

ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА: СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Горбачев Н.М., Солнцева Н.Л.

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

Повышение эффективности деревообрабатывающих производств и коэффициента использования древесины в настоящее время является одной из актуальных задач. Нужна новая базовая технология переработки древесины, позволяющая пересмотреть вопросы использования древесины, в том числе низкосортной, для нужд деревянного домостроения, мебельного производства, полов и т.д., по-новому посмотреть на привычные для нас конструкции и изделия из древесины, модернизировать их в соответствии с новыми возможностями и современными требованиями.

Древесина как строительный материал обладает множеством положительных свойств, однако относительно недолгий срок эксплуатации, сравнительно малая стабильность формы, а также наличие в ней грибковой инфекции снижают ее конкурентоспособность по сравнению с металлами и синтетическими материалами. До недавнего времени для изменения свойств древесины и повышения биостойкости самым распространенным был метод химической обработки древесины путем пропитки или поверхностной обработки органическими или неорганическими солями, токсичное действие которых прекращает развитие грибка, но при этом оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим одним из передовых направлений в технологии переработки древесины в последнее время является термомодифицирование древесины, в результате которого получается экологически чистое термодерево, обладающее биостойкостью, долговечностью, стабильностью геометрических размеров, а также привлекательным эстетическим видом.

Термомодифицированная древесина — продукт температурной обработки древесины в ка-

мере при температуре от 180 до 230 °С без доступа кислорода.

Процесс термомодификации древесины состоит из трех основных стадий:

– сушка в камере при температуре от 100 до 130 °С до влажности 8–10 %;

– термообработка при повышенной температуре 180–230 °С в бескислородной защитной среде во избежание воспламенения;

– закаливание, т. е. снижение температуры до 80–90 °С и кондиционирование древесины до оптимальной влажности 4–7 %.

В процессе термической обработки древесины происходит ряд химических изменений с основными компонентами древесины — целлюлозой, гемицеллюлозой, лигнином. Сначала при малых температурах испаряются экстрактивные вещества — терпены, воск, фенолы, жиры. Они не являются структурообразующими и удаляются очень легко. Затем в интервале температур 180–230 °С по мере нагрева происходит разложение гемицеллюлозы с выделением уксусной кислоты, являющейся катализатором процесса гидролиза гемицеллюлозы до растворимых сахаров и глюкозы, которые вымываются из состава древесины. В результате снижается объем материала чувствительного к грибку, т. е. обеспечивается высокая биостойкость термодерева. С разложением гемицеллюлозы концентрация водопоглощающих гидроксильных групп снижается, отсюда очень низкая равновесная влажность материала и отсутствие гигроскопичности, а также высокая формоустойчивость термодерева. Очень важен момент, что разрыв цепочек гемицеллюлозы в отличие от целлюлозы не снижает прочности древесины, а напротив, улучшает ее устойчивость к сжатию и снижает уровень внутренних напряжений в материале. Лигнин транс-

формируется в реактивные молекулы при 200 °С и удаляется из древесины [1].

В качестве защитной среды используется водяной пар, инертные газы, вакуум, органические масла или их комбинации. В зависимости от выбранной защитной среды сформировались основные технологии получения термомодифицированной древесины:

1. Финская технология «*Thermowood*», голландская технология «*Plato*» — использование в качестве защитной среды водяного пара.

2. Французская технология «*Retification*», защитная среда — инертные газы, в частности азот.

3. Немецкая технология термической модификации в жидких органических веществах «*Oil Heat Treated*» (ОНТ), защитная среда различные растительные масла, например льняное, подсолнечное, рапсовое и пр.

4. Эстонская технология термической модификации древесины в вакууме.

Одной из наиболее изученных является финская технология «*Thermowood*». Термообработка древесины осуществляется в среде перегретого пара, которая отличается высокой себестоимостью процесса и дорогостоящим оборудованием, выдерживающим действие агрессивной паровой среды. Себестоимость термомодификации древесины по этой технологии составляет ~ 132 евро/м³ [2]. Кроме того, существенным недостатком камер, использующих данную технологию, является отсутствие возможности предварительной сушки пиломатериала с высокой начальной влажностью в той же камере, что требует организации дополнительной сушильной камеры.

Сравнительный анализ способов термомодификации древесины показал, что самый длительный процесс — модификация в вакууме, а самый быстрый — в органических веществах. Преимуществом использования технологии термической модификации древесины в жидких средах, в отличие от газообразных, является отсутствие необходимости отвода газов, образующихся при разложении компонентов древесины. Однако эта технология имеет два существенных недостатка: она отличается значительной продолжительностью процесса за счет охлаждения материала естественным образом и не предназначена для обработки твердых пород древесины. При этом можно предположить, что технология термомодифицирования древесины в жидкостях рациональна для твердых пород благодаря их наименьшей пропитываемости.

