрое погружение прогретой древесины в холодный раствор пропиточного состава, вызывающее понижение парциального давления паровоздушной смеси в клетках древесины ниже атмосферного, и образование в них некоторого вакуума, который, совместно с действием капиллярных сил, обеспечивает введение пропитывающего состава при атмосферном давлении [7].

Процесс пропитки начинается при достижении древесиной средней влажности около 30 %. По достижении древесиной влажности около 22 % в ванну подается холодный раствор с температурой около 40 °С и выдерживается в течение 1,5 ч...2 часов. В это время происходит интенсивная, глубокая пропитка древесины.

После этого древесина нагревается до температуры 80-100 °С в горячем растворе и начинается процесс прессования, продолжительность которого составляет около 3,0 часов. В процессе, когда горячий, а пропиточный состав выкачивается из рабочей ванны, а холодный закачивается, происходит незначительное их смешивание, но это не сказывается негативно на качестве

и глубине пропитки. Продолжительность слива горячего пропиточного состава и залива холодного должна быть малой.

Завершающей операцией технологического процесса производства модифицированной древесины совмещенным способом является одноосное равномерное прессование путем ступенчатого нагружения, выдержки и разгрузки заготовок. Заданный размер изделия будет достигнут после выдержки (релаксации) и полного снятия напряжений и процесс прессования заканчивается. Общая продолжительность процесса прессования составляет три часа. [8, 9].

Процесс прессования происходит при температуре пропиточного состава в рабочей ванне 80 °С. После чего циркуляция горячего антисептика прекращается и заготовка остывает в рабочей ванне до температуры 40-50 °С, ориентировочно в течение 10 часов [10].

Теоретические кривые процесса получения модифицированной древесины для производства железнодорожных шпал из древесины березы с начальной влажностью 70 % и температуре горячего пропиточного раствора 130 °С, представлена на рис. 1 и являются основой для разработки технологического процесса.

Структура процесса производства модифицированной древесины для производства шпал представлена на рис. 2.



Рис. 2. - Структура технологического процесса изготовления модифицированной древесины

На основании представленной структуры технологического процесса разработаны теоретические основы технологических режимов изготовления модифицированной древесины, представленные в таблице № 1.

Теоретически рассчитаны кривые нагрева заготовки по сечению в маслянистой жидкости при температуре 130 °С на основе критериев подобия (Фурье, безразмерной температуры и безразмерной координаты). На основе физических явлений теплообмена рассчитана продолжительность сушки заготовок от начальной влажности до требуемой конечной. Для глубокой пропитки древесины в маслянистой жидкости принят метод горяче-холодных ванн. Ориентировочно продолжительность этой операции составляет около трех часов.

Таблица № 1

Технологические режимы процесса изготовления модифицированной древесины при температуре пропиточного раствора 130 °С

Начальная влажность, %	Полный прогрев древесины	Сушка	Пропитка				
			Активная в горячем растворе	Интенсивная в холодном растворе	Подогрев в горячем растворе 2	Прессование	Остывание с пропиткой, выгрузка
70	0-9,5	2-62,5	49-62,5	62,5-65	65-66,5	66,5-69	69-71,5
60	0-9,5	2-52,5	39-52,5	52,5-55	55-56,5	56,5-59	59-61
50	0-9,0	2-42,5	29-42,5	42,5-44	44-45,5	45,5-48	48-50

Примечание: Продолжительность операций указана от начала технологического процесса

На основе литературных данных для прессования древесины принят ступенчатый метод нагружения и снятия давления с последующей выдержкой при фиксации конечного размера прессованной заготовки для спада напряжения (релаксации). На основании структуры технологического

процесса разработаны теоретические основы технологических режимов изготовления модифицированной древесины. Представленные теоретические расчеты продолжительности технологических операций нагрева, сушки и пропитки операций будут уточнены экспериментально на опытной установке.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания № 11.3960.2017/4.6.

Литература

1. Мохирев А. П., Позднякова М. О., Аксенов Н. В. Сравнительный анализ доступности лесных ресурсов лесозаготовительных предприятий // Инженерный вестник Дона, 2017, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3953.
2. Рудаков М. Н., Шегельман И. Р. Формирование технологической платформы лесного сектора России как фактор повышения доходов лесопромышленных регионов России // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/886>.
3. Курьянова Т. К., Платонов А. Д., Михеевская М. А., Паринов Д. А., Сафонов А. О., Мозговой Н. В., Первакова Е. А. Состояние вопроса производства и эксплуатации железнодорожных шпал из различных материалов // Лесотехнический журнал. 2017. Т.7. № 4 (28). С. 157-166.
4. Sheikh Ali Ahmed, Tom Morén, Margot Sehlstedt-Persson, Åsa Blom (2017) Effect of oil impregnation on water repellency, dimensional stability and mold susceptibility of thermally modified European aspen and downy birch wood Sheikh in Journal of Wood Science 63: pp. 74-82.
5. Соколов П. В. Проектирование сушильных и нагревательных установок для древесины. М.: Лесная промышленность, 1965. 331 с.
6. Navi P, Heger F (2004) Combined densification and thermo-hydro-mechanical processing of wood. MRS Bull 29: pp. 332–336.



7. Кречетов И. В. Сушка древесины. М.: Лесная промышленность, 1980. 432 с.
8. Горбачева Г. А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры: дис. ... канд./д-р. техн. наук: 05.21.05. М., 2004. 198 с.
9. Ugolev B. N. General laws of wood deformation and rheological properties of hardwood // Wood Science and Technology. 1976. vol. 10(3). pp. 169-181.
10. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. /2-е издание исправленное и доп. М.: Лесная промышленность. 1964. 361 с.

References

1. Mokhirev A. P., Pozdnyakova M. O., Aksenov N. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3953.
 2. Rudakov M. N., Shegel'man I. R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/886>.
 3. Kur'yanova T. K., Platonov A. D., Mikheevskaya M. A., Parinov D. A., Safonov A. O., Mozgovoy N. V., Pervakova E. A. Lesotekhnicheskiy zhurnal. 2017. T.7. № 4 (28). pp. 157-166.
 4. Sheikh Ali Ahmed, Tom Morén, Margot Sehlstedt-Persson, Åsa Blom (2017) Effect of oil impregnation on water repellency, dimensional stability and mold susceptibility of thermally modified European aspen and downy birch wood Sheikh in Journal of Wood Science 63: pp. 74-82.
 5. Sokolov P. V. Proektirovanie sushil'nykh i nagrevatel'nykh ustanovok dlya drevesiny [Development of drying and heating processing units for wood]. М.: Lesnaya promyshlennost', 1965. 331 p.
 6. Navi P, Heger F (2004) Combined densification and thermo-hydro-mechanical processing of wood. MRS Bull 29: pp. 332–336.
-



7. Krechetov I.V. Sushka drevesiny [Drying of wood].M.: Lesnaya promyshlennost', 1980. 432 p.

8. Gorbacheva G. A. Deformatsionnye prevrashcheniya drevesiny pri izmenenii nagruzki, vlazhnosti i temperatury [Deformation transformations of wood with changing load, moisture and temperature]: dis. ... kand. d-r. tekhn. nauk: 05.21.05. M., 2004. 198 p.

9. Ugolev, B. N. Wood Science and Technology. 1976. vol. 10(3). pp. 169-181.

10. Khukhryanskiy P. N. Pressovanie drevesiny [Wood pressing]. 2-e izdanie ispravlennoe i dop. M.: Lesnaya promyshlennost'. 1964. 361 p.