

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.048, 53.082

ФЕДОСЕНКО
Иван Гаврилович

**СОЗДАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ДЕГРАДИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОГНЕБИОЗАЩИТЫ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.05 – древесиноведение,
технология и оборудование деревопереработки

Минск, 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель

Тычино Николай Александрович,
доктор технических наук, ведущий научный
сотрудник ОДО «Огнезащита»

Официальные оппоненты:

Найчук Анатолий Яковлевич,
доктор технических наук, директор филиала
Научно-исследовательского республиканского
унитарного предприятия по строительству
«Институт БелНИИС» – «Научно-технический
центр» Министерства архитектуры и строитель-
ства Республики Беларусь;

Усов Андрей Михайлович,
кандидат технических наук, генеральный дирек-
тор ОАО «Могилевдрев»

Оппонирующая организация

Научно-исследовательский институт пожарной
безопасности и проблем чрезвычайных
ситуаций МЧС Республики Беларусь

Защита состоится 15 ноября 2011 г. в 14.00 часов на заседании совета по
защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский
государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск,
ул. Свердлова 13а, ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017)-227-83-41,
факс: (017)-227-62-17, e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «10» октября 2011 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



Мохов С.П.

ВВЕДЕНИЕ

Являясь частью истории страны, объекты культурного наследия требуют их сохранения для потомков. Развитие въездного туризма в Беларуси делает еще более актуальной задачу реставрации и восстановления памятников архитектуры.

Для оценки устойчивости строительных конструкций архитектурных памятников при разработке проектов их восстановления и реконструкции, а также для планирования защитных мероприятий необходимо иметь сведения о свойствах деградированной и археологической древесины. Получение такой информации сопряжено в большинстве случаев со значительными трудностями. Крайне ограниченное количество испытуемого материала и большое количество дефектов делают невозможным применение стандартных методов испытаний. По этой причине авторы наиболее известных работ, посвященных оценке состояния деградированной и археологической древесины (С.Ю. Казанская, Ю.В. Вихров, Ю.А. Варфоломеев, Е.Н. Покровская, Г.А. Арумянян, J. Kohara, A.P. Schniewind, T. Nilsson, P. Niemi и др.), либо отказывались от определения прочности, либо определяли ее по наиболее уцелевшему внутреннему слою деревянных элементов.

Эти обстоятельства позволили судить о том, что до сих пор объективно не был установлен эффект влияния огнебиозащитной обработки на механические свойства сильнодеградированной и археологической древесины памятников архитектуры, потому что огнебиозащитные средства в большинстве своем предназначены для нанесения на поверхность и проникают в древесину на сравнительно небольшую глубину. При оценке состояния памятников деревянного зодчества перед огнебиозащитной обработкой и после нее имеет крайне важное значение определение прочности верхних слоев строительных элементов.

В диссертации впервые предложены методы механических испытаний, основанные на использовании образцов уменьшенных в масштабе размеров, дающие возможность испытывать древесину верхних слоев элементов конструкций памятников деревянного зодчества. Благодаря использованию этих методов проведено всестороннее исследование свойств археологической и деградированной древесины, изучено влияние на такую древесину огнебиозащитной обработки, позволившее рекомендовать фосфорсодержащие защитные средства для практического применения в целях сохранения археологических построек музеев «Берестье».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертационной работы соответствует перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденному Указом Президента № 378 от 22 июля 2010 г., в частно-

1509 ah

сти пунктам 10.11 «...инновационные средства и технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, методы и приборы для испытаний изделий и материалов на соответствие требованиям безопасности» и 12.1 «...физические и математические методы и их применение для решения актуальных проблем естествознания, техники, новых технологий, экономики и социальных наук».

Диссертационная работа является частью комплексных исследований по защитной обработке древесины, а также сохранению археологической и деградированной древесины, выполненных в Белорусском государственном технологическом университете в составе научно-исследовательских работ: «Изучить состояние объектов деградированной древесины музея “Берестье”, произвести подбор предполагаемых защитных средств и оценить их совместимость с модифицирующими биозащитными средствами, которые применялись ранее» (ХД 23-066, № гос. регистрации 20033443, 2003 г.); «Провести опытную пропитку и разработать практические рекомендации по снижению пожарной опасности и дополнительной биозащите археологических объектов музея “Берестье”» (ХД 24-006, № гос. регистрации 20041909, 2004 г.); «Изучить степень влияния защитных мероприятий на уровень сохранности археологической древесины музея “Берестье”, провести исследования по совершенствованию защитных функций рецептуры и расширить область опытной пропитки объектов музея» (ХД 25-013, № гос. регистрации 20052132, 2005–2006 г.); «Определение и оценка характеристик и состояния древесины деревянных конструкций усадебного дома Лопицкого усадебно-паркового комплекса» (ХД 27-174); «Изучить степень влияния защитных мероприятий на уровень сохранности археологической древесины музея “Берестье”, расширить область опытной пропитки объектов музея и провести дальнейшие исследования термических и структурных свойств археологической древесины» (БС 27-023, № гос. регистрации 20072447, 2007 г.) и «Оценка степени защищенности от биологического разрушения деревянных объектов музея “Берестье”, ранее подвергнутых защитной обработке» (БС 29-006, № гос. регистрации 20090762, 2009 г.).

Цель исследования – научное обоснование, разработка и практическое использование методов измерения механических свойств деградированной древесины, позволяющих адекватно оценить направленное влияние на нее огнебиозащитных мероприятий и осуществить огнебиозащитную обработку.

Для достижения поставленной цели определены следующие **основные задачи**:

1. Разработать методы механических испытаний археологической и деградированной древесины с использованием образцов уменьшенных размеров и изготовить приспособления для их проведения.
2. Изучить влияние масштаба испытаний на результаты определения механических свойств древесины. Установить связь показателей прочности древесины, полученных масштабным и стандартным методами.

3. Исследовать свойства деградированной и археологической древесины усадебного дома в Лошице и музея «Берестье».

4. Изучить влияние огнебиозащитных средств, а также условий проведения защитной обработки на физико-механические свойства древесины. Обосновать выбор средств и способов огнебиозащитной обработки археологической древесины.

5. Провести огнебиозащитную обработку объектов археологического музея «Берестье».

Предмет исследования – методы определения свойств древесины и способы огнебиозащитной обработки.

Объект исследования – свежеспиленная, обработанная огнебиозащитными средствами, деградированная и археологическая древесина.

Положения, выносимые на защиту.

1. Методы и разработанные на их основе методики определения предела прочности при статическом изгибе и твердости древесины, обеспечивающие возможность ее испытания в условиях ограниченного количества испытуемого материала за счет использования образцов с уменьшенными в масштабе размерами.

