

Совершенствование технологии процесса сушки пиломатериалов в условиях избыточного давления сушильного агента

Н.П. Плотников^а, И.Н. Чельшева^б

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а n-plotnikov@mail.ru, ^б irinachelysheva@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Статья поступила 26.01.2022, принята 07.02.2022

Одними из важнейших задач предприятий деревообрабатывающей промышленности, не потерявших своей актуальности и в настоящее время, являются комплексное использование сырья и разработка прогрессивных ресурсосберегающих технологий. Современная коммерческая система с международными связями предлагает массовое передвижение заготовок или готовых изделий из древесины в мировом масштабе. Как следствие, сырье после обработки и транспортировки оказывается в очень разных климатических условиях, т. е. древесина постоянно изменяет свою влажность, так как стремится прийти в гигроскопическое равновесие с новой средой. В связи с этим роль сушки, а, следовательно, и роль новых разработок, обеспечивающих повышение эффективности процессов высушивания пиломатериалов, существенно возрастает. Интересным в этом плане представляется процесс сушки древесины в условиях избыточного давления сушильного агента. Опытная установка для проведения сушки была создана в Красноярске, на производстве фирмы «Технокор», и приобретена деревообрабатывающими предприятиями Братска. Однако специфика сушки сосновых и лиственничных пиломатериалов, ряд конструктивных недоработок, а также необходимость корректировки технологических параметров сушки обусловили необходимость проведения исследований, направленных на совершенствование предлагаемого технологического процесса сушки пиломатериалов в условиях избыточного давления сушильного агента. Цель исследований — разработка технологии процесса сушки пиломатериалов в условиях избыточного давления сушильного агента, включающая в себя разработку режимов сушки, обеспечивающих получение сухих пиломатериалов, соответствующих требованиям качества согласно ГОСТ 6449.1-82 и РТМ по технологии камерной сушки. Результаты проведенных экспериментов дают основание для оптимизации режимов сушки пиломатериалов различных пород. Целесообразность таких исследований подтверждается высокой эффективностью предложенных сушильных устройств, обеспечивающих снижение продолжительности сушки и энергозатрат на единицу продукции.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов; агент сушки; внутренние напряжения; избыточное давление; режимы сушки.

Improvement of the technology of the lumber drying process under conditions of excessive pressure of the drying agent

N.P. Plotnikov^а, I.N. Chelysheva^б

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а n-plotnikov@mail.ru, ^б irinachelysheva@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Received 26.01.2022, accepted 07.02.2022

One of the most important tasks of the woodworking industry, which has not lost its relevance at the present time, is the integrated use of raw materials and the development of progressive resource-saving technologies. A modern commercial system with international connections offers a mass movement of blanks or finished wood products on a global scale, and as a result, the raw material after processing and transportation ends up in very different climatic conditions, that is, wood constantly changes its moisture content, as it tends to come to hygroscopic equilibrium with the new environment. In this regard, the role of drying, and hence the role of new developments that provide an increase in the efficiency of lumber drying processes, is increasing significantly. In this regard, the process of drying wood under the conditions of excess pressure of the drying agent seems to be interesting. A pilot plant for drying was created in Krasnoyarsk at the Tekhnokor company and purchased by woodworking enterprises in Bratsk. However, the specifics of drying pine and larch lumber, a number of design flaws, as well as the need to adjust the drying technological parameters have necessitated research aimed at improving the proposed technological process for drying lumber under conditions of excess pressure of the drying agent. The purpose of the research is to develop a technology for the process of drying lumber under conditions of excessive pressure of a drying agent, including the development of drying modes that ensure the production of dry lumber that meets the quality requirements in accordance with GOST 6449.1-82 and RTM using chamber drying technology. The obtained results of the experiments carried out provide a basis for optimizing the modes of drying lumber of various species. The feasibility of such studies is confirmed by the high efficiency of the proposed drying devices, providing a reduction in the duration of drying and energy consumption per unit of product.

Keywords: drying of lumber; drying agent; internal stresses; overpressure; drying modes.

