

11. EtherCAT Technology Group [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.ethercat.org/> (data obrashcheniya: 28.04.2018).
12. Figini A., Häfele F. Diagnostics with EtherCAT: monitoring of master/slaves // Industrial Ethernet Book Issue 82. № 41.
13. Procedure for design and safe operation of cargo crane-manipulators. M., 2003.
14. Gomonaj M.V., Kushlyayev V.F. Problems of ensuring safe operating condition of power transmission line on areas passed through forest // Scientific and educational problems of civil protection. 2011. № 4. P. 23-26.
15. Forestry code of Russian Federation from 04.12.2006 N 200-FZ [Elektronnyj resurs] (red. ot 29.12.2017). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
16. Denisenko V., Halyavko A. Protection against sensors' interference and cables of industrial automatization systems // Sovremennye tekhnologii avtomatizacii. 2001. № 1. P. 23-25.
17. Ott G. Noise reduction techniques in electronic systems / per. s angl. B.N. Bronina. M.: Mir, 1979.
18. About approval of development's strategy of Russian forest complex for the period up to 2020 [Elektronnyj resurs]: prikaz Minpromtorga Ros. Federacii № 248, Minsel'hoza Ros. Federacii № 482 ot 31 okt. 2008 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
19. Seliverstov A. Professionalism of tree harvesting machines' operatorsan significant condition for effective logging // LesPromInform. 2013. № 7. P. 23-27.
20. Purfürst F.T. Erler J. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations // International Journal of Forest Engineering, 2011.

УДК 674.812:02

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-152-156

## Пропитка древесины жидкостями под давлением

В.А. Шамаев<sup>1а</sup>, О.А. Куницкая<sup>2б</sup>, И.В. Григорьев<sup>2с</sup>, И.Н. Медведев<sup>1д</sup>,  
Д.А. Парин<sup>1е</sup>, С.С. Бурмистрова<sup>1ф</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева 8, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Якутская государственная сельскохозяйственная академия, Сергеляхское шоссе 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

<sup>а</sup>drevstal@mail.ru, <sup>б</sup>ola.ola07@mail.ru, <sup>с</sup>silver73@inbox.ru, <sup>д</sup>medved-vrn82@mail.ru,

<sup>е</sup>dmitryparinov@mail.ru, <sup>ф</sup>sve2091@yandex.ru

<sup>а</sup><https://orcid.org/0000-0002-1762-7956>, <sup>б</sup><https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>,

<sup>с</sup><https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, <sup>д</sup><https://orcid.org/0000-0002-8214-3333>,

<sup>е</sup><https://orcid.org/0002-7558-8836>, <sup>ф</sup><https://orcid.org/0002-7558-7933>

Статья поступила 6.11.2018, принята 12.11.2018

*В последние годы за рубежом активно развивается производство модифицированной древесины, получаемой методом автоклавной пропитки. Древесина таких марок, как Ассожа, Кеболу, Belmadur является водо- и влагостойкой, не меняет своих размеров в среде с переменной влажностью и температурой. Основным оборудованием для пропитки является автоклав. В данной статье рассмотрены различные способы автоклавной пропитки древесины под избыточным давлением. Приведена классификация древесных пород как материала для пропитки. Даны описание способов автоклавной пропитки и характеристики автоклавов. Общим недостатком автоклавной пропитки является то, что древесина перед пропиткой должна быть высушена до влажности 40 % при пропитке водными растворами и до 30 % — при пропитке маслянистыми жидкостями. После пропитки следует операция повторной сушки. Чтобы избежать двух сушек, разработана технология сквозной автоклавной пропитки сырых оцилиндрованных бревен диаметром 15–35 см, длиной 3 м — с торца, под давлением. Предложен принцип работы инновационной установки для пропитки методом с торца под давлением, позволяющий осуществить сквозную пропитку бревен длиной 3 м труднопропитываемых пород древесины. Установка, работающая по такому принципу, сейчас серийно не выпускается, но имеется опытная установка в ООО «Модификация» (Воронеж). Преимуществом данного устройства является то, что сквозная пропитка умеренно пропитываемой древесины по времени составляет 2–3 часа, а пропитка древесины ели и лиственницы, которые считаются непропитываемыми, имеет продолжительность 12–20 ч как водным, так и маслянистым раствором.*

