

УДК 674.037.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-51-56

СУШКА КРУПНОМЕРНЫХ ПИЛО- И ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ**В.П. Галкин¹, Г.Н. Курышов¹, А.А. Косарин², С.А. Моисеев¹, Д.И. Деянов¹**¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1²ООО «Форскад», 121359, г. Москва, ул. Партизанская, д. 40

kosarin2008@yandex.ru

Приведен обзор публикаций по сушке крупномерных пило- и лесоматериалов (бруса, оцилиндрованного бревна) в сушильных камерах с использованием энергии электрического поля сверхвысоких частот в среде перегретого пара, гидрофильных жидкостях, вакуума в сочетании с конвективным нагревом древесины. Представлено описание процесса сушки в период с 2014 по 2019 г. в конвективной опытно-промышленной сушильной камере, оснащенной импульсными режимами, в лаборатории кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сушке подвергались единичные сортименты бруса сечением 100×100, 100×150, 150×150 и 200×200 мм длиной до 2 м, а также оцилиндрованные бревна диаметром 200 и 220 мм длиной 2 м. Кроме этого, с использованием импульсных режимов были высушены образцы окоренных бревен из древесины сосны диаметром от 180 до 280 мм, используемых для изготовления деревянных опор для линий электропередач. В этот же период была проведена сушка импульсным режимом образцов окоренных бревен из древесины липы диаметром от 320 до 350 мм. В процессе всех сушек начальная, текущая, послышная и конечная влажность определялась в соответствии с ГОСТ 16588, изучалось влияние режимных параметров на размеры трещин усушки и т. д. Сделан вывод о возможности использования импульсных режимов в производственных условиях.

Ключевые слова: крупномерные пиломатериалы, брус, крупномерные лесоматериалы, оцилиндрованные и окоренные бревна, импульсная сушка, режимы сушки

Ссылка для цитирования: Галкин В.П., Курышов Г.Н., Косарин А.А., Моисеев С.А., Деянов Д.И. Сушка крупномерных пило- и лесоматериалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 51–56.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-51-56

Научно-исследовательские работы по камерной сушке крупномерных пило- и лесоматериалов были начаты в середине 1940–1950 гг. и проводятся в настоящее время отечественными и зарубежными предприятиями и организациями. Для этого применяются конвективные сушильные камеры, камеры с использованием энергии электрического поля сверхвысоких частот (СВЧ) и энергии магнитного поля токов высокой частоты (ТВЧ), вакуум, гидрофобные жидкости и т. д. [1–3]. На кафедре «Сушка и защита древесины» МГУЛ в 2007 г. проводились экспериментальные сушки с использованием поля СВЧ единичных сортиментов бруса сечением 150×150 мм и оцилиндрованного бревна диаметром 220 мм в сушильной камере, оснащенной восемью магнетронами, которые работали на частоте 2450 МГц, при общей колебательной мощности 3,8 кВт. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

– процесс сушки проходит без образования крупных трещин;

– продолжительность сушки единичных сортиментов до средней комнатной влажности 14 %, составляет не более 2 ч;

– влажность на поверхности сортиментов всегда выше влажности центральных зон [4].

Кроме того, в 2012 г. Государственный научный центр лесопромышленного комплекса и Воронежская государственная лесотехниче-

ская академия разработали способ сушки бревен (бруса) с применением электромагнитной энергии сверхвысокой частоты СВЧ и создали установку СВЧ для целей деревянного домостроения [5]. На установке было высушено 12 бревен объемом 3,5 м³ от начальной влажности 100 % до конечной влажности 15 % при затрате электроэнергии 28 кВт×час. В процессе сушки основная масса воды выходила из бревна (бруса) в жидкой фазе, а не в виде пара.

В работе [6] приведено описание способа и технологии вакуум-осциллирующей сушки в среде перегретого пара применительно к оцилиндрованным бревнам. Способ сушки заключается в чередовании процессов вакуумирования и конвективного нагрева материала. По окончании стадии вакуумирования цикл «прогрев — вакуум» повторяется. Количество циклов зависит от диаметра бревна, конечной влажности и породы древесины.