Введение. Сушка пиломатериалов — одна из важнейших операций в технологическом процессе лесопиления и деревообработки. Сушка предохраняет древесину от поражения деревоокрашивающими и дерево-разрушающими грибами в процессе ее хранения и транспортировки, предупреждает размеро- и формоизменяемость древесины в процессе изготовления и эксплуатации изделий из нее, улучшает качество отделки древесины, склеивания. В деревообрабатывающей отрасли промышленности для высушивания пиломатериалов широко применяется камерная сушка, осуществляемая в сушильных камерах различных конструкций. [1–4].

Процесс конвективной сушки сырых пиломатериалов сопровождается неравномерным распределением влажности по их объему и, как следствие, возникновением в древесине внутренних напряжений, приводящих к короблению или растрескиванию — наиболее часто встречающимся дефектами сушки, ограничивающим применение пиломатериалов.

Появление наружных, торцовых и внутренних трещин обуславливается в основном жесткостью режимов сушки, плохой циркуляцией агента сушки. Поэтому при сушке пиломатериалов ответственного назначения, в которых не допускаются (ограничиваются по величине) внутренние напряжения, рекомендуется использовать мягкие, рациональные режимы с дополнительной влаготеплообработкой [5–9].

В условиях постоянно возрастающих затрат на сушильную технику и энергоносители, при растущих потребностях различных производств в сухих пиломатериалах поиск путей интенсификации процесса сушки пиломатериалов при сохранении показателей их качества является особенно актуальным. Разработанная лесосушильная камера «Технокор» в определенной степени отвечает поставленной задаче. Простая по конструкции малогабаритная конвективная паровоздушная камера с электрообогревом способна обеспечить сокращение продолжительности высушивания пиломатериалов по 2-й, 3-й категории качества в 2–4 раза [10–13].

Принцип сушки в предложенной камере основан на конвекции насыщенного пара при высоких (до 150 °C) температурах.

Однако предложенные режимы сушки пиломатериалов при высокой скорости высушивания не обеспечивали требуемого качества пиломатериалов. Основная причина несоответствия качества заключается в наличии больших остаточных напряжений и внутренних трещин.

Методы исследования. Целью проведенных исследований является разработка технологии процесса сушки пиломатериалов в условиях избыточного давления сушильного агента, включающая в себя разработку режимов сушки, обеспечивающих получение сухих пиломатериалов, соответствующих требованиям качества согласно ГОСТ 6449.1-82 и РТМ по технологии камерной сушки [14–17].

Разработанная лесосушильная камера «Технокор» предназначена для сушки пиломатериалов до конечной влажности древесины 8–10 % по любой категории качества. Камеры выпускаются в двух вариантах, которые отличаются друг от друга длиной загружаемого

материала. Конструктивно камеры изготавливают с ограждением, позволяющим эксплуатировать их как в отапливаемом помещении, так и на открытом воздухе.

На первом этапе при проведении исследований использовались пиломатериалы из древесины сосны по ГОСТ 8486-86 1–3-го сортов. Начальная влажность пиломатериалов составляла 60–70 % и контролировалась сушильно-весовым способом в соответствии с ГОСТ 16588-91. Одновременно в камеру загружались пиломатериалы только одного сечения. Рабочее давление сушильного агента внутри камеры контролировалось манометром. Для контроля и регулирования температуры использовалось терморегулирующее устройство. Контроль показателя качества высушенных пиломатериалов осуществлялся в соответствии с руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки древесины.

Величина избыточного давления в сушильной камере составляла 0,05–0,02 МПа, температура нагрева — в пределах 125–145 °C.

При проведении исследований использовался прием циклического подъема и сброса давления, а также снижения величины давления на завершающем этапе сушки.

После высушивания пиломатериалов и их охлаждения в течение 12 ч электровлагомером определялись влажность каждой доски и средняя влажность в штабеле. Контроль влажности отдельных досок осуществлялся весовым методом.

При разработке штабеля осуществлялась визуальная оценка качества досок по количеству и величине вновь образовавшихся и увеличившихся трещин.

Кроме того, осуществлялась оценка перепада влажности по сечению досок. Для этого из разных мест штабеля отбирались 5–6 контрольных досок, из которых вырезались послойные образцы, и весовым способом определялась их влажность по ГОСТ 16588. Контроль напряжений в пиломатериалах определялся по силовым секциям, выпиленным из контрольных досок.