**Ключевые слова:** древесина; автоклав; давление; вакуум; импрегнация; антисептики; антипирены.

## Wood impregnation with fluids under pressure

V.A. Shamaev<sup>1a</sup>, O.A. Kunitskaya<sup>2b</sup>, I.V. Grigorjev<sup>2c</sup>, I.N. Medvedev<sup>1d</sup>,  
D.A. Parinov<sup>1e</sup>, S.S. Burmistrova<sup>1f</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Yakutsk State Agricultural Academy; 3rd km, 3, Sergelyakhsкое Highway, Yakutsk, Russia

<sup>a</sup>drevstal@mail.ru, <sup>b</sup>ola.ola07@mail.ru, <sup>c</sup>silver73@inbox.ru, <sup>d</sup>medved-vrn82@mail.ru,

<sup>e</sup>dmitryparinov@mail.ru, <sup>f</sup>sve2091@yandex.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-1762-7956>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, <sup>d</sup><https://orcid.org/0000-0002-8214-3333>,

<sup>e</sup><https://orcid.org/0002-7558-8836>, <sup>f</sup><https://orcid.org/0002-7558-7933>

Received 06.11.2018, accepted 12.11.2018

*In recent years, the production of modified wood obtained by the autoclave impregnation method has developed abroad. Wood brands such as Accoja, Kebony, Belmadur are water-resistant and do not change their size in an environment with variable humidity and temperature. The main impregnation equipment is an autoclave. This article discusses various methods of autoclave impregnation of wood under pressure. The classification of tree species as a material for impregnation and the description of methods of autoclave impregnation and characteristics of autoclaves are given. A common disadvantage of autoclave impregnation is that the wood before impregnation must be dried to a moisture content of 40% when impregnated with aqueous solutions and to a moisture content of 30% when impregnated with oily liquids. After impregnation, a re-drying operation follows. To avoid two dryers, the technology of through-pressure autoclave impregnation from the end under pressure of raw cylindrical logs with a diameter of 15-35cm and a length of 3m has been developed. A plant operating according to this principle is not currently commercially available, but there is a pilot plant in "Modification" LLC (Voronezh). The advantage of this device is that the through impregnation of moderately impregnated wood in time is 2-3 hours, and the impregnation of spruce and larch wood, which are considered to be non-impregnated, has a duration of 12-20 hours of both in water and in oily solution.*

**Keywords:** wood; autoclave; pressure; vacuum; impregnation; antiseptics; flame retardants.

### Введение

Пропитка (импрегнирование) древесины является основным способом улучшения свойств (облагораживания) древесины и используется уже более 200 лет. Отечественная школа пропитки связана с такими известными именами, как П.С. Серговский, Н.А. Оснач, Д.Н. Лекторский, С.Н. Горшин [1–6].

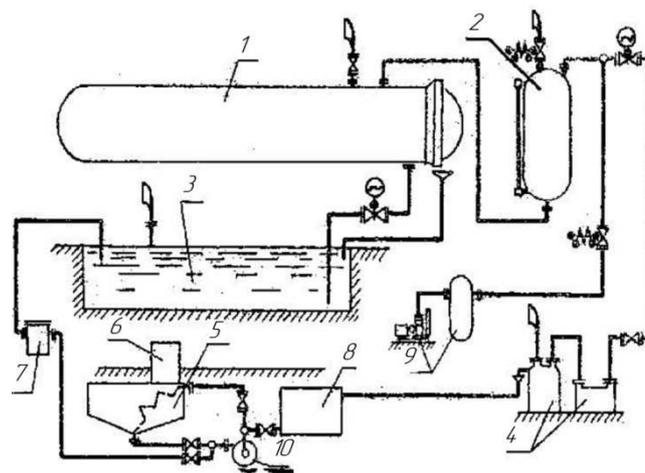
По пропитываемости отечественные лесные породы делятся на 3 группы: 1 — легкопропитываемые (береза, ольха, бук, заболонь осины, тополя, сосны); 2 — умеренно пропитываемые (кедр, дуб, ясень, клен, липа, ядро сосны); 3 — труднопропитываемые (ель, лиственница, пихта). Ель и лиственница считаются практически не пропитываемыми породами из-за закупоривания пор смолой, глубина пропитки не превышает 3–5 мм.