Для оцилиндрованных бревен также была предложена технология осциллирующей сушки в гидрофильных жидкостях. Процесс сушки включает в себя чередующиеся операции нагрева древесины в гидрофильной жидкости и вакуумирования. При этом наибольший эффект можно достичь при сушке пихты, вследствие ее высокой стойкости к увлажнению в ходе операции прогрева. Указанную технологию можно использовать для удаления влаги из умеренно- и труднопропитываемых пород древесины [7].

Способ сушки оцилиндрованного бревна, рассмотренный в работе [8], заключается в том, что по всей длине бревна для ускорения нагрева бревна и облегчения выхода испаряемой из бревна влаги равномерно сверлят сквозные отверстия в поперечном направлении, в результате при 10 отверстиях на 1 м длины бревна продолжительность сушки от начальной влажности 23 % до конечной влажности 12 % составляет 100 ч. По мнению авторов этой работы, наличие сквозных отверстий способствует быстрому и равномерному нагреву бревна и обеспечивает одновременную усушку волокон центральной и периферийной частей бревна, уменьшает внутренние напряжения в древесине и предотвращает образование трещин на поверхности.

Цель работы

Цель работы — разработка технологии импульсной сушки крупномерных пило- (бруса) и лесоматериалов (окоренных и оцилиндрованных бревен) в сушильных камерах конвективного принципа действия.

Материалы и методы исследования

На кафедре «Процессы и аппараты» МГУЛ в апреле–июле 2014 г. проводились научно-исследовательские работы по сушке бруса сечением 100×100 и 100×150 мм, длиной до 2 м в конвективной сушильной камере с поперечно-горизонтальной циркуляцией. Использовались импульсные режимы, хорошо зарекомендовавшие себя при сушке хвойных и лиственных пород древесины [9, 10]. Всего было высушено 10 образцов бруса от начальной влажности 57,92 до конечной влажности 11,26 %. Продолжительность сушки бруса составила 7...20 сут. Для локализации трещин усушки в образцах бруса выпиливали 2–4 иницирующие паза шириной от 1 до 2,8 мм, глубиной 10...50 мм.

Импульсный режим включал в себя следующие технологические операции: прогрев, сушка и кондиционирование. Продолжительность прогрева составила 6...8 ч при температуре от 60 до 70 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Процесс сушки состоял из повторяющихся циклов «работа» и «пауза» продолжительностью соответственно 2 и 4 ч. При цикле «работа» температура по «сухому термометру» устанавливалась в диапазоне от 55 до 65 °С. Продолжительность кондиционирования при температуре 60...70 °С составляла 4...6 ч. В процессе всей сушки проводился контроль текущей влажности образцов (по секциям влажности), послойной влажности и сушильных напряжений по силовым секциям [11].

В январе–июне 2015 г. и в феврале–мае 2017 г. проводились опытные сушки бруса сечением

150×150 мм и длиной до 2 м. Январь–июнь 2015 г. высушивался брус без сердцевинной трубки, а с февраля по май 2017 г. брус с сердцевинной трубкой. Начальная влажность определялась сушильно-весовым способом по ГОСТ 16588 и составляла от 50 до 70 %. Всего было выполнено 10 сушек. Продолжительность сушек до конечной влажности 14–21 % составила 8...17 сут. Использовались импульсные режимы сушки, которые включали в себя следующие технологические операции: прогрев, сушку и кондиционирование. Продолжительность прогрева составляла 8...10 ч при температуре от 40...60 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Процесс сушки состоял из повторяющихся циклов «работа» и «пауза». Продолжительность цикла «работа» 1...3 ч, при температуре 50...80 °С, продолжительность цикла «пауза» 4...8 ч. Продолжительность кондиционирования составляла 6...8 ч при температуре 60...80 °С. В процессе сушки контролировалось изменение текущей и послойной влажности и относительная деформация силовых секций [12, 13].

