

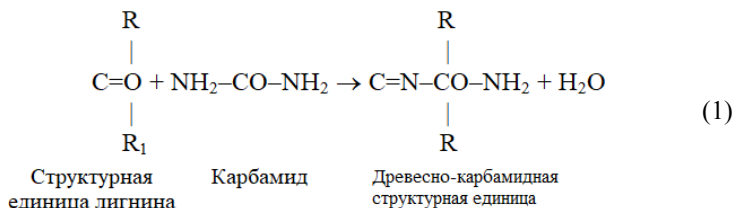
Г.С. Варанкина, Н.Г. Колесов, Д.С. Русаков

ПОВЫШЕНИЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ, СТАБИЛЬНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ РАСТВОРОМ КАРБАМИДА

Введение. Модификация древесины с целью повышения эксплуатационных и технологических свойств и последующего прессования относится к перспективным направлениям [Варанкина и др., 2015; Уголев, 2007; Ugolev, 2014]. Существует много способов улучшения качества древесины, одним из которых является термохимическая модификация [Гаврилова и др., 2015; Шамаев и др., 2013; Шамаев, 2015].

Модификация древесины карбамидом связана с поликонденсационными процессами карбамида, лигнина и легкодоступными фракциями гемицеллюлоз. Карбамид вступает в ассоциацию с гидроксильными группами компонентов древесины с образованием водородных связей [Глазков и др., 2012; Михеевская и др., 2018].

При термохимической модификации древесины карбамидом образуется значительное количество азота; это объясняется тем, что в условиях термообработки происходит частичный гидролиз карбамида с образованием углекислого газа и аммиака [Шамаев и др., 2013; Шамаев, 2015]. При обработке древесины растворами карбамида происходит химическое взаимодействие карбамида с древесиной, термообработка древесины способствует сольватации карбамида с лигнином и целлюлозой. Лигнин конденсируется с амидами по гидроксильным группам, как алифатическим, так и фенольным. Схема реакции карбамида с карбонильными группами лигнина («карбамидное сшивание»):



Для обеспечения качественного модифицирования необходимо использовать пропиточные составы, хорошо смачивающие древесину и поз-

воляющие регулировать (при необходимости) вязкость и температуру, чтобы достичь требуемой глубины пропитки. Поскольку древесина является сложным анизотропным материалом с переменным составом элементов строения на микроуровне (микрокапилляры, макрофибриллы, поры, сосуды, трахеиды, волокна либриформа) и на мезоуровне (крупные сосуды и трахеиды, сердцевинные лучи и годовичные слои), для понимания механизма пропитки разработаны физические и математические модели пропитки древесины лиственных (на примере осины) и хвойных (на примере сосны, ели) пород [Чубинский и др., 1995; Чубинский, 1995; Чубинский, 1992; Чубинский и др., 2004].

Основным недостатком лигноуглеводной матрицы древесины является то, что она имеет пористую структуру, содержит воду и углеводные компоненты [Ravikovitch et al., 2000; Sing et al., 2000; Stoeckli et al., 1984], т.е. является субстратом для микроорганизмов, использующих углеводы в качестве питательной среды, в результате попадая под разрушительное воздействие влаги, плесени, грибов и насекомых [Грег и др., 1984; Джейкок и др., 1984; Ермолин, 1999]. При использовании промышленной технологии термомодификации древесины, а именно в автоклаве, происходит высококачественная обработка древесных материалов.

Цель работы – повысить формоустойчивость, стабильность, водостойкость и улучшить эксплуатационные свойства изделий из древесины, модифицированной раствором карбамида.

Методика проведения исследования. При большом значении градиента давления, который наблюдается при модификации, именно на мембранах межклеточных пор происходит образование газовых пузырьков, которые увеличиваются в размере, а затем под давлением лопаются и заполняются раствором. Для стабилизации формы и размеров такой древесины использовали раствор карбамида и пропитывали в автоклаве.