В качестве пропитывающих составов используются водорастворимые и маслянистые антисептики, антипирены, упрочняющие модификаторы, красители. Основное применение пропитанная древесина находит в производстве шпал, столбов ЛЭП, древесных строительных конструкций [12–14].

*Обсуждение вопроса.* В последние годы за рубежом получило развитие производство модифицированной древесины, получаемой методом автоклавной пропитки. Древесина таких марок, как Accoja, Kebony, Belmadur является водо- и влагостойкой и не меняет своих размеров в среде с переменной влажностью и температурой. Основным оборудованием пропитки является автоклав [9–11]. Схема технологического оборудования представлена на рис. 1.

Столбовую древесину одной породы, определенной длины и влажности с помощью кран-балки грузят на ва-

гонетки и подают в автоклав для пропитки водным раствором, например, комбинированного антисептика доналита «УАлл», концентрация которого, в зависимости от времени года и влажности древесины, составляет от 3,5 до 8 %.



**Рис. 1.** Схема технологического оборудования для пропитки древесины: 1 — автоклав; 2 — мерник с указателем количества жидкости; 3 — маневровый резервуар; 4 — вакуум-насос с водоотделителем; 5 — смешивательный бак; 6 — загрузочное устройство; 7 — фильтр; 8 — бак для сбора стоков; 9 — компрессор и ресивер; 10 — центробежный насос

Приготовление раствора антисептика производится в смешивательном баке. Бак заполняют водой, температура которой должна быть не более 30 °С. Соль антисептика засыпают в смешивательный бак через загрузочное

устройство. Перемешивание осуществляется центробежным насосом ЗК-9 до полного растворения соли антисептика. Этим же насосом приготовленный раствор перекачивается из смесительного бака в маневровый резервуар.

Пропитка древесины производится по методу полного поглощения с применением предварительного глубокого вакуума и последующего избыточного давления до 1,2 МПа. Вакуум в автоклавах создается с помощью двух водокольцевых вакуум-насосов РМК-3. Для создания давления в автоклавах и перекачки рас-

твора антисептика из автоклавов в маневровые резервуары используется сжатый воздух, для чего установлены два автоматизированных компрессора.

Для замера количества поглощенного древесинного раствора антисептика установлены два мерника. Давление в автоклавах создается сжатым воздухом, поступающим через мерники из ресивера. Перекачка раствора антисептика из мерника автоклава в маневровый резервуар осуществляется с помощью сжатого воздуха и самотеком.

*Порядок и принципиальная продолжительность операций технологического цикла пропитки (мин)*

Загрузка древесины в автоклав и закрытие крышки	5
Создание вакуума 660–680 мм рт. ст.	20
Выдерживание вакуума	30–90
Наполнение автоклава раствором	7
Пропитка (давление до 1,2 МПа) и выдерживание под давлением	60–180
Выпуск раствора из автоклава	10
Повторное вакуумирование (создание вакуума около 400 мм рт. ст.)	20
Открывание крышки и выгрузка древесины	5

Продолжительность цикла, в зависимости от породы и влажности древесины, от 2,5 до 5,5 ч.

После поглощения древесиной сухой соли антисептика в количестве 6 кг/м<sup>3</sup> давление можно снять, и операцию пропитки прекратить.