С сентября 2018 г. по апрель 2019 г. в лаборатории кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) проводились опытные сушки бруса сечением 200×200 мм и длиной до 2 м импульсными режимами. Всего было проведено 10 сушек. Процесс сушки включал в себя следующие технологические операции: прогрев, сушку и кондиционирование. Продолжительность прогрева составляла 10...20 ч при температуре от 50 до 60 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Сушка состояла из повторяющихся циклов «работа» и «пауза». Продолжительность цикла «работа» составляла 1...2 ч при температуре от 35 до 77 °С, продолжительность цикла «пауза» составляла 6...8 ч. Продолжительность кондиционирования составляла 10...18 ч при температуре 60...77 °С. Продолжительность сушки образцов бруса от начальной влажности 68,5 % до конечной влажности 12,6 % составила 21...35 сут. После кондиционирования образцы бруса выдерживались в сушильной камере не менее 20 ч. В процессе сушки бруса осуществлялся контроль текущей влажности, размеров трещин (длины, ширины и глубины) и относительной деформации зубцов силовых секций [14].

С ноября 2017 г. по май 2018 г. на кафедре «Древесиноведение и технологии деревообработки» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) проводились экспериментальные работы по сушке оцилиндрованного бревна диаметром 200 мм, длиной 1,5 м. Всего было выполнено восемь сушек. Использовалась опытно-промышленная сушильная камера с поперечно-горизонтальной циркуляцией, конвективного принципа действия.

Для проведения сушек импульсным режимом камеру оснастили регулятором температуры, таймером, психометрическим узлом (сухим и мокрым термометрами сопротивления) и системой увлажнения с приточно-вытяжными каналами.

Импульсный режим включал в себя следующие технологические операции: прогрев, сушку и кондиционирование. Продолжительность прогрева составляла 10...20 ч, при температуре 40...50 °С, и относительной влажности воздуха 95...99 %. Продолжительность цикла «работа» и «пауза» составляла соответственно 2 и 4 ч. Температура цикла «работа» устанавливалась в диапазоне от 28 °С с последующим ее ступенчатым повышением до 70 °С. Количество ступеней составляло от 5 до 7. Всего было проведено пять сушек импульсным режимом, высушено шесть образцов сырых бревен. Начальная влажность составляла 57,4 %, конечная — 19,1 %. Продолжительность кондиционирования составляла 14...16 ч при температуре 50...70 °С. Продолжительность сушки оцилиндрованных бревен составляла 24...40 сут. В процессе сушки контролировались послойная влажность образцов, размеры трещин усушки (длина, ширина, глубина), изучалось влияние компенсационных пропилов на динамику образования трещин усушки [15, 16].

С ноября 2018 г. по апрель 2019 г. проводились опытные сушки оцилиндрованного бревна из древесины сосны диаметром 220 мм, длиной 1,5 м импульсным режимом в опытно-промышленной сушильной камере. Всего выполнено пять сушек, высушено восемь образцов сырого оцилиндрованного бревна. Импульсный режим включал в себя следующие технологические операции: прогрев, сушка и кондиционирование. Продолжительность прогрева составляла 28...30 ч при температуре 38...48 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Продолжительность цикла «работа» составляла 1...3 ч при начальной температуре 30 °С с последующим ее ступенчатым повышением до 69 °С. Количество ступеней составляло от 7 до 9. Продолжительность цикла «пауза» 4...6 ч. Кондиционирование осуществлялось при температуре от 60 до 68 °С, продолжительностью 18...22 ч. В процессе сушки проводился контроль послойной влажности образцов оцилиндрованного бревна, определялись размеры трещин усушки (длина, ширина и глубина) в зависимости от режимных параметров процесса сушки, изучалось влияние компенсационных пропилов на сохранение целостности образцов оцилиндрованных бревен.