В работе использовали карбамид марки А в количестве 20–50% (от массы сухой древесины) с последующей сушкой. Пропитку проводили при температуре 60–110 °С, при давлении 0,15–0,25 МПа, от 10 до 50 мин при рН = 6–7. Применяли раствор карбамида марки А с различной концентрацией, автоклав с плотно закрытой крышкой нагревали до 100 °С, помещали образцы древесины разных пород (осина, ель), выдерживали под давлением в зависимости от концентрации (содержания) карбамида. Далее заготовки извлекали из раствора, измеряли линейные размеры и взвешивали, затем помещали в сушильную камеру и высушивали до постоянной массы; определяли содержание сухого остатка карбамида (табл. 1).

Таблица 1

Физические показатели модифицированной древесины

Physical indicators of modified wood

Модификатор	Концентрация раствора, %	Время выдержки под давлением, мин	Температура, °С	Порода	Масса до пропитки, кг	Масса древесины (сразу после пропитки), кг	Масса сухой модифицированной древесины, кг	Плотность до пропитки, кг/м ³	Плотность древесины (сразу после пропитки), кг/м ³	Плотность сухой модифицированной древесины, кг/м ³	Объемное разбухание, %
Карбамид марки А	45	30	60	Осина	0,154	0,3226	0,170	476,76	864,11	505,19	4,01
					0,134	0,2439	0,144	413,46	877,80	445,88	4,11
					0,139	0,2296	0,147	430,44	815,00	452,36	5,28
				Ель	0,240	0,390	0,264	506,68	740,12	526,87	5,03
					0,240	0,390	0,267	506,04	740,31	546,24	7,87
					0,241	0,395	0,266	507,94	749,62	527,23	4,43
Карбамид марки А	40	30	80	Осина	0,137	0,285	0,146	423,65	845,02	451,13	8,16
					0,139	0,288	0,147	427,66	895,48	453,60	4,75
					0,146	0,347	0,160	450,51	961,54	493,43	4,43
				Ель	0,241	0,384	0,259	509,21	742,24	518,59	3,52
					0,256	0,510	0,287	540,46	863,71	574,23	5,94
					0,246	0,490	0,279	518,71	853,03	559,02	2,93
Карбамид марки А	35	30	100	Осина	0,148	0,343	0,175	458,23	919,82	546,44	6,77
					0,153	0,404	0,234	471,51	1186,62	701,55	2,20
					0,142	0,328	0,182	439,70	963,10	553,87	3,50
				Ель	0,237	0,374	0,252	500,34	726,68	530,90	6,25
					0,233	0,371	0,249	492,32	721,43	523,11	6,25
					0,240	0,380	0,255	505,83	740,10	536,79	7,04

Результаты исследования и их анализ. Для получения максимальной плотности, а значит, в дальнейшем, и максимальной прочности содержание влаги в древесине должно быть больше, чем требуется для прохождения реакций, в которых участвует вода (рис. 1, 2). Пропитка древесины

раствором карбамида различной концентрации (от массы сухой древесины) с последующей сушкой, протекает при соединении карбамида с компонентами древесины, тем самым уплотняя ее, придавая заготовкам повышенную формоустойчивость и водостойкость.

Модификация карбамидом происходит в основном за счет проникновения раствора через поры капилляров целлюлозы в клеточных стенках. Автоклав создает давление, втягивающее мениск раздела раствор–воздух внутрь пор клеточных стенок. Капиллярные силы препятствуют возврату границы раздела внутрь клетки с ее поверхности, и раствор ниже границы раздела оказывается под отрицательным гидростатическим давлением. Это создает пониженный водный потенциал поблизости от поверхности, включая клеточные стенки и клеточный протопласт, в связи с этим возрастает плотность модифицированной древесины причем, эта тенденция сохраняется для всех исследуемых пород (рис. 1).