2. Закономерности влияния масштаба испытаний, а также особенностей испытываемых образцов на результаты определения предела прочности при статическом изгибе и твердости древесины. Математические зависимости, связывающие эти показатели, полученные при испытаниях стандартными и масштабными методами, позволяющие получить их значения, не отличающиеся от аналогичных, полученных с применением стандартных методов испытаний, но при значительно меньшем расходе материала.

3. Результаты оценки свойств археологической древесины музея «Берестье», доказывающие ее значительное разрушение и деградированной древесины строительных конструкций архитектурного памятника «Усадебный дом в Лошице», свойства которой на уцелевших участках остались без изменения или ухудшились незначительно.

4. Закономерности влияния огнебиозащитных средств, а также способов и условий проведения защитной обработки на комплексное изменение физико-механических свойств древесины

5. Положительное влияние огнебиозащитной обработки способом нанесения на поверхность фосфорсодержащих огнебиозащитных средств на механические свойства археологической древесины музея «Берестье».

Личный вклад соискателя. Диссертация является результатом работы автора. Соискатель непосредственно участвовал в формулировании целей и задач исследований, осуществлял планирование эксперимента, реализацию его в лабораторных условиях, обработку и анализ экспериментальных данных, подготовку публикаций по теме исследований, выступал с докладами на научных конференциях. Автором разработаны новые методы определения прочности и твердости древесины, при его непосредственном участии подготовлена конструкторская документация и изготовлены приспособления для осуществления этих методов,

сформулированы рекомендации по сохранению древесины музея «Берестье» и постоянно деревянных элементов Лошицкой усадьбы.

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ Белорусского государственного технологического университета в 2003–2011 г. г., на международных научно-технических конференциях «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (Минск, 2005, 2008 гг.), «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов» (Минск, 2005 г.).

Опубликованность результатов. Результаты исследований изложены в 13 печатных работах. Из них 7 статей (3,51 а. л.) опубликованы в рецензируемых научных и научно-технических журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, 4 – в материалах конференций (0,58 а. л.), 1 – в тезисах докладов на научно-технической конференции (0,09 а. л.). Единично опубликовано 8 работ (2,47 а. л.). Подано 2 заявки на изобретение и получен патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, общую характеристику работы, шесть глав основной части, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем диссертации 238 с., в т. ч. 45 иллюстраций и 23 таблиц на 40 с., приложения на 79 с. и список литературы из 311 источников на 26 с.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлен аналитический обзор работ по теме диссертации. Отмечено, что длительная эксплуатация и хранение в неблагоприятных условиях древесины конструкций приводят к необратимому изменению ее физико-механических свойств. Показано различие механизма разложения древесины в аэробных и анаэробных условиях. Подчеркнуто, что отбор проб разрушенной древесины осуществляется в условиях крайне ограниченного количества материала и в настоящее время нет надежных прямых методов, которые бы позволили провести комплексную оценку ее механических свойств с достаточной точностью. Отмечено влияние на показатели механических свойств древесины размеров испытываемых образцов. Показано отсутствие данных об испытаниях образцов меньших размеров, чем стандартные. Установлено, что комплексная оценка влияния различных огнебиозащитных средств обработки на прочностные свойства древесины не проводилась и этой проблеме посвящены лишь некоторые отдельные статьи, сведения в которых имеют отрывочный характер. На основании анализа литературных данных сформулированы цель и задачи диссертационных исследований.

Во второй главе изложены основные методики проведения исследований, статистического анализа и обработки полученных результатов. Дано описание из-

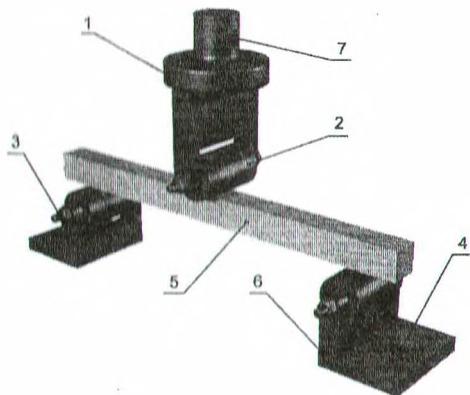
готовки и подготовки образцов свежеспиленной, археологической и деградированной древесины, подвергавшейся обработке водорастворимыми и маслянистыми защитными средствами, и непропитанной. Описаны стандартные методы определения плотности, усушки, водо- и влагопоглощения, пределов прочности при скалывании вдоль волокон, сжатия вдоль и поперек волокон. Предел прочности при статическом изгибе и статическую твердость определяли как стандартными методами, так и специально разработанными в диссертации методами для археологической и деградированной древесины. Пористость древесины определяли из отношения плотности в абсолютно сухом состоянии к плотности древесного вещества, а степень деградации – как процентное отношение разницы базисной плотности свежеспиленной и деградированной древесины к базисной плотности деградированной древесины. Качество огнезащитной обработки оценивали как стандартным методом определения огнезащитных свойств, так и по величине угольных остатков стружки. Качество биозащитной обработки определяли измерением ширины зоны обрастания агарового блока мицелием дереворазрушающего гриба *Caniphora puteana* на образцах пропитанной защитным средством древесины по методике, разработанной в лаборатории ОСКиМ БГТУ. Все полученные данные обработаны с применением методов математической статистики, а модели на их основе проверены на адекватность с помощью критерия Фишера.

Микроскопические исследования поверхности древесины и элементный анализ выполнены энерго-дисперсионным методом на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610LV. Для макросъемки объектов исследования применяли цифровой фотоаппарат CASIO Exilim EX-P505.

Третья глава посвящена разработке новых методов определения предела прочности при статическом изгибе и статической твердости, основанных на использовании образцов уменьшенных в масштабе размеров.

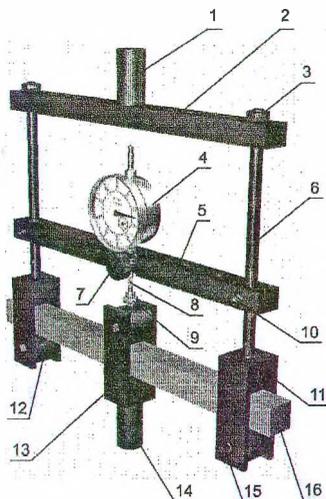
С целью оценки влияния размеров образцов и основных технических параметров при испытании на изгиб, ввиду отсутствия методов и подходящих устройств для испытания древесины с уменьшенными линейными размерами образцов, были разработаны и изготовлены приспособления ПСИМ-6 (рисунок 1) и ПСИУМ-4 (рисунок 2) к разрывным машинам Р-5 и Р-0,5. Отличительными особенностями этих приспособлений являются использование в качестве опор и пуансона сменных стальных цилиндров требуемого диаметра и возможность установки между опорами пролета заданной величины. Приспособление ПСИУМ-4 дополнительно оснащено индикатором перемещения груза, а также системой компенсации горизонтального смещения.