В октябре 2017 г. корпорация «RusDrevProm» (г. Серов Свердловской области), изготавливающая деревянные опоры для линий электропередач, предоставила образцы окоренных бревен

из древесины сосны диаметрами 180, 200, 220, 240, 260 и 280 мм длиной 2 м для исследования возможности применения импульсных режимов в технологическом процессе их изготовления. Технологический процесс изготовления деревянных опор включает в себя окорку бревен, сушку в конвективных камерах до влажности не более 28 % с последующей пропиткой водорастворимыми антисептиками на основе меди, мышьяка и хрома на глубину 30...40 мм способом вакуум — давление — вакуум. Требования к качеству высушенных материалов определены по ГОСТ 9463 и стандартом ПАО «РОССЕТИ» начальная влажность образцов составляла от 40,5 до 6,2 %. Импульсный режим включал в себя следующие технологические операции: прогрев, сушка и кондиционирование. Продолжительность прогрева 18...20 ч, при температуре 40...60 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Продолжительность циклов «работа» и «пауза» зависела от диаметра образца и составляла 2 ч для цикла «работа» и от 4 до 6 ч для цикла «пауза». Температура цикла «работа» определялась диаметром образца и для диаметра 180 мм находилась в диапазоне от 40 до 70 °С, для диаметра 200 мм — от 38 до 60 °С, 220 мм — 50 °С, 240 мм — от 30 до 50 °С, 260 мм — от 28 до 48 °С и при диаметре 280 мм — от 40 до 70 °С. В процессе сушек измеряли длину, ширину и глубину трещин усушки в соответствии с ГОСТ 9463. Анализ полученных данных показал, что высушенные образцы окоренных бревен соответствуют требованиям по качеству, а импульсные режимы могут быть опробованы в производственных условиях [17].

С сентября 2018 г. по апрель 2019 г. в лаборатории кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» проводились опытные сушки окоренных бревен из древесины липы диаметром 320...350 мм и длиной до 2 м.

Древесина липы — мягкая, имеет однородное строение, хорошо режется и используется для изготовления моделей для литья и разных изделий различного назначения. Технологический процесс изготовления резных изделий из окоренного бревна состоит из атмосферной сушки (не менее 3 лет) под навесом, досушки в раскройном помещении, торцовки и раскалывания бревен на заготовки. В целях сокращения продолжительности сушки окоренных бревен из липы с сентября 2018 г. по апрель 2019 г. были проведены сушки в опытно-промышленной сушильной камере с использованием импульсных режимов. Ранее режимы хорошо зарекомендовали себя при сушке сосновых окоренных бревен для изготовления опор линий электропередач [17, 18, 19, 20]. Импульсный режим включал в себя следующие

технологические операции: прогрев, сушка и кондиционирование. Продолжительность прогрева составляла от 18 до 20 ч при температуре от 40 до 63 °С и относительной влажности воздуха 95...99 %. Импульсная сушка включала в себя циклы «работа» и «пауза». Температура цикла «работа» поддерживалась в диапазоне от 35 до 77 °С. На этой стадии осуществлялось ступенчатое изменение температуры, количество ступеней от 6 до 9. Высушено пять образцов. Продолжительность циклов «работа» и «пауза» составляла 4...6 ч.

Контроль текущей влажности осуществлялся сушильно-весовым способом по ГОСТ 16588. В процессе всех пяти сушек проводилось измерение длины, ширины и глубины боковых и торцовых трещин по ГОСТ 9463.

Продолжительность сушки образцов от начальной влажности 44,7 % до конечной влажности 18 % составляла 18...46 сут.

Результаты и обсуждение

По результатам опытных сушек образцов бруса импульсными режимами получены данные по изменению текущей и послойной влажности, значениям условного показателя остаточных напряжений (относительной деформации зубцов силовых секций), размерам трещин усушки и компенсационного пропила, величина температуры и относительной влажности агента сушки в процессе повторяющихся циклов «работа» и «пауза».

Импульсная сушка образцов оцилиндрованных бревен диаметром 200 и 220 мм, а также образцов окоренных бревен из древесины сосны и липы позволила получить данные по изменению текущей и послойной влажности, размерам боковых и торцевых трещин усушки и состояние агента сушки в процессе повторяющихся циклов «работа» и «пауза».