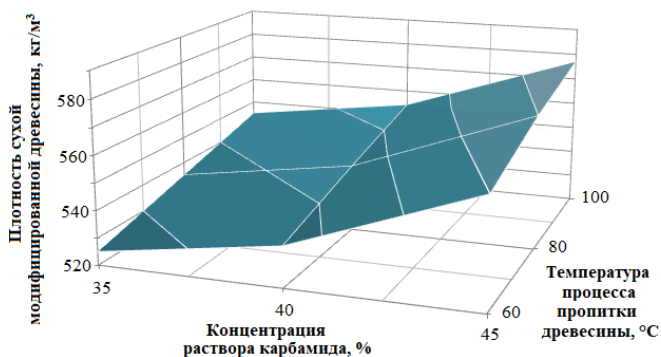


Рис 1. График зависимости плотности сухой модифицированной древесины (порода – ель) от концентрации модифицирующего раствора карбамида и температуры процесса пропитки

Fig. 1. Graph of the dependence of the density of dry modified wood (spruce species) on the concentration of the modifying urea solution and the temperature of the impregnation process

Поры не только соединяют трахеиды между собой, но и соединяют их с паренхимными клеткам и лучевыми трахеидами; кроме того поры с торусом функционируют как клапаны [Ugolev, 2014]. При большой разнице давлений между соседними трахеидами торус может быть прижат давлением к отверстию апертуры той трахеиды, в которой давление меньше. Поскольку диаметр торуса больше, чем диаметр апертуры, то в таком случае пора будет полностью закрыта для потока раствора.

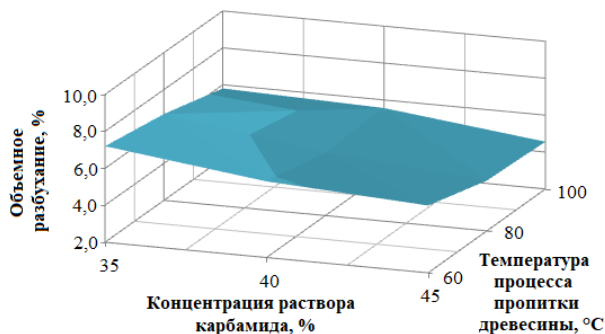


Рис. 2. График зависимости объемного разбухания (порода – осина) от концентрации модифицирующего раствора карбамида и температуры процесса пропитки

Fig. 2. Graph of the dependence of volumetric swelling (aspen species) on the concentration of the modifying urea solution and the temperature of the impregnation process

Таким образом, межклеточные поры в древесине обеспечивают возможность движения раствора между отдельными проводниками не только в направлении снизу вверх, но и горизонтально, что необходимо, когда отдельный проводник выходит из строя и появляется горизонтальный градиент давления, препятствующий проникновению воздуха из эмболизированного проводника в соседний, заполненный раствором, т.е. функционируют как предохранительные клапаны, благодаря которым поддерживается отрицательное давление в проводящих элементах; в связи с этим объемное разбухание модифицированной древесины (с повышением концентрации раствора карбамида) уменьшается, и эта закономерность сохраняется как для лиственных, так и для хвойных пород древесины (рис. 2). Благодаря наличию сосудов древесина лиственных пород (в т. ч. осина) обладает значительно более высокой (в 3...10 раз) водопроницаемостью в направлении длины волокон, чем древесина хвойных пород.

Во многих случаях сосуды, а иногда и трахеиды со временем закупориваются тилами [Ugolev, 2014]. Тилы – это выросты клеток древесной паренхимы или сердцевинных лучей, внедряющиеся в полость водопроводящих элементов. Чаще всего тилы образуются путем проникновения в полости крупных сосудов живых паренхимных клеток через поры, разрастаясь и растягивая их мембраны. Обычно тилы имеют вид тонкостенных пузырей (рис. 3).

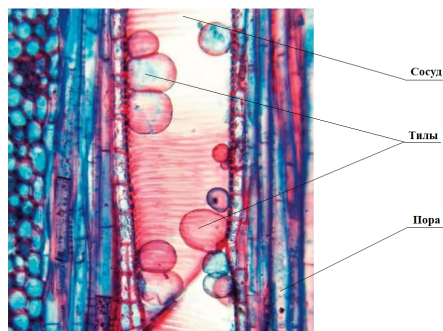


Рис. 3. Сосуд с тилами

Fig. 3. Vessel with tills

В полости их находятся постенная протоплазма и центральная вакуоль, довольно часто содержатся также зерна крахмала и реже кристаллы щавелевокислого кальция. Если тилы входят в соприкосновение друг с другом, то они принимают многогранную форму и образуют внутри сосуда ложную паренхиму, клетки которой сообщаются между собой простыми порами. Если тилы разрываются, то благодаря градиенту давления туда входит водный раствор модификатора, в результате чего увеличивается плотность паренхимных клеток.