В качестве основного критерия уменьшения размеров образцов был принят критерий подобия или масштаба, который отразился на технических параметрах, задаваемых новым методом.



1 – пуансон; 2 – цилиндр; 3 – болт;
4 – отверстие для крепления на неподвижной траверсе силоизмерителя; 5 – образец;
6 – опора; 7 – отверстие крепления к подвижной траверсе

Рисунок 1 – Приспособление ПСИМ-6

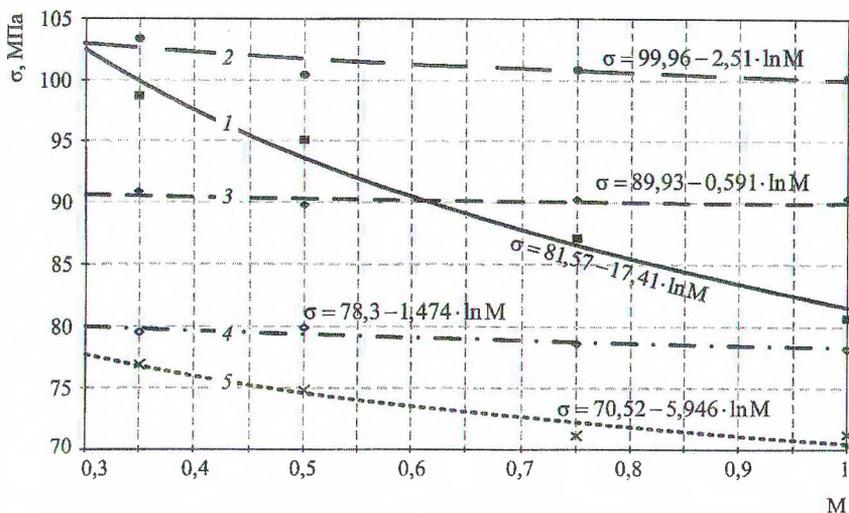


1 и 14 – переходники; 2 и 5 – направляющие планки; 3 – гайка; 4 – индикатор часового типа; 6 – подвес; 7, 9 и 10 – винт; 8 – шток; 11 – опорная вилка; 12 – цилиндрическая опора; 13 – вилка пуансона; 16 – образец древесины

Рисунок 2 – Приспособление ПСИУМ-4

Разработанный метод определения предела прочности древесины при статическом изгибе, названный далее «масштабным», включает изготовление образцов в форме прямоугольной призмы с расположением годичных слоев параллельно грани, размещение образцов радиальной поверхностью на двух опорах, равномерное нагружение образца сосредоточенной силой в середине пролета в направлении касательной к годичным кольцам, измерение максимальной нагрузки, вызывающей разрушение образцов. Для испытания используются образцы уменьшенных в масштабе геометрических размеров, а также применяются опоры и пуансон цилиндрической формы, диаметр которых равен 30-кратному, а расстояние между опорами – 240-кратному масштабу. Значению масштаба (М) соответствует отношение номинальной длины уменьшенного образца, предназначенного для испытания, к номинальной длине стандартного образца (300 мм). Следовательно, для стандартного метода испытаний значение масштаба принимается равным 1. Расчет величины предела прочности и модуля упругости производится в соответствии с методами испытания малых чистых образцов.

Установлено влияние масштаба испытаний на результат определения предела прочности при статическом изгибе. Показано, что для сосны, березы, дуба, ольхи и осины этот показатель увеличивается с уменьшением масштаба (рисунок 3). Особенно этот эффект заметен при испытании древесины сосны и осины.



1 – сосна (■); 2 – береза (●); 3 – дуб (◆); 4 – ольха (◇); 5 – осина (×)

Рисунок 3 – Зависимость показателя предела прочности при статическом изгибе древесины различных пород от масштаба испытаний

По экспериментальным данным получены логарифмические уравнения, после преобразования которых построены диаграммы и математические зависимости, связывающие пределы прочности при статическом изгибе, полученные стандартным ($\sigma_{ст}$) и масштабным (σ_M) методами. Обобщенная для всех древесных пород зависимость имеет вид

$$\sigma_{ст} = \frac{\sigma_M}{1 - K_H \cdot \ln M}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где K_H – коэффициент неоднородности материала:

$$K_H = 179 \cdot 0,382^{\tau}, \quad (2)$$

где τ – значение предела прочности при скалывании вдоль волокон по тангенциальной плоскости, характерное для испытываемой породы древесины, МПа.

Изучено влияние масштаба испытаний на результат определения модуля упругости при статическом изгибе. Показано, что масштабный метод испытаний древесины на статический изгиб позволяет получить значения модуля упругости, не отличающиеся от аналогичных значений, полученных с применением стандартного метода испытаний.

В условиях ограниченного количества испытуемого материала добиться параллельности годовичных слоев одной из граней у всех изготавливаемых образцов бывает очень сложно. Несоблюдение же требования радиального изгиба с

высокой вероятностью приводит к искажению результатов определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. В связи с этим изучено влияние угла наклона годичных слоев к направлению приложения нагрузки (α) на результаты испытаний древесины. Установлено, что увеличение угла α всегда приводит к уменьшению значений прочности древесины. Однако при испытании древесины стандартным методом ($M = 1,00$) снижение не столь заметно, как при использовании масштабного метода ($M = 0,35$). В первом случае предел прочности при статическом изгибе с увеличением угла наклона от 0 до 90° уменьшился с $83,8$ до $78,3$ МПа, т. е. на $6,6\%$. Во втором случае прочность уменьшилась на $22,7\%$ – с $91,7$ до $70,9$ МПа. Следовательно, угол наклона годичных слоев к направлению прилагаемого усилия в масштабном методе испытания древесины существенно влияет на конечный результат. В этой связи было получено уравнение, которое позволяет корректировать результаты определения предела прочности при изгибе при испытаниях масштабным методом на образцах с различными углами наклона годичных слоев. Оно имеет следующий вид:

$$\sigma_{ст} = 0,01 \cdot \sigma_{0,35} \cdot (81,7 + 0,205 \cdot \alpha) + 0,063 \cdot \alpha. \quad (3)$$

Аналогичные исследования, выполненные в отношении модуля упругости при статическом изгибе, доказали, что этот показатель не зависит от угла наклона годичных слоев к направлению приложения нагрузки в диапазоне его изменения от 0 до 45° .