Выводы

Проведенные исследования и полученные данные позволили разработать технологию импульсной сушки для брусков сечениями 100×100, 100×150, 150×150 мм и 200×200 мм, оцилиндрованных бревен из сосны, используемых для изготовления опор линий электропередач и окоренных бревен из древесины липы. Разработанные технологии импульсной сушки необходимо апробировать в условиях промышленного производства.

Внедрение импульсной сушки предполагает сокращение тепловой и электрической энергии (от 30 до 40 %) за счет отключения циркуляционных вентиляторов в цикле «пауза», обеспечивая при этом бездефектную сушку древесины.

Список литературы

- [1] Селюгин Н.С. Сушка древесины. Л.: Гослестехиздат, 1940. 548 с.
- [2] Бирюков В.А. Технология скоростной сушки сосновых брусков с применением диэлектрического и конвекционного нагрева: дис. ... канд. тех. наук. Л., 1951, 177 с.
- [3] Дьяконов К.Ф., Горяев А.В. Сушка древесины токами высокой частоты. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 168 с.
- [4] Расев А.И. Микроволновая сушка древесных сортиментов (брус, оцилиндрованное бревно) // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 335, 2007. С. 47–49.
- [5] Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 304 с.
- [6] Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Хайдаров С.А., Сафин Р.Г. Сушка в технологическом процессе производства оцилиндрованных бревен домостроения. Казань: КГУ, 2004. С. 160–163.
- [7] Расев А.И., Курышов Г.Н. Технология сушки пиломатериалов в аэродинамических камерах // Деревообработка в России, 1998. № 1. С. 3–4.
- [8] Лукаш А.А., Гришина Е.С. Интенсификация процесса сушки оцилиндрованных бревен // ИВУЗ Лесной журнал, 2014. № 2. С. 86–93.
- [9] Расев А.И., Курышов Г.Н., Чучков С.А., Ляшенко С.В. Способ сушки пиломатериалов. Пат. 2027127 РФ МПК F26B3/04 / Заявитель и патентообладатель МГУЛ, опубл. 20.01.95 г. Бюл. № 35.
- [10] Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУЛ, 2012. 164 с.
- [11] Петяйкина Е.Г., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка бруса хвойных пород древесины // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 370, 2014. С. 61–66.
- [12] Самойлова Е.А., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка крупных древесных сортиментов (брус сечением 150×150 мм) // Научные труды МГУЛ. Вып. 381, 2016. С. 67–70.
- [13] Курышов Г.Н., Косарин А.А., Расева Е.А. Способ импульсной сушки пиломатериалов. Пат. № 2607923 РФ / Заявитель и патентообладатель МГУЛ, опубл. 11.01.2017 г. Бюл. № 2.
- [14] Косарин А.А., Курышов Г.Н., Расева Е.А. Способ импульсной сушки пиломатериалов. Пат. № 2615854 РФ / Заявитель и патентообладатель МГУЛ, опубл. 01.12.2017 г. Бюл. № 34.
- [15] Новичков М.П., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка оцилиндрованного бревна // Тез. докл. науч.-техн. конф. МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (июнь 2017, Красноярск). Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. 244 с.
- [16] Курышов Г.Н., Косарин А.А., Косарина А.А. Способ импульсной сушки. Пат. № 2637288 РФ / Заявитель и патентообладатель Курышов Г.Н., Косарин А.А., Косарина А.А., опубл. 01.12.2017. Бюл. № 34.
- [17] Иванов Д.А., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка окоренного бревна // Сб. тез. докл. Всерос. студ. конф. «Студенческая научная весна» (МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, апрель 2018). М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2018. 506 с.
- [18] Минина Е.А., Чемоданов А.Н. Современные проблемы сушки лесоматериалов // Veda a technologie: krok do budoucnosti – 2016, Materialy XII Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konference «Moderní Vymoženosti Vědy – 2016» (Praha, 22–30 января 2016 г.). Praha: Publishing House «Education and Science», 2016, pp. 81–83.
- [19] Расев А.И. Сушка древесины. М.: Лань, 2010. 416 с.
- [20] Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1968. 448 с.