Опыт пропитки деревянных опор водорастворимым антисептиком показывает, что автоклавный метод имеет следующие преимущества:

- обеспечивает хорошее качество пропитки: количество поглощенной сухой соли находится в пределах нормы и составляет около 6 кг/м<sup>3</sup> (при ванном методе — не более 2 кг/м<sup>3</sup>);

- достигается высокая производительность за счет сокращения продолжительности цикла пропитки, которая составляет от 2,5 до 5,5 ч (диффузионный метод требует не менее 90 суток, ванный — от 2 до 6 суток);

- дает возможность добиться высокой степени механизации;

- химический состав рабочего раствора не изменяется (при ванном методе происходит разложение антисептика);

- рабочие минимально соприкасаются с ядовитыми веществами антисептика;

- дает возможность максимально ограничить загрязнение среды.

Автоклавы для пропитки серийно выпускают Курганский и Борисоглебский заводы «Химмаш». Объемы и длина автоклавов колеблется от 10 до 100 м<sup>3</sup>, длина — от 3 до 8 м. Чаще всего для пропитки древесины используется автоклав ВКР-40 с объемом камеры 40 м<sup>3</sup> и длиной 6 м. Автоклавы обогреваемые, с полной автоматикой. Более надежны, но и более дороги автоклавы Курганского завода. Имеется опыт самостоятельного изготовления автоклавов с объемом загружаемой древесины 6 м<sup>3</sup>, по качеству не уступающих импортным, в г. Шебекино Белгородской области (ООО «Global Parquet»).

Наибольшее распространение в мировой практике получили два способа пропитки: способ полного поглощения и способ ограниченного поглощения.

Способ полного поглощения, или, по терминологии, принятой ГОСТ 20022.0–82, «вакуум – давление – вакуум» (ВДВ), включает три операции: 1) начального вакуума, при котором в древесине создается разрежение; 2) жидкостного давления выше атмосферного, под действием которого в древесину вводят антисептик; 3) конечного вакуума, предназначенного для пропитки маслами с целью снижения начального поглощения, а при пропитке водорастворимыми антисептиками — для подсушки поверхности сортимента.

Способ ВДВ применяют, в основном, для пропитки древесины водорастворимыми антисептиками, так как регулирование поглощения сухой соли легко достигается изменением концентрации раствора по ГОСТ 20022.7–82 «Защита древесины. Автоклавная пропитка водорастворимыми защитными средствами под давлением». При этом используют следующий режим пропитки. В автоклав загружают подлежащую пропитке древесину, создают вакуум глубиной 0,07–0,09 МПа на 15–60 мин и затем, не снимая вакуума, вводят пропиточную жидкость и поднимают давление до 0,7–0,9 МПа. Продолжительность выдержки древесины под давлением определяется временем, которое требуется для получения заданного поглощения (как правило, 1–2 ч). После пропитки пропиточную жидкость из автоклава откачивают и создают конечный вакуум глубиной 0,07–0,09 МПа на 15–20 мин.

Способ ограниченного поглощения применяют в тех случаях, когда необходимо получить более глубокое проникание антисептика при относительно низком конечном его поглощении. Существуют две основные модификации этого способа: 1) «давление – давление – вакуум» (ДДВ) и 2) «давление – вакуум» (ДВ).

Способ ДДВ (известен как способ Рюпинга) широко применяется как в зарубежной, так и в отечественной практике для пропитки древесины маслянистыми антисептиками.

Ниже приведены режимы пропитки маслянистыми антисептиками шпал, опор ЛЭП и связи, изготовлен-

ных из древесины хвойных пород, принятые на шпало-пропиточных заводах МПС СССР.  
*Параметры технологического процесса*

Давление	
воздушное	
величина, МПа	(0,2–0,3)/(0,1–0,2)
продолжительность, мин	15/10
жидкостное	
величина, МПа	0,8/(0,8–1,2)
продолжительность, мин	60/180
Вакуум	
величина, МПа	0,085/0,085
продолжительность, мин	20/20

*Примечание.* В числителе — данные для сосны и кедра, в знаменателе — для ели, пихты, лиственницы

Общим недостатком автоклавной пропитки является то, что древесина должна быть предварительно высушена до влажности 40 % при пропитке водными растворами и до 30 % — при пропитке маслянистыми жидкостями. После пропитки следует операция по-

вторной сушки. Чтобы избежать двух сушек, разработана технология сквозной автоклавной пропитки сырых оцилиндрованных бревен диаметром 15–35 см, длиной 3 м — с торца под давлением [7].