Для оценки твердости древесины предложено использовать размеры отпечатка, остающегося на образцах цилиндрическим пуансоном при проведении испытаний на статический изгиб. В качестве определяющего параметра можно использовать как площадь проекции, так и глубину отпечатка. Правомерность этого подтвердили значения коэффициента корреляции $0,94$ – $0,98$ этих параметров с твердостью древесины, определенной стандартным методом. Предпочтение было отдано площади проекции отпечатка, более удобной для измерения.

Механизм формирования отпечатка на поверхности образцов при испытании на изгиб более сложный, чем при испытании на твердость методом французской лаборатории Шале, основанным на измерении глубины отпечатка цилиндрического индентора. В этом случае происходит прогиб образца под действием пуансона, что может приводить к изменению формы и размера отпечатка. Кроме того, максимальное усилие, с которым пуансон воздействует на древесину, зависит от прочности образца. Экспериментальные исследования подтвердили, что для оценки твердости древесины по площади отпечатка S , мм², необходимо определить величину прогиба образца во время испытания h , мм, а также значение предела прочности древесины при изгибе σ , МПа. Получены уравнения, позволяющие рассчитать твердость древесины при проведении испытаний на стандартных образцах с размерами поперечного сечения

20×20 мм и масштабным методом на образцах сечением 7×7 мм:

$$H = -0,187 \cdot S + 18,1 \cdot h + 0,382 \cdot \sigma - 96,4; \quad (4)$$

$$H = -3,80 \cdot S + 47,4 \cdot h - 0,279 \cdot \sigma + 20,0. \quad (5)$$

Таким образом, суть разработанного метода оценки статической твердости древесины одновременно с определением предела прочности при статическом изгибе состоит в следующем. При проведении испытаний определяют предел прочности и максимальный прогиб образца. После испытания измеряют площадь отпечатка. Для этого, предварительно выпрямив образец, определяют размеры b и B (рисунок 4). Площадь отпечатка рассчитывают как произведение этих размеров. Далее выполняют расчет твердости по формулам (4), (5).

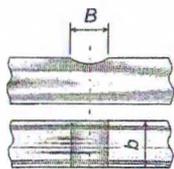


Рисунок 4 – Определение площади отпечатка

В четвертой главе проведена оценка состояния археологической древесины музея «Берестье» и деградированной древесины строительных конструкций архитектурного памятника XVIII–XIX веков «Усадебный дом в Лошице» посредством определения химического состава, физических и механических свойств древесины.

Качество археологической древесины было определено по показателям плотности, пористости, степени деградации, водо- и влагопоглощению, усушке, статической твердости, а также прочности при сжатии поперек волокон и статическом изгибе.

На основании анализа особенностей конструкции построек музея «Берестье» в качестве основных критериев оценки состояния археологической древесины выделены: пределы прочности при статическом изгибе, при сжатии поперек волокон и статическая твердость. С учетом ограниченного количества материала для проведения испытаний на статический изгиб был использован разработанный в диссертации масштабный метод при минимальном размере образцов 7×7×100 мм ($M = 0,35$).

Установлено, что археологическая древесина в результате длительного нахождения в земле в значительной степени утратила свою прочность. Предел прочности при статическом изгибе уменьшился на 43,9–88,5 %, а предел прочности при сжатии поперек волокон – на 79,9–93,2 %. При этом, как и следовало ожидать, падение прочности заболонной древесины оказалось более существенным по сравнению с ядровой (таблица 1).

Значительное различие прочностных характеристик археологической древесины по сравнению со свежеспиленной может быть объяснено наличием в ней большого количества микротрещин, а также изменением клеточной структуры древесины. Анализ микрофотографий позволил установить, что средняя толщина клеточных стенок у современной древесины составляет 2,5–3,0 мкм, что примерно в 1,5 раза больше, чем у деградированной археологической дре-

Таблица 1 – Свойства археологической и деградированной древесины

Показатель	Археологическая древесина музея «Берестье»			Деградированная древесина дома в Лошице		Свежеспиленная древесина
	заболони бревна	ядра бревна	пластины	стропила	балки	
1	2	3	4	5	6	7
Водопоглощение, %	276,3	–	–	210,4	171,4	195,0
Влагопоглощение, %	14,7	–	–	14,5	13,8	14,3
Плотность, кг/м ³						
– базисная	154,9	284,7	330,4	364,8	432,1	394,0
– в абсолютно сухом состоянии	211,4	315,5	368,6	431,0	510,3	465,4
Пористость, %						
– базисная	86,8	79,4	76,1	76,4	72,0	74,5
– номинальная	85,9	79,0	75,4	72,1	66,9	69,8
Максимальный усушка, %						
– тангенциальная	11,0	9,7	8,5	7,3	6,9	7,1
– радиальная	5,0	4,1	3,0	3,2	2,9	3,0
– вдоль волокон	3,6	0,8	0,8	0,2	0,1	0,1
– объемная	18,5	14,1	11,9	10,4	9,7	9,9
Предел прочности при статическом изгибе ($M = 0,15$), МПа	11,4	31,2	55,3	75,5	80,9	98,7
Предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа	0,22	0,41	0,65	–	–	3,23
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	–	–	–	40,8	47,1	42,3
Радиальная статическая твердость, МПа	2	–	14,3	–	–	28,95
Степень деградации, класс (%)	4 (61,3)	2 (28,8)	1 (17,4)	1 (7,4)	–	–

веса (1,8–2,0 мкм). Триксины археологической древесины в результате длительного нахождения в неблагоприятных условиях утратили свою первоначальную форму и подверглись частичному разрушению.

Присутствие катионов солей в древесине указывает на протекание водообменных процессов под землей, что привело к вымыванию легкогидролизуемых компонентов. Так, относительное количество кислорода, определяющее наличие гидроксильных групп этих компонентов, снизилось на 14,1 %. Их вымывание привело к «разрыхлению» ультраструктуры клетки.

Установлено, что плотность заболони бревен построек музея «Берестье» снижена в 2,6 раза, а ядра – в 1,4 раза, что позволяет отнести их к 4-му и 2-му классам деградации соответственно. Помост между постройками сохранился лучше бревен, о чем свидетельствует снижение плотности в 1,2 раза, что позволяет отнести его к первому классу деградации.

Археологическая древесина за время эксплуатации приобрела повышенную пористость, что объясняет увеличение скорости водопоглощения в 3,5 раза, максимальное значение которого в 1,4 раза больше чем у свежеспи-

ленной древесины. Максимальная объемная усушка возросла в 1,9 раза, однако самым чувствительным к разрушению клеточной структуры признаком выступает усушка вдоль волокон, которая увеличилась в 33,9 раза.