Сведения об авторах

Галкин Владимир Павлович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vgalkin@mgul.ac.ru

Курьшов Григорий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kuryshov@mgul.ac.ru

Косарин Анатолий Александрович — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», kosarin2008@yandex.ru

Моисеев Сергей Андреевич — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), d.dejanov@yandex.ru

Деянов Дмитрий Игоревич — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), d.dejanov@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.12.2019.

Принята к публикации 23.01.2020.

LARGE SIZED WOOD AND TIMBER SEASONING

V.P. Galkin¹, G.N. Kuryshov¹, A.A. Kosarin², S.A. Moiseev¹, D.I. Deyanov¹

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²ООО «Форсклад», 40, Partizanskaya st., Moscow, 121359, Russia

kosarin2008@yandex.ru

A review of publications on seasoning large-sized wood and timber (timber, logs) in drying chambers using the energy of super-high frequency electric field in an environment of superheated steam, hydrophilic liquids, vacuum in combination with convective heating of wood is presented. A description of the seasoning process in the period from 2014 to 2019 in a convective pilot industrial drying chamber equipped with pulse modes in the laboratory of the Department of Wood Science and Woodworking Technology at Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman. Single timber assortments of 100 × 100, 100 × 150, 150 × 150 and 200 × 200 mm sections up to 2 m long, as well as logs with a diameter of 200 and 220 mm and 2 m long, were subjected to seasoning. In addition, samples were dried using pulsed modes barked pine wood logs with a diameter of 180 to 280 mm used for the manufacture of power lines wooden poles. In the same period, pulsed drying was carried out on samples of barked linden wood with a diameter of 320 to 350 mm. In the course of all dryings, the initial, current, layer-by-layer and final humidity was determined in accordance with GOST 16588, the influence of operating parameters on the dimensions of drying cracks was studied. It was concluded that pulsed conditions can be used in manufacture conditions.

Keywords: large-sized lumber, timber, large-sized timber, round and barked logs, impulse drying, drying modes

Suggested citation: Galkin V.P., Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Moiseev S.A., Deyanov D.I. *Sushka крупномерных пило- и лесоматериалов* [Large sized wood and timber seasoning]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 51–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-51-56

References

- [1] Selyugin N.S. *Sushka drevesiny* [Wood drying]. Leningrad: Goslestekhzdat, 1940, 548 p.
- [2] Biryukov V.A. *Tekhnologiya skorostnoy sushki sosnovykh brus'ev s primeneniem dielektricheskogo i konveksionnogo nagrev* [Technology of high-speed drying of pine beams using dielectric and convection heating] Diss. Cand. Sci. (Tech.). Leningrad, 1951, 177 p.
- [3] D'yakonov K.F., Goryaev A.V. *Sushka drevesiny tokami vysokoy chastoty* [Drying wood with high frequency currents]. Moscow: Lesn. prom-st' [Forest industry], 1981, 168 p.
- [4] Rasev A.I. *Mikrovolnovaya sushka drevesnykh sortimentov (brus, otsilindrovannoe brevno)* [Microwave drying of wood assortments (timber, logs)] Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of Moscow State Forest University], 2007, v. 335, pp. 47–49.
- [5] Bogdanov E.S., Kozlov V.A., Kuntyshev V.B., Melekhov V.I. *Spravochnik po sushke drevesiny* [Handbook of wood drying]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1990, 304 p.
- [6] Safin R.R., Khasanshin R.R., Khaydarov S.A., Safin R.G. *Sushka v tekhnologicheskoy protsesse proizvodstva otsilindrovannykh breven domostroeniya* [Drying in the manufacturing process of rounded logs of house building]. Kazan: KSU, 2004, pp. 160–163.
- [7] Rasev A.I., Kuryshov G.N. *Tekhnologiya sushki pilomaterialov v aerodinamicheskikh kamerakh* [Technology of drying sawn timber in aerodynamic chambers]. Woodworking in Russia, 1998, no. 1, pp. 3–4.
- [8] Lukash A.A., Grishina E.S. *Intensifikatsiya protsessa sushki otsilindrovannykh breven* [The intensification of the drying process of logs]. *IVUZ Lesnoy zhurnal [IVUZ Forest Journal]*, 2014, no. 2, pp. 86–93.
- [9] Rasev A.I., Kuryshov G.N., Chuchkov S.A., Lyashenko S.V. *Sposob sushki pilomaterialov* [The method of drying lumber]. Pat. 2027127 RF IPC F26B3. 04. applicant and patent holder MGUL, publ. 01/20/95, Bull. 35.