Волокнистые трахеиды являются переходным элементом от типичной трахеиды к волокну либриформа [Ugolev, 2014]. В растущем дереве они выполняют преимущественно механические функции, в соответствии с чем имеют сильно утолщенные оболочки, малую полость и редкие мелкие, часто щелевидные поры с узким окаймлением. От волокон либриформа они отличаются более заметной полостью, меньшей толщиной оболочки, а также хотя и мелкими, но ясно окаймленными порами.

Волокна либриформа представляют собой вытянутые прозенхимные клетки с узкими полостями и мощными стенками, снабженными простыми щелевидными порами. Они занимают по объему от 35 до 75%. В сформировавшемся состоянии волокна либриформа лишены живого содержимого, и полости их заполнены воздухом, но под давлением в автоклаве они заполняются раствором модификатора. Оболочки волокон либриформа имеют значительную толщину. Поры на стенках древесных волокон немногочисленные, узкие, щелевидные, но достаточные для прохождения раствора модификатора.

Важным для теории и практики является значение механизма переноса влаги в древесине при ее сушке. Данный механизм для свободной и связанной воды различен. В начале процесса сушки поверхностное испарение будет вызывать снижение влажности наружных слоев. После того как свободная влага с поверхности будет частично удалена, между внутренними слоями и поверхностью появляется разность капиллярных давлений, обеспечивающая подсос к поверхности свободной влаги по мере ее испарения [Ugolev, 2014]. Скорость сушки в этом периоде постоянна и определяется интенсивностью испарения влаги с поверхности. В поверхностной зоне действует закон пропорциональности плотности потока влаги градиенту влажности,

Выводы. Термохимическая модификация древесины карбамидом происходит за счет проникновения раствора через поры капилляров целлюлозы в клеточных стенках благодаря разнице давлений, а также реакции присоединения карбамида с компонентами лигноуглеродной матрицы древесины. Карбамид уплотняет древесину и придает ей повышенную формоустойчивость и водостойкость. При физическом моделировании процесса пропитки древесины хвойных пород (сосна, ель) жидкость распространяется по трахеидам. При моделировании процесса пропитки древесины лиственных пород (осина) жидкость распространяется в основном по крупным сосудам ранней зоны, перетекая из сосуда в сосуд через поры и лестничную перфорацию.

В целом, проведенные исследования закладывают основу для дальнейших, более глубоких экспериментов по модификации древесины различных пород (дополнительно, в частности, сосны). Также планируется представить описание физико-химических процессов модификации с применением современных методов научного проникновения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Русаков Д.С. Исследование адгезионных свойств модифицированных клеевых композиций // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. III Междунар. научно-технической конференции. Кострома: КГТУ, 2015. С. 100–102.

Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 132 с.

Глазков С.С., Снычева Е.В., Альбинская Ю.С., Рудаков О.Б. Физико-механические и энергетические характеристики модифицированной древесины

березы // Конденсированные среды и межфазные границы. 2012. Т. 14, № 2. С. 168–174.

Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / пер. с англ. А.П. Карнаухова. Изд. 2-е. М.: Мир, 1984. 306 с.

Джейкок М., Парфит Д. Химия поверхностей раздела фаз / пер. с англ. В.Ю. Гаврилова, В.Б. Фенелона; под ред. А.П. Карнаухова. М.: Мир, 1984. 269 с.

Ермолин В.П. Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород. Красноярск: Сиб. ГТУ, 1999. 100 с.

Михеевская М.А., Платонов А.Д., Снегирева С.Н., Курьянова Т.К., Киселева А.В., Первакова Е.А. Теоретические основы технологии получения модифицированной древесины // Инженерный вестник Дона, 2018. 2 (49). С. 65–75.

Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб., 1992. 162 с.

Чубинский А.Н. Формирование клеевых конструкционных материалов из шпона хвойных пород древесины: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.05 / Санкт-Петербургская лесотехн. академия. СПб., 1995. 36 с.

Чубинский А.Н., Нуллер Б.М. Теоретические исследования процессов деформирования и пропитки древесины при склеивании // Лесной журнал. 1995. № 1. С. 99–102.

Чубинский А.Н., Герасюта С.М., Коваленко И.В. Пористость древесины с учетом ее фрактальной структуры. Строение, свойства и качество древесины // Труды IV Междунар. симпозиума. СПб.: СПбГЛТА, 2004. С. 384–386.

Шамаев В.А. Получение модифицированной древесины химико-механическим способом и исследование ее свойств // Лесотехнический журнал, 2015. 5 (20). С. 177–187.

Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины. Монография. М.: ФЛИНТА 2013. 448 с.

Ravikovitch P.I., Neimark A.V. Calculations of pore size distributions in nanoporous materials from adsorption and desorption isotherms // Stud.Surf. Sci. Catal. 2000. Vol. 129. P. 597–606.

Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W., Moscou L., Pierotti R.A., Rouquerol J., Siemieniowska T. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984) // Pure Appl. Chem. 1985. Vol. 57, no. 4. P. 603–619.

Stoeckli H.F., Kraehenbuehl F. The external surface of microporous carbons, derived from adsorption and immersion studies // Carbon. 1984. Vol. 22, no. 3. P. 297–299.

Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. Wood Science and Technology // Journal of the International Academy of Wood Science. 2014. Vol. 48, no. 3. P. 553–568. DOI: 10.1007/s00226-013-0611-2.

References

Chubinskij A.N. Formirovanie kleenyykh konstrukcionnykh materialov iz shpona hvoynyykh porod drevesiny [Formation of glued structural materials from softwood veneer]: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk: 05.21.05 / Sankt-Peterburgskaya lesotekhn. akademiya. SPb., 1995. 36 p. (In Russ.)

Chubinskij A.N. Formirovanie kleevyykh soedinenij drevesiny [Formation of adhesive joints of wood]. SPb., 1992. 162 p. (In Russ.)

Chubinskij A.N., Nuller B.M. Teoreticheskie issledovaniya processov deformirovaniya i propitki drevesiny pri skleivanii [Theoretical studies of the processes of deformation and impregnation of wood during gluing]. *Lesnoj zhurnal*, 1995, no. 1, pp. 99–102. (In Russ.)

Chubinskij A.N., Gerasyuta S.M., Kovalenko I.V. Poristost' drevesiny s uchetom eyo fraktal'noj struktury. Stroenie, svojstva i kachestvo drevesiny [The porosity of wood, taking into account its fractal structure]. *Trudy IV Mezhdunarodnogo simpoziuma*. SPb.: SPbGLTA, 2004, pp. 384–386. (In Russ.)

Dzhejkok M., Parfit D. Himiya poverhnostej razdela faz [Chemistry of interface surfaces] / per. s angl. V.Yu. Gavrilova, V.B. Fenelonova; pod red. A.P. Karnauhova. M.: Mir, 1984. 269 p. (In Russ.)

Ermolin V.P. Osnovy povysheniya pronicaemosti zhidkostyami drevesiny hvoynyykh porod [Fundamentals of increasing the permeability of coniferous wood with liquids]. Krasnoyarsk: Sib. GTU, 1999. 100 p. (In Russ.)

Gavrilova N.N., Nazarov V.V. Analiz poristoj struktury na osnove adsorbcionnykh dannykh [Analysis of the porous structure based on adsorption data]. M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2015. 132 p. (In Russ.)

Glazkov S.S., Snycheva E.V., Al'binskaya Yu.S., Rudakov O.B. Fiziko-mekhanicheskie i energeticheskie harakteristiki modifitsirovannoj drevesiny breezy [Physical, mechanical and energy characteristics of modified birch wood]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granicy*, 2012, vol. 14, no. 2, pp. 168–174. (In Russ.)