Результаты исследований. В силу большого количества результатов исследований приводятся лишь выборочные, представляющие наибольший интерес и характеризующие общую картину процесса сушки.

На рис. 1 приведена картина распределения влажности по сечению штабеля. Как видно из приведенных результатов, несмотря на избыточное давление сушильного агента, равномерно распределенного в сушильной камере, конечная влажность досок, расположенных в центральной зоне штабеля, несколько выше, чем у периферии. Это можно объяснить, очевидно, более интенсивным испарением влаги из поверхностных слоев древесины в период охлаждения штабеля (12 ч). Следует также отметить, что отдельные доски сильно отличаются по влажности от средней влажности пиломатериалов в пакете.

Достаточно высокая скорость сушки обеспечивалась при переменном давлении агента сушки.

После полного прогрева материала по всему сечению происходит перегрев влаги во внутренних слоях древесины с образованием внутреннего давления пара. В период сброса давления возникающий градиент влажности способствует перемещению влаги в виде водяного пара из внутренних слоев к поверхности ма-

териала (молярный влагоперенос). Кроме того, при удалении влаги из камеры возникает интенсивное ее испарение с поверхностных слоев древесины. Последние охлаждаются, влагоперенос усиливается за счет действия градиента температуры. За счет цикличности подъема давления насыщенного пара в камере количество пластовых трещин практически не увеличивается. Это объясняется возникающим эффектом пластификации поверхностных слоев древесины вследствие воздействия на последние высокой температуры и влажного пара.

В результате анализа напряженного состояния высушенных пиломатериалов было установлено, что значительная часть пиломатериалов имела большие по величине остаточные напряжения, но самое главное, интенсификация сушки пиломатериалов приводит к заметному увеличению внутренних трещин (рис. 2). Такое положение обусловлено, очевидно, высокой скоростью влагопереноса и возникновением по этой причине больших растягивающих напряжений во внутренних слоях, превышающих предел прочности древесины.

6,8	6	6	6
6	6	6	11
6,8	(22)	11	6
7,4	7,4	(20)	7
6,8	7,5	6,8	7,8
7,1	7	7,5	6,8
7	12	8,5	6,8
7,5	7	7,7	6,8
11	8	7	7,5
6,8	7,6	8	7,5
7,3	10	11,2	(20)
7	7,1	(22,5)	7,5
7	7,4	12	7,3
7,3	7,5	11	7,8
7	7,4	7,5	12
7	7	7	7
7,5	7	7	7

} $W_{ср}=8,28\%$

} $W_{ср}=8,41\%$

$W_{ср}=7,25\%$ $W_{ср}=7,25\%$ $W_{ср}=7,25\%$

Рис. 1. Характер распределения конечной влажности по сечению штабеля пиломатериалов (пакет № 17) при толщине досок $S = 30$ мм, температуре сушки $t = 145$ °С, давление пара $P = 0,02-0,005$ МПа; $T = 12$ ч

На примере двух секций (рис. 3) представлена картина распределения послойной влажности. Следует отметить, что влажность наружных слоев пиломатериалов значительно превышает влажность внутренних слоев, что не соответствует требованиям качества сушки даже по 3-й категории.

Внутреннее растрескивание, %

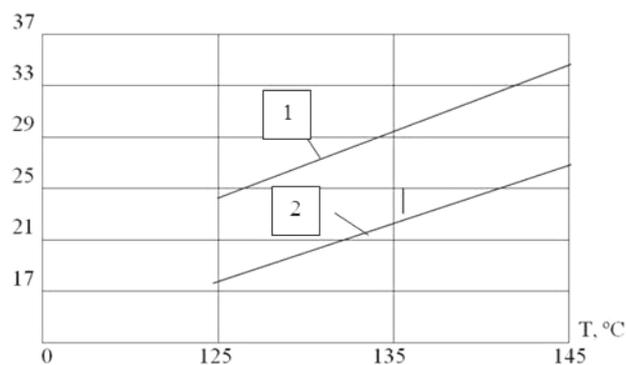


Рис. 2. Влияние температуры сушки на растрескивание пиломатериалов: $P = 0,02-0,005$ МПа; 1 — $S = 30$ мм; 2 — $S = 40$ мм; $T = 12$ ч