- [10] Kosarin A.A. *Tekhnologiya impul'snoy sushki pilomaterialov* [Pulse drying technology for lumber]. Diss ... Cand. Sci. Tech. Moscow: MGUL, 2012, 164 p.
- [11] Petyaykina E.G., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka brusa khvoynykh porod drevesiny* [Pulse drying of coniferous timber timber] Nauchnye trudy MSFU [Scientific works of Moscow State Forest University], 2014, iss. 370, pp. 61–66.
- [12] Samoylova E.A., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka krupnykh drevesnykh sortimentov (brus secheniem 150×150 mm)* [Pulse drying of large wood assortments (timber with a cross-section of 150 × 150 mm)] Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of Moscow State Forest University], 2016, iss. 381, pp. 67–70.
- [13] Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Raseva E.A. *Sposob impul'snoy sushki pilomaterialov* [The method of pulsed drying of lumber]. Pat. No. 2607923 of the Russian Federation. Applicant and patent holder of Moscow State Forest University, publ. January 11, 2017, bull. 2.
- [14] Kosarin A.A., Kuryshov G.N., Raseva E.A. *Sposob impul'snoy sushki pilomaterialov* [The method of pulsed drying of lumber]. Pat. No. 2615854 of the Russian Federation. Applicant and patent holder of Moscow State Forest University, publ. 12/01/2017, bull. 34.
- [15] Novichkov M.P., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka otsilindrovannogo brevna* [Pulse drying of logs] Tezisy dokladov. Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya MF MGTU im. Baumana N.E. Iyun' 2017 [Abstracts of reports. Scientific and Technical Conference of the Moscow State Technical University named after Bauman N.E.], June 2017. Krasnoyarsk: Research and Innovation Center, 2017, 244 p.
- [16] Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Kosarina A.A. *Sposob impul'snoy sushki* [Pulse drying method]. Pat. No. 2637288 RF. Applicant and patent holder Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Kosarina A.A., publ. 12/01/2017, bull. 34.
- [17] Ivanov D.A., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka okorenного brevna* [Pulse drying of barked logs] Sbornik tezisov dokladov. Vserossiyskaya studencheskaya konferentsiya «Studencheskaya nauchnaya vesna» [Abstracts of reports. All-Russian Student Conference «Student Scientific Spring»]. Moscow: Scientific Library Publishing House, 2018, 506 p.
- [18] Minina E.A., Chemodanov A.N. *Sovremennye problemy sushki lesomaterialov* [Modern problems of drying timber]. Science and Technology: A Step to the Future – 2016. Materials XII International Science-Practical Conference. «Moderní Vymoženosti Vědy – 2016», Praha, 22–30 yanvarya 2016 g. Praha: Publishing House «Education and Science», 2016, pp. 81–83.
- [19] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lan', 2010, 416 p.
- [20] Sergovskiy P.S. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1968, 448 p.

Authors' information

Galkin Vladimir Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch),

Kuryshov Grigoriy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kuryshov@mgul.ac.ru

Kosarin Anatoliy Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy Director «Forcklad», kosarin2008@yandex.ru

Moiseev Sergey Andreevich — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), d.dejanov@yandex.ru

Dejanov Dmitriy Igorevich — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), d.dejanov@yandex.ru

Received 29.12.2019.

Accepted for publication 23.01.2020.