Корректный сравнительный анализ технологий может быть выполнен только на стадии технологического проектирования производства в целом. В настоящее время технологическое проектирование деревообрабатывающих производств, определение их системной конфигурации производится на основе комплексного подхода, когда согласовываются потоки энергии и материалов различных реализуемых на этих производствах технологий. Это позволяет снизить себестоимость продукции и повысить ее качество.

Производство термомодифицированной древесины в силу ряда причин сдерживается высокими удельными затратами энергии и стоимостью оборудования, а также отсутствием квалифицированной нормативной базы на материал. Известные ТУ и ГОСТ [3] по существу не содержат требований к потребительским свойствам термомодифицированной древесины.

Так, себестоимость термомодификации древесины в расчете на 1 м³ составляет от 60 до 200 евро, а продолжительность технологического цикла модификации при этом колеблется от 36 до 180 ч.

Для снижения себестоимости производства термомодификации древесины в Институте тепло- и массообмена разработана технология, в которой совмещен процесс сушки и термомодификации древесины, включающий предварительную сушку древесины способом сброса давления до влажности 8–10 % с последующей модификацией ее при температуре 180–230 °С в герметичной камере, заполненной маслом с температурой кипения выше 260 °С, охлаждение путем слива масла, вакуумирования древесины, подачи углекислого газа и повторного вакуумирования в течение 2–3 часов. Предложенная технология позволяет получить термодревесину высокого качества за счет предварительной высокотемпературной сушки методом сброса давления, обеспечивающей процесс без развития существенных внутренних напряжений, и последующей подачи СО₂, позволяющей снять возникшие в процессе термообработки напряжения, а также сократить продолжительность стадий охлаждения. Снижение энергозатрат на проведение процесса охлаждения обеспечивается отсутствием необходимости дополнительного подвода энергии на получение водяного пара.

В качестве защитной среды на стадии термомодификации использовался также инертный газ, перегретый пар, а на стадии закаливания — углекислый газ [4, 5].

Процесс термообработки древесины проводился по режимам, представленным в табл.

Таблица

Режим термообработки древесины для трех способов модифицирования

Режим обработки	$t, ^\circ\text{C}$	Защитная среда
1 Высокотемпературная сушка методом сброса давления 2 Термомодификация древесины	130 200	Инертный газ
1 Высокотемпературная сушка методом сброса давления 2 Термомодификация древесины	130 200	Перегретый пар
1 Высокотемпературная сушка методом сброса давления 2 Термомодификация древесины	130 200	Растительное масло

После обработки древесина приобретает карамельный оттенок, изменяя свой цвет на более темный при увеличении температуры и времени обработки.

На рис. показано изменение цвета образцов древесины, обработанных при различных временах термообработки.

Для трех вариантов высокотемпературной обработки древесины были определены ее потребительские свойства: водопоглощение по ГОСТ [6], разбухание по ГОСТ [7], биостойкость по ГОСТ [8].

Термомодифицированная древесина обладает повышенной водостойкостью. Так, для образцов термообработанных в среде растительного масла в течение первых двух часов выдержки в воде водопоглощение в 6 раз меньше, чем у исходных контрольных образцов и составляет соответственно 10 % против 62 %. За 24 час выдержки в воде у термообработанной древесины по тому же режиму водопоглощение W_{10} составило 34 %, что в 2,4 раза меньше, чем для исходной необработанной сосны.

Разбухание древесины представляет собой явление, обратное усушке, и заключается в увеличении размеров и объема древесины при поглощении ею влаги.

Исследование разбухания образцов древесины проводилось согласно ГОСТ [7].

Оценка биостойкости образцов древесины сосны проведена согласно ГОСТ [8]. По окончании испытаний определяли стадию развития грибов

по пятибальной шкале и с учетом характеристик, обозначенных в ГОСТ (0 — абсолютно чистые образцы при визуальном осмотре и под микроскопом; 1 — визуальное чистые образцы, при осмотре под микроскопом видны мелкие очаги в виде одного вида грибов, стадия спороношения отсутствует; 2 — поверхностное развитие мицелия отдельных видов грибов, стадия спороношения отсутствует; 3 — обильное разрастание мицелия отдельных видов грибов, начало стадии спороношения одного из видов; 4 — отчетливо виден рост грибов при визуальном осмотре, различные стадии спороношения большинства видов; 5 — глубокое поражение по всей площади образца, интенсивное спороношение).