$W_1 = 10,3\%$	$W_1 = 10,0\%$
$W_2 = 6,4\%$	$W_2 = 5,9\%$
$W_3 = 11\%$	$W_3 = 9,9\%$

Рис. 3. Картина распределения послойной влажности при сушке досок толщиной $S = 30$ мм при температуре $t = 145$ °С, $T = 12$ ч, при переменной давлении $P = 0,02-0,005$ МПа

В результате дополнительных экспериментов было установлено, что поддержание в процессе высушивания давления на постоянном, более высоком уровне обеспечивает значительное снижение перепада влажности по сечению пиломатериалов (рис. 4). При этом значительно уменьшалось количество внутренних трещин. Несколько увеличивалась средняя влажность пиломатериалов в пакете.

$W_1 = 10,6\%$	$W_1 = 11,0\%$
$W_2 = 9,0\%$	$W_2 = 9,2\%$
$W_3 = 10,7\%$	$W_3 = 10,7\%$

Рис. 4. Картина распределения послойной влажности при сушке досок толщиной $S = 30$ мм при температуре $t = 145$ °С, $T = 12$ ч, при постоянном давлении $P = 0,05$ МПа

Было установлено также, что высушивание пиломатериалов при низких избыточных давлениях насыщенного пара (до величины $P = 0,01$ МПа) приводит к образованию большого количества пластовых трещин. Это связано, скорее всего, с недостаточной степенью пластификации поверхностных слоев древесины интенсивным испарением с них влаги.

Положительное влияние на качественные показатели пиломатериалов оказывает снижение на втором этапе сушки температуры нагрева пакета и избыточного давления пара в камере. Поэтому в дальнейших исследованиях величина максимального избыточного давления в камере поддерживалась на уровне $P = 0,05$ МПа в течение 60 % общей продолжительности сушки пиломатериалов. На завершающем этапе сушки величина давления поддерживалась на уровне $0,015-0,02$ МПа.

При этом температура на этом этапе также снижалась до 110–100 °С.

На рис. 5, 6 приведены выборочные экспериментальные данные, характеризующие картину распределения конечной влажности и зависимости показателей качества от различных факторов. Анализируя приведенные результаты, можно отметить, что высушивание пиломатериалов при более высоком избыточном давлении и ступенчатом его снижении обеспечивает более равномерное распределение влажности по сечению пакета. Применение при сушке большего избыточного давления насыщенного пара в камере обуславливает необходимость увеличения продолжительности сушки для получения пиломатериалов влажностью 8–10 %. Причем даже при высокой температуре $t = 145$ °С (рис. 3), за 12 ч сушки средняя влажность пиломатериалов превышала 10 %. При увеличении продолжительности сушки до 17 ч средняя влажность составила 8,15 %. Очень важным для используемых режимов сушки явилось то, что практически не происходило увеличения количества наружных (пластовых) трещин на пиломатериалах.

8,2	8,1	8,2
9,0	9,6	7,4
8,4	10	9,6
(16)	10,4	8,4
9,6	10,8	10,8
12	(14)	11
9,6	12	12
9,1	10,4	(20)
9,1	10,8	9,8
10,4	(18)	8,6
9,2	(18)	8,6
9,8	8,8	8,3
8,5	9,1	8,5

$W_{cp}=10,0\%$ $W_{cp}=10,9\%$ $W_{cp}=10,2\%$

Рис. 5. Характер распределения конечной влажности основных пиломатериалов по сечению штабелей при толщине досок $S = 30$ мм, температуре сушки $t = 145$ °С, давлении пара $P = 0,005$ МПа, $T = 12$ ч

6	6	6	6
6	9	6	6
6,6	(14)	10	7
7,1	7,5	7,8	7,4
8	(16)	6,8	7
7,5	11	10,8	8
7	12	8,1	6,8
7,3	7	7,9	6,8
11	8,5	7,5	7,7
8	10	11	6,9
7	7,8	8	7,5
8	10	(16)	(14)
7,5	9	8,4	7,5
7,7	8	8,6	7,8
6,9	7,5	7,5	12
7	7	7	7
7	7,2	6,9	7

$W_{cp}=7,4\%$ $W_{cp}=8,9\%$ $W_{cp}=7,4\%$

Рис. 6. Характер распределения конечной влажности основных пиломатериалов по сечению штабеля при толщине досок $S = 30$ мм, температуре сушки $t = 145$ °С, давлении пара $P = 0,005$ МПа, $T = 17$ ч

На рис. 7, 8 приведены кривые влияния различных параметров сушки на качественные показатели пиломатериалов.