Для разработки проекта реконструкции памятника архитектуры г. Минска XVIII–XIX веков «Усадебный дом в Лошице» возникла необходимость определить прочностные характеристики несущих конструкций здания. Неудовлетворительные условия эксплуатации, приводящие к периодическому увлажнению, а также отсутствие мероприятий по защите деревянных конструкций вызвали серьезные повреждения. Так как обследованию подлежала наиболее пострадавшая стропильно-балочная система здания, определяющими показателями механических свойств древесины приняты: прочность на статический изгиб и прочность при сжатии вдоль волокон. В целях сохранения работоспособных элементов постройки в первоначальном виде пробы для проведения испытаний отбирали в малодоступных местах и небольшими объемами. С учетом этого обстоятельства предел прочности при статическом изгибе определяли масштабным методом на образцах размерами 7×7×100 мм. Испытание на сжатие вдоль волокон проводили стандартным методом.

Выполненные исследования позволили установить, что у древесины Лошицкой усадьбы, не подвергшейся биологическому разрушению, предел прочности при сжатии вдоль волокон за время эксплуатации существенно не изменился. Предел прочности при статическом изгибе при этом снизился на 18,0–23,5 %.

Установлено, что древесина стропил относится к первому классу деградации, т. е. ее плотность снижена на 7,4 %. При этом пористость уменьшилась незначительно, о чем также свидетельствует увеличение водопоглощения на 7,7 %. Усушка вдоль волокон в 1,9 раза превышает значение для свежеспиленной древесины.

Полученные в результате обследования значения механических свойств древесины позволили выполнить расчеты прочностных показателей отдельных элементов стропильно-балочной системы. На основании расчетов принимались решения о возможности сохранения или необходимости замены деревянных конструкций усадебного дома во время реконструкции.

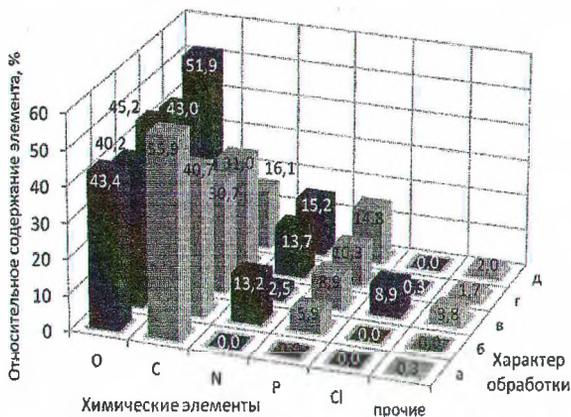
В пятой главе изложены результаты исследования влияния обработки древесины огнебиозащитными средствами на ее механические свойства. С этой целью были отобраны производимые в Республике Беларусь и наиболее часто используемые для защиты деревянных строительных конструкций и изделий из древесины водорастворимые составы ХМ-11, ФАХ, СПАД-0, ОК-ГФМ и маслянистые антисептики – сланцевое масло и состав ОАО «Лесохимик». Были применены следующие способы обработки: нанесение на поверхность, вымачивание и «прогрев – холодная ванна».

Определение количества защитных средств, воспринятых древесиной, показало неравноценность различных способов пропитки. Наибольшее поглощение, а значит, и удержание защитных средств обеспечивает способ «прогрев –

холодная ванна», наименьшее – нанесение на поверхность. Так, например, среднее поглощение защитного средства ОК-ГФМ при использовании способа «прогрев – холодная ванна» составляет $118,0 \text{ кг/м}^3$, в то время как при трехкратном нанесении на поверхность – лишь $81,0 \text{ кг/м}^3$, т. е. на 31,4 % меньше.

Для всех исследуемых защитных средств было установлено, что в результате проникновения рабочих растворов вглубь древесины в них происходит уменьшение содержания нелетучих веществ. Это явление было названо фильтрующим эффектом. У труднопропитываемой еловой древесины фильтрующий эффект оказался гораздо более существенным, чем у древесины сосны, а в случае маслянистых защитных средств – больше, чем у водорастворимых.

Укрывистость слоя защитных средств оценивали способом энергодисперсионного анализа (ЭДА) по относительному количеству углерода на поверхности. Чем его количество меньше – тем слой толще. Установлено, что для обеспечения трудногорючих свойств при обработке защитным средством СПАД относительное количество углерода не должно превышать значения 40 % (рисунок 5). Этим же способом по относительному содержанию фосфора на поверхности древесины судили о качестве огнезащитной обработки. Так, обработка нанесением на поверхность защитного средства ОК-ГФМ примерно в 2 раза менее эффективна, чем СПАД.



а – необработанная древесина; б – обработанная ОК-ГФМ; в – обработанная ФАХ; г – обработанная СПАД с расходом $0,28 \text{ кг/м}^2$; д – обработанная СПАД с расходом $0,35 \text{ кг/м}^2$

Рисунок 5 – Относительное содержание химических элементов в древесине, обработанной огнебиозащитными средствами

Показано, что обработка древесины рассматриваемыми защитными средствами в большинстве случаев не оказывает негативного влияния на ее прочность. Нанесение на поверхность древесины средства СПАД приводит к увеличению на 10,6–28,7 % пределов прочности при изгибе, сжатии и скалывании. Пропитка древесины защитным средством ФАХ увеличивает предел прочности при сжатии вдоль и поперек волокон на 13,7 и 12,3 % соответственно. При

использовании огнебиозащитного средства ОК-ГФМ конечный результат зависит от способа пропитки, а значит, от количества поглощенного защитного средства. При нанесении раствора ОК-ГФМ на поверхность происходит упрочнение древе-

сины по всем параметрам на 12,6–41,9 %. Введение этого средства на большую глубину способом «прогрев – холодная ванна» приводит к уменьшению пределов прочности при изгибе и при сжатии вдоль волокон. Особенно заметно падение прочности при использовании кислого рабочего раствора с $pH = 2$. В этом случае прочность на изгиб снижается на 11,5 %, а на сжатие – на 14,8 %. Установлено также, что защитные средства ФАХ и ОК-ГФМ кислой модификации увеличивают водопоглощение древесины на 5,7 % и 6,1 % соответственно.