Greg S., Sing K. Adsorbciya, udel'naya poverhnost', poristost' [Adsorption, surface area, porosity] / per. s angl. A.P. Karnauhova. Izd. 2-e. M.: Mir, 1984. 306 p. (In Russ.)

Mihevskaya M.A., Platonov A.D., Snegireva S.N., Kur'yanova T.K., Kiseleva A.V., Pervakova E.A. Teoreticheskie osnovy tekhnologii polucheniya modifitsirovannoj drevesiny [Theoretical foundations of the technology for obtaining modified wood]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2018, 2 (49), pp. 65–75. (In Russ.)

Ravikovitch P.I., Neimark A.V. Calculations of pore size distributions in nanoporous materials from adsorption and desorption isotherms. *Stud. Surf. Sci. Catal.* 2000, vol. 129, pp. 597–606.

Shamaev V.A. Poluchenie modifitsirovannoj drevesiny himiko-mekhanicheskim sposobom i issledovanie ee svojstv [Obtaining modified wood by the chemical-mechanical method and studying its properties]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2015, 5 (20), pp. 177–187. (In Russ.)

Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. Modificirovanie drevesiny [Wood modification]. Monografiya. M.: FLINTA 2013. 448 p. (In Russ.)

Sing K.S.W., Everett D.H., Haul R.A.W., Moscou L., Pierotti R.A., Rouquerol J., Siemieniowska T. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). *Pure Appl. Chem.*, 1985, vol. 57, no. 4, pp. 603–619.

Stoeckli H.F., Kraehenbuehl F. The external surface of microporous carbons, derived from ad-sorption and immersion studies. *Carbon*. 1984, vol. 22, no. 3, pp. 297–299.

Ugolev B.N. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie [Wood science and forest commodity science]. M.: MGUL, 2007. 351 p. (In Russ.)

Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 553–568. DOI: 10.1007/s00226-013-0611-2.

Varankina G.S., Chubinskij A.N., Rusakov D.S. Issledovanie adgezionnykh svoystv modificirovannykh kleevykh kompozitsij [Study of the adhesive properties of modified adhesive compositions]. *Sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Kostroma: KGTU. 2015, pp. 100–102. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.06.2023

Варанкина Г.С., Колесов Н.Г., Русаков Д.С. Повышение формоустойчивости, стабильности и водостойкости изделий из древесины, модифицированной раствором карбамида // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 302–314. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.302-314

При термохимической модификации сухой древесины пропитывающими составами при повышенных температурах преобладают процессы пропитки и движения пропитывающих веществ под действием капиллярного давления после поглощения состава вглубь древесины, а также под действием избыточного давления в автоклаве. Цель работы – повысить формостабильность, водостойкость и улучшить эксплуатационные свойства изделий из древесины, модифицированной раствором карбамида. При большом значении градиента давления, который наблюдается при модификации, именно на мембранах межклеточных пор происходит образование газовых пузырьков, которые увеличиваются в размере, а затем под давлением лопаются и заполняются раствором. Для стабилизации формы и размеров такой древесины использовали раствор карбамида и пропитывали в автоклаве с ручным управлением при повышенной температуре и давлении. Модификация древесины карбамидом связана с поликонденсационными процессами

карбамида, лигнина и легкодоступными фракциями гемицеллюлоз. Карбамид вступает в ассоциацию с гидроксильными группами компонентов древесины с образованием водородных связей. Для получения максимальной плотности, а значит, в дальнейшем, и максимальной прочности содержание влаги в древесине должно быть больше, чем требуется для прохождения реакций, в которых участвует вода. Пропитка древесины раствором карбамида различной концентрации (от массы сухой древесины) с последующей сушкой протекает при соединении карбамида с компонентами древесины, тем самым уплотняя ее, придавая заготовкам повышенную формоустойчивость и водостойкость. Модификация карбамидом происходит в основном за счет проникновения раствора через поры капилляров целлюлозы в клеточных стенках благодаря разнице давлений. Важным для теории и практики является значение механизма переноса влаги в древесине при ее сушке. Данный механизм для свободной и связанной воды различен. В начале процесса сушки поверхностное испарение будет вызывать снижение влажности наружных слоев. После того как свободная влага с поверхности будет частично удалена, между внутренними слоями и поверхностью появляется разность капиллярных давлений, обеспечивающая подсос к поверхности свободной влаги по мере ее испарения. Скорость сушки в этом периоде постоянна и определяется интенсивностью испарения влаги с поверхности. При физическом моделировании процесса пропитки древесины хвойных пород (сосна, ель) жидкость распространяется по трахеидам. При моделировании процесса пропитки древесины лиственных пород (осина) жидкость распространяется в основном по крупным сосудам ранней зоны, перетекая из сосуда в сосуд через поры и лестничную перфорацию.