Из трех исследованных вариантов термомодификации древесины наиболее высокую биостойкость проявил вариант термообработки древесины в среде растительного масла, на образцах которого споры плесневых грибов даже не проросли (0 баллов). В процессе термической обработки в структуре дерева разрушаются вещества, которые служат питательной средой для грибка и плесени, следовательно, термодревесина не гниет, не чернеет, не покрывается грибком и плесенью. Наиболее низкую биостойкость показал вариант необработанной древесины. На поверхности образцов были хорошо видны споры гриба *A. niger*, что свидетельствует о том, что в обычных условиях именно углеводная часть является питательной средой для микроорганизмов.

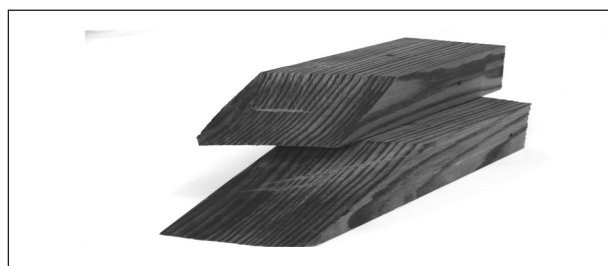
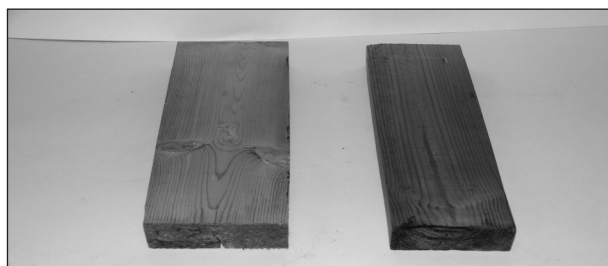


Рис. Изменение цвета сосновой доски в зависимости от времени термообработки

Анализируя полученные результаты по водопоглощению, разбуханию и биологической стойкости образцов термомодифицированной и необработанной древесины, можно сделать следующие выводы:

– интенсивный рост водопоглощения наблюдается в образцах в течение первых 8 ч, далее темп роста снижается и наименьшее водопоглощение наблюдается в образцах термообработанных в среде растительного масла;

– водопоглощение термообработанных образцов древесины в 2,5 раза меньше, чем необработанных;

– термомодификация повышает устойчивость древесины к поражению плесневыми и деревоокрашивающими грибами. На образцах, подвергшихся термомодификации, спороносящие колонии грибов отсутствовали. Наибольшая биологическая стойкость наблюдалась в образцах, термообработанных в среде растительного масла.

Таким образом, термомодифицирование дре-

весины является перспективным способом получения уникального материала, отличающегося экологичностью, абсолютной устойчивостью к биологическим поражениям, повышенной водостойкостью, геометрической стабильностью, а также широкой палитрой оттенков — от светло-желтого до черного.

Эти преимущества термообработанной древесины открывают новые, более широкие горизонты ее использования, позволяют создавать новые, более эффективные и конкурентоспособные изделия из древесины по сравнению с обычной.

Представленные результаты могут помочь при разработке и реализации эффективных технологий ускоренной сушки и модифицирующей обработки древесины на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности.

На основании проведенных исследований нами разработан проект технических условий на термомодифицированную древесину, учитывающий важнейшие ее потребительские свойства.

Список использованных источников

1. Finnish ThermoWood association: Справ. «Thermowood». 08.04.2003.
2. Технологии и оборудование производства ТМД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.termodrevesina.ru.
3. Древесина и пиломатериалы, стабилизированные по технологии «WEST-WOOD»: ТУ 5331-001-73809-2004.
4. Экспериментальное исследование термомеханической сушки древесины / Н.М. Горбачев [и др.] // Тепло- и массоперенос – 2007: сб. науч. тр.: Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2007. – С. 94–101.
5. Исследование процесса термомодифицирования древесины в жидкостях: Н.М. Горбачев [и др.] // Тепло- и массоперенос – 2012: сб. науч. тр.: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2012. – С. 75–80.
6. Метод определения водопоглощения: ГОСТ 16483.20-72. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.
7. Древесина. Метод определения разбухания: ГОСТ 16483.35-88. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.
8. Средства защиты древесины, экспресс-метод оценки эффективности антисептиков против деревоокрашивающих и плесневых грибов: ГОСТ 30028.4-93. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.