Микрофотографии поверхности показывают, что средство ФАХ образует внутри древесины аморфные отложения, которые не разрушают ее клеточную структуру, а защитные средства СПАД и ОК-ГФМ при высыхании образуют кристаллы, величина которых превышает размеры поперечного сечения трахеид. Можно предположить, что при глубокой пропитке древесины кристаллы, образующиеся внутри клеток, будут их разрушать, что должно неизбежно приводить к падению прочности древесины. Из сказанного следует, что при обработке деревянных конструкций и изделий защитными средствами СПАД и ОК-ГФМ целесообразно применять способ нанесения на поверхность.

Пропитка древесины сланцевым маслом и составом ОАО «Лесохимик» вызывает снижение предела прочности при статическом изгибе на 5,1–11,2%, но увеличение пределов прочности при сжатии: вдоль волокон – на 5,0–32,7%, поперек волокон – на 3,9–10,4%. Пропитка древесины сланцевым маслом способствует увеличению ее торцовой твердости и не влияет на твердость поперек волокон. Отмеченное изменение прочностных показателей в результате пропитки характерно для химически инертных защитных средств, которые заполняют поровое пространство древесины, но при этом не взаимодействуют с древесинным веществом.

Полученные результаты позволили рекомендовать для защитной обработки деградированной древесины археологических объектов музея «Берестье» средство СПАД-0 и применять для этого способ нанесения на поверхность.

В шестой главе приведены данные по использованию результатов предыдущих исследований для опытной обработки археологической древесины объектов музея «Берестье» огнебиозащитным средством СПАД способом нанесения на поверхность. В результате при защите 767,2 м² поверхности построек подтверждена эффективность защитного средства СПАД.

Испытания показали, что после обработки предел прочности при статическом изгибе археологической древесины увеличился на 6,1 %, статическая твердость – на 37,8 %, а предел прочности при сжатии поперек волокон – в 1,9–2,3 раза (таблица 2). Объяснить столь значительный эффект можно тем, что археологическая древесина, имеющая сильно поврежденную клеточную структуру, доступна для глубокого проникновения защитного средства и поглощает его в большем количестве. После обработки СПАД переходит в твердое агрегатное состояние, образуя кристаллы различных размеров и формы как на поверхности

древесины, так и в глубине ее. В результате полости трахеид оказываются заполненными твердым веществом, что и приводит к значительному увеличению твердости археологической древесины и ее прочности на сжатие.

Таблица 2 – Свойства археологической древесины после огнебиозащитной обработки

Показатель	Археологическая древесина		
	заболони бревна	ядра бревна	помоста
Водопоглощение, %	<u>236,2</u> 276,3	–	–
Влагопоглощение, %	<u>36,3</u> 27,4	–	–
Предел прочности при статическом изгибе ($M = 0,35$), МПа	<u>12,1</u> 11,4	–	–
Предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа	<u>0,24</u> 0,22	<u>1,32</u> 0,41	<u>1,37</u> 0,65
Радиальная статическая твердость, МПа	–	–	<u>19,7</u> 14,3
Среднее содержание зольного остатка, %	<u>49</u> 8	–	–
Максимальная температура газообразных продуктов, °С	<u>230</u> 310	–	–

Примечание – значение в знаменателе соответствует значению показателя до обработки.

Обработка защитным средством СПАД снижает водопоглощение археологической древесины на 14,5 %.

Огнезащищенность необработанной археологической древесины соответствует свежеспиленной, но после обработки огнебиозащитным средством СПАД зольность археологической древесины в 6,1 раза превышает зольность свежеспиленной. Установлено также, что обработка защитным средством СПАД даже при расходе 0,28 кг/м² способна обеспечить абсолютный ингибирующий эффект против дереворазрушающего гриба *Caniphora puteana*.

В главе также описывается степень внедрения разработанных методов оценки механических свойств, без использования которых было бы невозможно определить механические свойства археологической и деградированной древесины, а также установить влияние на них огнебиозащитных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны новый метод и методика определения предела прочности при статическом изгибе, заключающиеся в испытании образцов уменьшенных в

масштабе размеров, обеспечивающие возможность испытания сильнодеградированной, и в т. ч. археологической, древесины [14–А]. Для осуществления метода разработаны приспособления к испытательным машинам ПСИМ-6 и ПСИУМ-4, позволяющие устанавливать требуемый диаметр опор и пролет между ними [16–А].

2. Установлено увеличение значений предела прочности при изгибе и постоянство значений модуля упругости при статическом изгибе древесины при уменьшении масштаба испытаний. Выведены математические зависимости и построены диаграммы, связывающие значения предела прочности при статическом изгибе, полученные при испытаниях стандартным и масштабным методами [8–А].

3. Установлено снижение значений предела прочности при изгибе при увеличении угла наклона годичных слоев испытуемых образцов по отношению к направлению приложения нагрузки от 0 до 90°. Влияние этого фактора особенно велико в случае применения масштабного метода испытаний. Для того чтобы корректировать результаты определения предела прочности при изгибе, полученные при испытаниях масштабным методом на образцах с различными углами наклона годичных слоев, выведены уравнения. Доказано, что результаты определения модуля упругости при изгибе масштабным методом не зависят от угла наклона годичных слоев к направлению нагрузки в диапазоне изменения этого параметра от 0 до 45° [12–А].

4. На основании установленной зависимости между значениями твердости, определенной стандартным методом и методом лаборатории Шале, разработаны новый метод и методика определения твердости древесины, заключающиеся в испытании образцов на статический изгиб, измерении величины максимального прогиба образца, предела прочности при статическом изгибе и величины отпечатка, оставаемого цилиндрическим пуансоном. Это обеспечивает возможность определять предел прочности при статическом изгибе и статическую твердость одновременно для одного и того же образца. Получена математическая модель статической твердости, характеризующая ее зависимость от указанных факторов [8–А, 15–А].

5. Благодаря использованию разработанных методов установлено значительное разрушение археологической древесины музея «Берестье» [5–А, 7–А, 8–А]. Свойства древесины строительных конструкций архитектурного памятника XVIII–XIX веков «Усадебный дом в Лошице» на уцелевших участках остались без изменения или ухудшились незначительно [6–А].

6. Установлено явление фильтрующего эффекта при пропитке древесины защитными средствами, благодаря которому содержание нелетучих веществ в растворе защитного средства снижается при проникновении в древесину.

7. Использование способов глубокой пропитки водорастворимыми фосфорсодержащими огнебиозащитными средствами и, особенно, кислых рабочих растворов (ОК-ГФМ) приводит к снижению прочности пропитанной древесины. Обработка нанесением на поверхность древесины водорастворимого фосфорсодержаще-

го огнебиозащитного средства, в состав которого дополнительно входят формалин и полигексаметилгуандин (СПАД), приводит к увеличению показателей прочности [1–А, 9–А, 11–А и 13–А]. Пропитка древесины маслянистыми защитными средствами вызывает снижение предела прочности при статическом изгибе и в то же время увеличение пределов прочности при сжатии вдоль и поперек волокон [3–А].