Схема установки приведена на рис. 2.

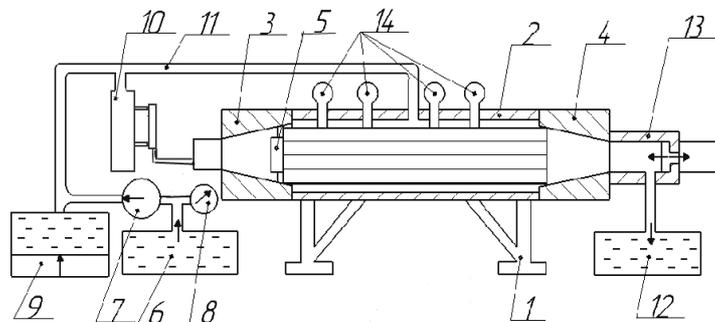


Рис. 2. Общая схема установки для пропитки древесины с торца под давлением

Устройство содержит сварную раму 1, с закрепленной на ней металлической трубой 2, левую конусную насадку 3, правую конусную насадку 4, ультразвуковой излучатель 5, действующий в радиальном направлении, емкость с пропиточной жидкостью 6, гидравлический насос 7, манометр 8, пневмогидравлический аккумулятор давления 9, гидропульсатор 10 с обратным клапаном, вспомогательный трубопровод 11, емкость для сбора воды 12, горизонтальный гидроцилиндр 13, ультразвуковые излучатели 14, действующие в поперечном направлении.

Устройство работает следующим образом. Сырое оцилиндрованное бревно закладывается в металлическую трубу 2 на рольганге. Закрываются левая 3 и правая 4 конусные насадки. Гидроцилиндром 13 осуществляется закрепление заготовки в неподвижном положении. Затем к пропитываемой заготовке подкручиваются все ультразвуковые излучатели 5 и 14. Включается насос 7, подающий из бака 6 пропиточную жидкость в полость между металлической трубой 2 и пропитываемой заготовкой. Включаются ультразвуковые излучатели 5 и 14. Затем включается гидравлический пульсатор 10, подающий пропитываемую жидкость в торец заготовки. После завершения процесса пропитки жидкость сливается в емкость для сбора воды 12.

Для промышленного применения разработано устройство, где на одной раме расположены шесть рабо-

чих цилиндров с одной общей гидростанцией [8]. Установка серийно не выпускается, но имеется опытная установка в ООО «Модификация» (Воронеж).

**Результаты исследования.** В мировой практике получили наибольшее распространение два способа пропитки: способ полного поглощения и способ ограниченного поглощения. Когда необходимо получить более глубокое проникание антисептика при его относительно низком конечном поглощении, применяют способ ограниченного поглощения. Известны две основные модификации этого способа — «давление – давление – вакуум» и «давление – вакуум». Преимуществом предлагаемого в статье устройства является то, что сквозная пропитка умеренно пропитываемой древесины по времени составляет 2–3 ч, а пропитка древесины ели и лиственницы, которые считаются непропитываемыми, имеет продолжительность 12–20 ч как водным, так и маслянистым раствором.

#### Выводы

Рассмотренный в статье принцип пропитки древесины далеко опередил зарубежные аналоги, однако широкого распространения не получил. Объясняется это тем, что в нашей стране бизнес-сообщество ориентировано преимущественно на получение сиюминутной выгоды, а прорывные технологии требуют немалых вложений и несут определенные риски. Государст-

венная поддержка лесопромышленного комплекса не дает эффекта. Мешает также стереотип мышления, что мы самая богатая лесом страна, и пока заниматься улучшением свойств древесины не стоит («когда вырубим, тогда будем думать»). В результате, в будущем нам придется закупать модифицированную древесину в Китае так же, как мы ежегодно закупаем 150 тыс. м<sup>3</sup> ценной древесины в Африке, Юго-Восточной Азии и Латинской Америке. Хотя при использовании методов модифицирования в России могли бы наладить собственное производство древесины палисандра, махагони и т. д. из малоценных пород.