Как видно на рис. 7, с ростом температуры сушки заметно увеличивается процент пиломатериалов с внутренними трещинами, причем это влияние усиливается при больших толщинах высушиваемых досок. Как показали результаты исследований, рост качества внутреннего растрескивания пиломатериалов согласуется с ростом остаточных напряжений. Даже при толщине пиломатериалов $S = 30$ мм при высоких температурах сушки наблюдались значительные остаточные напряжения, превышающие по величине нормальные, соответствующие пиломатериалам 2-й категории качества.

Высушивание пиломатериалов при любых режимах практически не исключало появление бракованной продукции. При высоких температурах и длительной сушке происходило потемнение древесины. Помимо наличия внутренних трещин в пиломатериалах наблюдалось появление и наружных трещин.

Учитывая, что оценка качества сухих пиломатериалов осуществляется по нескольким показателям (конечной влажности, наличию наружных и внутренних трещин, остаточным напряжениям, а также по возможности изменения окраски древесины) была проведена логическая оптимизация результатов исследований.

Внутреннее растрескивание, %

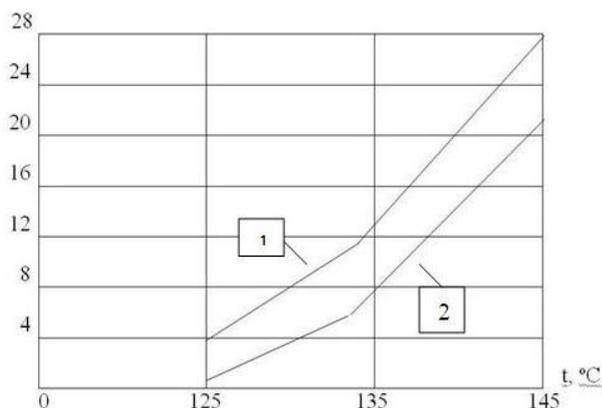


Рис. 7. Влияние температуры сушки на внутреннее растрескивание сосновых пиломатериалов при продолжительности сушки T = 22 ч: 1 — S = 50 мм; 2 — S = 30 мм; при продолжительности сушки T = 17 ч: 3 — S = 50 мм; 4 — S = 30 мм

Внутреннее растрескивание, %

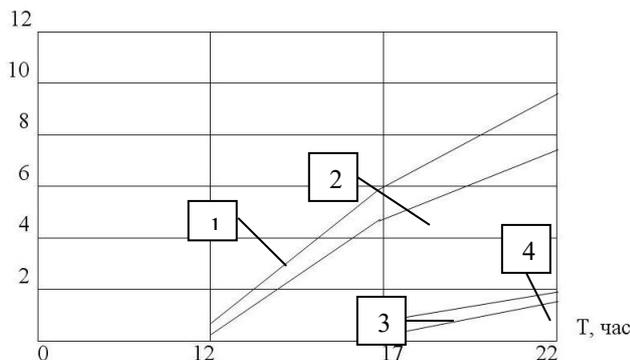


Рис. 8. Влияние продолжительности сушки на внутреннее растрескивание сосновых пиломатериалов при температуре сушки t = 125 °C: 1 — S = 50 мм; 2 — S = 40 мм; при температуре сушки t = 135 °C: 3 — S = 50 мм; 4 — S = 40 мм

Рекомендуемые режимы сушки сосновых пиломатериалов в условиях избыточного давления сушильного агента, обеспечивающие высушивание пиломатериалов до влажности 8–10 % с колебаниями по сечению пакета до 3 % и перепадом влажности по толщине, не превышающем 3 %, при наличии остаточных напряжений, соответствующих требованиям, предъявляемым к пиломатериалам 2-й категории качества приведены в таблице.