8. Показано, что обработка поверхности археологической древесины фосфорсодержащими защитными средствами СПАД приводит не только к увеличению огне- и биостойкости, но и к повышению ее прочностных характеристик и снижению водопоглощения [2–А, 4–А, 5–А и 10–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные масштабные методы для определения прочности при статическом изгибе и статической твердости древесины рекомендуются для использования научно-исследовательскими и заводскими лабораториями. Они будут необходимы при оценке механических свойств археологической древесины, древесины, входящей в состав конструкций уникальных объектов и архитектурных памятников, древесины редких и ценных пород, пропитанной древесины, а также в других случаях, когда имеются ограничения на количество испытываемого материала или дефекты поверхности, которые не позволяют изготовить образцы стандартных размеров.

Масштабные методы определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе, а также статической твердости внедрены в научно-исследовательской лаборатории огнезащиты строительных конструкций и материалов БГТУ. Методика определения предела прочности при статическом изгибе официально признана Белорусским государственным институтом метрологии в качестве методики выполнения измерений.

Результаты определения физико-механических свойств археологической древесины были использованы при разработке и проведении огнебиозащитных мероприятий, направленных на сохранение деревянных строений музея «Берестье». Результаты физико-механических испытаний деградированной древесины строительных конструкций архитектурного памятника XVIII–XIX веков «Усадебный дом в Лошице» были использованы при разработке проекта реконструкции этого объекта, что подтверждено актами внедрения. Результаты могут найти свое применение при выполнении аналогичных работ на других историко-культурных объектах.

Результаты, полученные при исследовании влияния обработки древесины огнебиозащитными составами на ее физико-механические свойства, могут быть востребованы при выборе мероприятий и средств для защиты деревянных строительных конструкций современных зданий и сооружений, архитектурных памятников, археологических объектов из древесины, а также могут быть использованы для выполнения прочностных расчетов деревянных конструкций при проектировании.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи

1–А. Тычино, Н.А. Изменение показателей прочности при обработке древесины высокоэффективными огнебиозащитными средствами / Н.А. Тычино, И.Г. Федосенко // *Лесная промышленность Беларуси*. – 2005. – № 1 (5). – С. 13.

2–А. Тычино, Н.А. Создание условий сохранения целостности археологической древесины и повышение ее прочности / Н.А. Тычино, И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. – 2005. – Вып. XIII. – С. 177–178.

3–А. Тычино, Н.А. Изменение прочности огне-биозащищенной древесины, используемой в различных сферах деятельности / Н.А. Тычино, И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. – 2006. – Вып. XIV. – С. 245–247.

4–А. Тычино, Н.А. Особенности строения и огнебиозащиты археологической древесины / Н.А. Тычино, И.Г. Федосенко, А.В. Баранов // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2007. – Т., 16, № 1. – С. 19–25.

5–А. Федосенко, И.Г. Некоторые особенности измерения показателей прочности археологической древесины / И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть*. – 2007. – Вып. XV. – С. 193–196.

6–А. Леонович, О.К. Оценка характеристик и состояния древесины в конструкциях дома XVIII–XIX веков Лошицкого усадебно-паркового комплекса / О.К. Леонович, И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть*. – 2008. – Вып. XVI. – С. 264–268.

7–А. Федосенко, И.Г. Влияние размеров малых чистых образцов на показатели прочности при статическом изгибе / И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть*. – 2009. – Вып. XVII. – С. 203–209.

8–А. Федосенко, И.Г. Способы оценки механических свойств древесины в условиях ограниченного количества материала / И.Г. Федосенко // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть*. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 176–179.

Материалы конференций

9–А. Федосенко, И.Г. Исследование влияния огнебиозащитной пропитки древесины на основные показатели её прочности / И.Г. Федосенко // 54-я студенческая научно-техническая конференция: материалы докл., Минск, 19–24 мая 2003 г. / Белорус. гос. технол. ун-т.; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2003. – Ч. 1, – С. 122–123.

10–А. Федосенко, И.Г. Повышение прочности археологической древесины путем обработки ее высокоэффективным средством СПАД / И.Г. Федосенко // *Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов* –

2005: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 декабря 2005 г. / Беларус. гос. технол. ун-т.; под ред. О.А. Атрошенко [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – С. 289–292.

11–А. Федосенко, И.Г. Влияние высокоэффективных огнебиозащитных средств на показатели прочности древесины / И.Г. Федосенко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г.: в 2 ч. / Беларус. гос. технол. ун-т.; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – Ч. 2. – С. 309–312.

12–А. Федосенко, И.Г. Способ снижения расхода древесины при разрушающем контроле ее механических свойств / И.Г. Федосенко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 ноября 2008 г.: в 2 ч. / Беларус. гос. технол. ун-т.; под ред.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2008. – Ч. 2. – С. 337–340.

Тезисы докладов

13–А. Федосенко, И.Г. Исследование влияния огнебиозащитных средств на основные показатели качества древесины / И.Г. Федосенко // НИРС – 2003: тезисы докл. VIII республик. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 9–10 декабря 2003 г. / Беларус. гос. технол. ун-т.; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 7., – С. 123–124.

Заявки на изобретения

14–А. Способ определения предела прочности древесины при статическом изгибе: Респ. Беларусь, МПК8 G01N3/20 / И.Г. Федосенко; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № а 20110521; заявл. 23.06.11.

15–А. Способ определения твердости древесины: Респ. Беларусь, МПК8 G01N3/42 / И.Г. Федосенко; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № а 20100073; заявл. 21.01.10.

Патенты

16–А. Устройство для испытания образцов на изгиб: пат. 6879 Респ. Беларусь, МПК (2009) G01N3/00 / И.Г. Федосенко; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № U 20090965; заявл. 18.11.09; опубл. 12.30.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6. – С. 213.



РЕЗЮМЕ

Федосенко Иван Гаврилович

Создание методов оценки механических свойств деградированной древесины и их применение для огнебиозащиты

Ключевые слова: огнебиозащитное средство, деградация, археологическая древесина, механические свойства, метод, масштаб, микроскопия.

Объект исследования – свежеспиленная, обработанная огнебиозащитными средствами, деградированная и археологическая древесина.

Предметы исследования – методы определения свойств древесины и способы огнебиозащитной обработки.

Цель исследования – научное обоснование, разработка и практическое использование методов измерения механических свойств деградированной древесины, позволяющих адекватно оценить направленное влияние на нее огнебиозащитных мероприятий и осуществить огнебиозащитную обработку.