Ключевые слова: термохимическая модификация, раствор карбамида, пропитка, сушка заготовок из древесины, плотность модифицированной древесины, объемное разбухание.

Varankina G.S., Kolesov N.G., Rusakov D.S. Increasing dimensional stability, stability and water resistance of wood products modified with urea solution. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 302–314 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.302-314

During the thermochemical modification of dry wood with impregnating compositions at elevated temperatures, the processes of impregnation and movement of impregnating substances under the action of capillary pressure, after absorption of the composition deep into the wood, and also under the influence of excess pressure in the autoclave predominate. The purpose of the work is to increase dimensional stability, water resistance and improve the performance properties of wood products modified with a urea solution. With a large pressure gradient, which is observed during modification, it is on the membranes of intercellular pores that gas bubbles

form, which increase in size, and then burst under pressure and are filled with solution. To stabilize the shape and size of such wood, a urea solution was used and impregnated in a manually operated autoclave at elevated temperature and pressure. Wood modification with urea is associated with polycondensation processes of urea, lignin and readily available hemicellulose fractions. Urea enters into association with the hydroxyl groups of wood components to form hydrogen bonds. To obtain maximum density, and therefore, in the future, maximum strength, the moisture content in the wood must be greater than that required for reactions in which water is involved. Impregnation of wood with a solution of urea of varying concentrations (based on the mass of dry wood) followed by drying occurs when urea combines with the components of the wood, thereby compacting it, giving the workpieces increased dimensional stability and water resistance. Modification with urea occurs mainly due to the penetration of the solution through the pores of cellulose capillaries in the cell walls due to the pressure difference. For theory and practice the mechanism of moisture transfer in wood during its drying is important. This mechanism is different regarding free and bound water; at the beginning of the drying process, surface evaporation will cause a decrease in the moisture content of the outer layers. When the free moisture from the surface has been partially removed, a capillary pressure difference appears between the inner layers and the surface, ensuring the suction of free moisture to the surface as it evaporates. The drying rate in this period is constant and is determined by the intensity of moisture evaporation from the surface. When physically modeling the process of impregnation of coniferous wood (pine, spruce), the liquid spreads along the tracheids. When modeling the process of impregnation of hardwood (aspen), the liquid spreads mainly through large vessels in the early zone, flowing from vessel to vessel through pores and ladder perforations.

Key words: thermochemical modification, urea solution, impregnation, drying of wood blanks, density of modified wood, volumetric swelling.

ВАРАНКИНА Галина Степановна – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: varagalina@yandex.ru

VARANKINA Galina S. – DSc (Technical), Professor of the Department of Materials Technology, designs and constructions of wood, St.Petersburg State Forestry University.

194021, Institutskii per. 5, St. Petersburg, Russia. E-mail: varagalina@yandex.ru

КОЛЕСОВ Никита Геннадьевич – аспирант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kolesov_nikita@mail.ru

KOLESOV Nikita G. – PhD student of the department of technology of materials, structures and structures made of wood, St.Petersburg State Forest Engineering University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: kolesov_nikita@mail.ru

РУСАКОВ Дмитрий Сергеевич – доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук, доцент.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dima-ru25@mail.ru

RUSAKOV Dmitry S. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Materials Technology, designs and constructions of wood, St.Petersburg State Forestry University.

194021. Institutskii per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: dima-ru25@mail.ru