Высушивание пиломатериалов из древесины сосны по 1–3-й категориям качества обеспечивается при избыточном давлении сушильного агента P = 0,05 МПа, поддерживаемом на протяжении 60 % общей продолжительностью сушки с последующим снижением его до величины P = 0,015–0,02 МПа и с одновременным уменьшением температуры сушки на втором этапе до пределов, согласно табл., скорость циркуляции насыщенного пара в камере 0,5±1 м/с. По окончании процесса сушки пиломатериалы охлаждают в открытой камере 8–12 ч до температуры 20–22 °C.

Таблица. Продолжительность сушки сосновых пиломатериалов при W_n = 60–70 %

Температура сушки	Продолжительности сушки, ч, пиломатериалов при толщине:		
	30 мм	40 мм	50 мм
1 этап t ₁ = 125 °C 2 этап t ₂ = 100 °C	–	18 – 20*	22 – 26*
1 этап t ₁ = 135 °C 2 этап t ₂ = 105 °C	16	17	20–22*
1 этап t ₁ = 145 °C 2 этап t ₂ = 105 °C	12	–	–

* Увеличенная продолжительности сушки рекомендуется при высушивании пиломатериалов с начальной влажностью W_n = 70–80 %.

Следует отметить, что рекомендуемые (см. табл.) режимы сушки приведены для обрезных пиломатериалов шириной B = 160 мм. Для окончательных условий (при изменении начальной влажности пиломатериалов, плотности древесины, расположения сушильных камер в отапливаемых или холодных помещениях и др.) режимы сушки пиломатериалов должны быть скорректированы.

В результате дополнительных наблюдений процессов сушки установлено, что в целях обеспечения требуемого качества продолжительность высушивания пиломатериалов из древесины лиственницы колеблется в пределах 30–45 ч. Большая величина остаточных напряжений и послойной влажности обуславливает необходимость проведения более глубоких исследований процесса сушки.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование нетрадиционного способа сушки обеспечивает возможность высушивания пиломатериалов до влажности 10±2 % при соответствии их требованиям качества, регламентируемым ГОСТ 6449.1-82.
2. Применение указанного способа сушки пиломатериалов при повышенных давлениях и температурах позволяет значительно сократить продолжительность процесса сушки в сравнении с традиционными конвективными способами в 2–4 раза.
3. С увеличением толщины пиломатериалов возрастает величина внутренних напряжений и, как следствие, количество досок с внутренними трещинами, поэтому целесообразно принять более мягкие режимы сушки, снижая температуру и увеличивая продолжительность сушки.
4. С повышением температуры агента сушки от 120 до 145 °C возрастает количество образуемых на пиломатериалах пластевых трещин, ухудшается равномерность распределения влажности по сечению пакета. Последнее, очевидно, связано с затруднением удаления из древесины капиллярно-связанной влаги, и особенно, при ее низком содержании в стенках древесных сосудов. Поэтому необходимо использовать такие режимы сушки, которые бы обеспечивали высушивание пиломатериалов до средней влажности 10–11 % с минимальными (допустимыми) остаточными напряжениями
5. Предлагаемые сушилки целесообразно рекомендовать к использованию на деревообрабатывающих и мебельных заводах малой и средней мощности. Сушильные хозяйства, оборудованные такими сушилками, не требуют оснащения специальными формирующими и загрузочными устройствами.