Методы исследования. Экспериментальные данные получены с использованием стандартных и оригинальных методов испытаний свойств древесины, в том числе масштабных методов определения твердости и прочности древесины при изгибе.

Результаты и их новизна. Разработаны новые методы определения механических свойств древесины для случая ограниченного количества материала. Установлены закономерности влияния масштаба испытаний, а также особенностей образцов на результаты определения предела прочности при статическом изгибе и твердости древесины. Впервые проведена комплексная оценка свойств археологической древесины музея «Берестье» и деградированной древесины строительных конструкций архитектурного памятника «Усадебный дом в Лошице». Впервые оценено влияние фосфорсодержащих водорастворимых и маслянистых огнебиозащитных средств, а также способов и условий проведения защитной обработки на изменение физико-механических свойств древесины. Доказано позитивное влияние огнебиозащитной обработки способом нанесения на поверхность фосфорсодержащего огнебиозащитного средства СПАД на механические свойства археологической древесины музея «Берестье».

Степень использования результатов. Результаты работы были использованы для сохранения и реконструкции деревянных строений археологического музея «Берестье» и архитектурного памятника XVIII–XIX веков «Усадебный дом в Лошице». Разработанные методики испытаний аттестованы Госстандартом и внедрены в область аккредитации НИЛ ОСКиМ БГТУ, а также в учебный процесс по специальности «Технология деревообрабатывающих производств». На них поданы заявки на изобретения. На разработанное приспособление выдан патент.

РЭЗІЮМЭ

Фядосенка Іван Гаўрылавіч

Стварэнне метадаў ацэнкі механічных уласцівасцяў дэградаванай драўніны і іх ужыванне для вогнебіяховы

Ключавыя словы: вогнебіяхоўны сродак, дэградацыя, археалагічная драўніна, механічныя ўласцівасці, метады, маштаб, мікраскапія.

Аб'ект даследавання – свежаспілавая, апрацаваная вогнебіяхоўнымі сродкамі, дэградаваная і археалагічная драўніна.

Прадметы даследавання – метады вызначэння ўласцівасцяў драўніны і спосабы вогнебіяхоўнай апрацоўкі.

Мэта даследавання – навуковае абгрунтаванне, распрацоўка і практычнае выкарыстанне метадаў вымярэння механічных уласцівасцяў археалагічнай і дэградаванай драўніны, якія дазваляюць адекватна ацаніць накіраваны ўплыў на яе вогнебіяхоўных мерапрыемстваў і ажыццявіць вогнебіяхоўную апрацоўку.

Метады даследавання. Эксперыментальныя дадзеныя атрыманы з выкарыстаннем стандартных і арыгінальных метадаў выпрабаванняў уласцівасцяў драўніны, у тым ліку маштабных метадаў вызначэння цвёрдасці і трываласці драўніны пры выгіне.

Вынікі і іх навізна. Распрацаваны новыя метады вызначэння механічных уласцівасцяў драўніны для выпадку абмежаванай колькасці матэрыялу. Усталяваны заканамернасці ўплыву маштабу выпрабаванняў, а таксама асаблівасцяў узораў на вынікі вызначэння ліміту трываласці пры статычным выгіне і цвёрдасці драўніны. Упершыню праведзена комплексная ацэнка ўласцівасцяў археалагічнай драўніны музея «Бярэсце» і дэградаванай драўніны будаўнічых канструкцый архітэктурнага помніка «Сядзібны дом у Лошыцы». Упершыню ацэнены ўплыў фосфарзмяшчальных вадарастваральных і масляністых вогнебіяхоўных сродкаў, а таксама спосабаў і ўмоў правядзення ахоўнай апрацоўкі на змяненне фізіка-механічных уласцівасцяў драўніны. Даказаны пазітыўны ўплыў вогнебіяхоўнай апрацоўкі спосабам нанясення на паверхню фосфарзмяшчальнага вогнебіяхоўнага сродку СПАД на механічныя ўласцівасці археалагічнай драўніны музея «Бярэсце».

Ступень выкарыстання вынікаў. Вынікі працы былі выкарыстаны для захавання і рэканструкцыі драўляных будынкаў археалагічнага музея «Бярэсце» і архітэктурнага помніка XVIII–XIX стагоддзяў «Сядзібны дом у Лошыцы». Распрацаваныя метадыкі выпрабаванняў атэставаны Дзяржстандартам і ўкаранены ў вобласць акрэдытацыі НДІ ВБКіМ БДТУ, а таксама ў навучальны працэс па спецыяльнасці «Тэхналогія дрэваапрацоўчых вытворчасцяў». На метадыкі пададзены заяўкі на вынаходствы. На распрацаванае прыстасаванне выданы патэнт.

RESUME

Ivan G. Fedosenko

Creating methods for evaluation of the mechanical properties of degraded wood and use them for firebioprotection

Key words: firebioprotective agent, degradation, archaeological wood, mechanical properties, method, scale, microscopy.

Object of research – freshly-cut, treated firebioprotective agents, degraded and archaeological wood.

Subject of research – the methods for determining wood properties and processing methods of firebioprotection.

Aim of research – the scientific basis, development and practical application of methods for measuring the mechanical properties of archaeological wood and degraded wood of sites, allow to adequately assess the directional impact on its firebioprotective procedures and implement firebioprotective treatment.

Methods of research. Experimental data were obtained from uses of standard and original methods of testing the properties of wood, including scale methods for determining hardness and strength of wood in bending.

The research results and their novelty. New methods of determining the mechanical properties of wood for the case of a limited amount of material. The regularities of the influence of scale tests, as well as characteristics of the samples on the results of determining the MOR in static bending and hardness of the wood. For the first time carried out a comprehensive assessment of the properties of the archaeological wood of museum "Berestye" and degraded wood building designs site "Manor House in Loshitsa." For the first time evaluated the effect of phosphorus-containing water-soluble and oily firebioprotective agents, as well as methods and conditions of the protective treatment for changes in physical and mechanical properties of wood. Proved a positive influence firebioprotective processing method applied to a surface phosphorus firebioprotective agent SPAD on the mechanical properties of archacological wood museum "Berestye".

Degree of use of results. The results were used for the preservation and reconstruction of the wooden buildings of the archaeological museum "Berestye" and architectural monument of XVIII – XIX centuries "Manor House in Loshitsa." Testing procedures are certified by Gosstandart of the Republic of Belarus and implemented in the area of accreditation of scientific-research laboratory of fire-protection of constructions and materials of the Belarusian State Technological University, as well as in the educational process in the specialty "Technology of woodworking industries." They filed an application for the invention. Developed for device the patent issued.