#### *Литература*

1. Ермолин В.Н. Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород: моногр. Красноярск: СибГТУ, 1999. 100 с.
2. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная промышленность, 1987. 360 с.
3. Калниньш А.Я. Консервирование и защита лесоматериалов. М.: Лесная промышленность, 1962. 143 с.
4. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США / пер. с англ. Я. Горелика, Т. Михайловой. М.: Лесная промышленность, 1979. 544 с.
5. Ломакин А.Д. Защита древесины и древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1990. 153 с.
6. Горшин С.Н. Консервирование древесины. М.: Лесная промышленность, 1977. 335 с.
7. Шамаев В.А., Паринов Д.А. Способ пропитки древесины: пат. 2646612 Рос. Федерация. Бюл. 2018. № 2.
8. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины, М.: Наука, 2013. 456 с.
9. ГОСТ 20022.7-82. Защита древесины. Автоклавная пропитка водорастворимыми защитными средствами под давлением. М., 1982.
10. ГОСТ 20012.0-82. Защита древесины. Автоклавная пропитка древесины способом вакуум-давление-вакуум (ВДВ). М., 1982.
11. ГОСТ 20022.13-81 Защита древесины. Способы автоклавно-диффузионной пропитки. М., 1981.
12. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Гончаров Ю.А. Поиск новых технических решений для повышения эффективности пропитки древесины // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: материалы республ. науч.-практической конф., посвящ. 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск, 2015. С. 16-17.
13. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Экспериментальные исследования процесса пропитки древесины гидроударом //

Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-технической конф. Кострома, 2015. С. 74-77.

14. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Моделирование процесса пропитки древесины в ударном пьезопериодическом поле // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Воронеж, 2015. Т. 3, № 7-2 (18-2). С. 55-59.

#### *References*

1. Ermolin V.N. Basics of increasing the permeability of fluids of coniferous wood: monogr. Krasnoyarsk: SibGTU, 1999. 100 p.
2. Sergovskij P.S., Rasev A.I. Hydrothermal treatment and preservation of wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987. 360 p.
3. Kalnin'sh A.Ya. Canning and protection of timber. M.: Lesnaya promyshlennost', 1962. 143 p.
4. Wood reference guide. US Forest Products Laboratory / per. s angl. YA. Gorelika, T. Mihajlovoj. M.: Lesnaya promyshlennost', 1979. 544 p.
5. Lomakin A.D. Protection of wood and wood-based materials. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990. 153 p.
6. Gorshin S.N. Wood preservation. M.: Lesnaya promyshlennost', 1977. 335 p.
7. Shamaev V.A., Parinov D.A. Wood impregnation method: pat. 2646612 Ros. Federaciya. Byul. 2018. № 2.
8. Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. Modification of wood. M.: Nauka, 2013. 456 p.
9. GOST 20022.7-82. Wood protection. Autoclave impregnation with water-soluble protective agents under pressure. M., 1982.
10. GOST 20012.0-82. Wood protection. Autoclave impregnation of wood by the method of vacuum-pressure-vacuum (Airborne). M., 1982.
11. GOST 20022.13-81. Wood protection. Methods of autoclave-diffusion impregnation. M., 1981.
12. Kunickaya O.A., Burmistrova S.S., Goncharov Yu.A. Search for new technical solutions to increase the efficiency of wood impregnation // Intensifikaciya formirovaniya i ohrany intellektual'noj sobstvennosti: materialy respubl. nauch.-prakticheskoy konf., posvyashch. 75-letiyu PetrGU. Petrozavodsk, 2015. P. 16-17.
13. Kunickaya O.A., Burmistrova S.S. Experimental studies of the process of impregnation of wood with water hammer: sb. nauch. tr. III Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. Kostroma, 2015. P. 74-77.
14. Kunickaya O.A., Burmistrova S.S. Modeling the process of wood impregnation in a piezoperiodic percussion field // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Voronezh, 2015. Т. 3, № 7-2 (18-2). P. 55-59.