Литература

1. Веселов А.А. Использование древесных отходов фанерного и спичечного производства. М.: Лесная пром-сть, 1987. 160 с.
2. Завражнов А.М. Пути использования отходов в производстве плит // Плиты и фанера: экспресс-информ. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1981. Вып. 8. 13 с.
3. Качелкин Л.И., Рушнов. Н.П., Михайлов Г.М. Использование отходов лесозаготовок. М.: Лесная пром-сть, 1965. 323 с.
4. Коротаев Э.И., Клименко М.И. Использование древесных опилок. М.: Лесная пром-сть, 1974. 144 с.
5. Корчаго И.Г. Древесностружечные плиты из мягких отходов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
6. Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б. Справочник по производству древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
7. Пучков Б.В. Использование древесных отходов для производства плит // Деревообработка в России. 1998. № 1. С. 7-8.
8. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Модификация связующего для использования некондиционного сырья в производстве древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2. С. 142-146.
9. Плотников Н.П., Симикина А.А. Снижение токсичности карбамидоформальдегидных смол // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 6. С. 155-158.
10. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Кузьминых Е.А. Применение гидролизного лигнина в производстве древесно-полимерных композитов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 133-138.
11. Плотников Н.П., Плотникова Г.П., Симикина А.А. Исследование структуры модифицированных карбамидоформальдегидных смол методом ЯМР-спектроскопии // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 7. С. 171-174.
12. Плотников Н.П., Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесно-полимерных материалов. Новосибирск: НП «СибАК», 2013. 112 с.
13. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Аксютенкова Н.Ю. Исследование физико-химических свойств двухкомпонентных лакокрасочных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 129-133.
14. Плотников Н.П. Улучшение физико-механических свойств фанеры на основе модифицированных нафтолами карбамидоформальдегидных смол: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2011. 155 с.
15. Симикина А.А., Челышева И.Н., Плотников Н.П. Применение лигнина в производстве древесно-полимерных композитов // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 1. С. 162-169.
16. Денисов С.В., Плотников Н.П. Склеивание фанеры на основе применения модифицированных смол // Труды Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 298-303.
17. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Оптимизация технологического процесса производства древесностружечных плит на модифицированном связующем с использованием некондиционного сырья // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 9. С. 249-256.

References

1. Veselov A.A. Utilization of wood waste of plywood and match manufacture. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 160 p.
2. Zavrazhnov A.M. Ways of using waste in the production of plates // Plity i fanera: ekspress-inform. M.: VNIPIEIllesprom, 1981. Vyp. 8. 13 p.
3. Kachelkin L.I., Rushnov. N.P., Mihajlov G.M. The Use of logging wastes. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 323 p.
4. Korotaev E.I., Klimenko M.I. Use of sawdust. M.: Lesnaya prom-st', 1974. 144 p.
5. Korchago I.G. Chipboard from waste soft. M.: Lesnaya prom-st', 1971. 104 p.
6. Otlev I.A., SHtejnberg C.B. Handbook for the production of chipboards. M.: Lesnaya prom-st', 1990. 384 p.
7. Puchkov B.V. The Use of wood waste for the production of plates // Derevoobrabotka v Rossii. 1998. № 1. P. 7-8.
8. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Modification of the binder for the use of substandard raw materials in the production of particle boards // Systems. Methods. Technologies. 2013. № 2. P. 142-146.
9. Plotnikov N.P., Simikova A.A. Reduction of toxicity of urea-formaldehyde resins // The Bulletin of KrasGAU. 2010. № 6. P. 155-158.
10. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Kuz'minykh E.A. Application of hydrolytic lignin in the production of wood-polymer composites // Systems. Methods. Technologies. 2013. № 4 (20). P. 133-138.
11. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P., Simikova A.A. Study of the structure of modified urea-formaldehyde resins by NMR-spec-troscopy // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 7. P. 171-174.
12. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Improvement of the technology of production of wood-board materials. Novosibirsk: NP «SibAK», 2013. 112 p.
13. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Aksyutenkova N.YU. Study of physico-chemical properties of two component paint materials // Systems. Methods. Technologies. 2013. № 4 (20). P. 129-133.
14. Plotnikov N.P. Improvement of physical and mechanical properties of plywood based on modified carbamide-formaldehyde resins by naphthols: dis. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 2011. 155 p.
15. Simikova A.A., CHelysheva I.N., Plotnikov N.P. The use of lignin in the production of wood-polymer composites // The Bulletin of KrasGAU. 2013. № 1. P. 162-169.
16. Denisov S.V., Plotnikov N.P. Plywood bonding based on the use of modified resins // Trudy Bratskogo gos. un-ta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2010. V. 2. P. 298-303.
17. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Optimization of the technological process of production of particle boards on a modified binder using substandard raw materials // The Bulletin of KrasGAU. 2013. № 9. P. 249-256.