



УДК 674.047.3

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-134-146

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ
ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ***Ш.Г. Зарипов¹, д-р техн. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2453>**В.А. Корниенко², канд. техн. наук, доц.;**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1709-9153>*

¹Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, ул. Победы, д. 29, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662543; e-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, просп. имени газеты «Красноярский рабочий», 31, стр. 5, Красноярск, Россия, 660012; e-mail: kornvlad@mail.ru

Конвективную сушку пиломатериалов следует рассматривать как относительно простой способ удаления влаги из древесины. Такие технологии широко используются при доведении влажности в пиломатериалах до определенного уровня. В то же время для указанного способа сушки характерна повышенная продолжительность процесса, что автоматически увеличивает расходы на тепловую и электрическую энергию. Продолжительность сушки пиломатериалов из древесины лиственницы в среднем в 1,5...2,5 раза выше по сравнению с другими породами, что дополнительно повышает себестоимость сушки. Поэтому есть необходимость поиска путей снижения продолжительности сушки лиственничных пиломатериалов в условиях конвективного теплообмена. Одним из путей решения указанной проблемы является разработка и применение таких режимов сушки, которые позволяли бы максимально ускорить процесс удаления влаги из древесины. Вариант совершенствования режимов предлагается финскими специалистами фирмы «Jartek Oy». Разработанная конструкция сушильной камеры позволяет реализовывать двухстадийную структуру режимов сушки: на первой стадии – с нарастающей температурой, на второй – с нисходящей. В данной работе приведены результаты анализа эксплуатации сушильных камер непрерывного действия с позонной циркуляцией для сушки пиломатериалов из древесины лиственницы. Анализ показал, что направление движения агента сушки по длине камеры при сушке лиственничных пиломатериалов имеет принципиальное значение. Такой вывод следует из того, что лиственница своеобразно реагирует на изменение температуры. В начальный период сушки на поверхности лиственничной доски формируется пленка из экстрактивных веществ, которая блокирует вывод водного раствора экстрактивных веществ из древесины. В этих условиях целесообразно формировать режимы, где температура агента сушки с каждым шагом штабеля пиломатериалов в сушильной камере повышается, что позволяет поддерживать некоторую интенсивность вывода из древесины водного раствора экстрактивных веществ. Указанное принципиальное условие при сушке лиственничных пиломатериалов соблюдается только в отсеке камеры, где осуществляется противоточная циркуляция. Второй отсек, где реализуется прямоточная циркуляция, практически работает вхолостую, так как температура агента сушки с каждым шагом сушильного штабеля пиломатериалов снижается. Из этого следует вывод о том, что подобные конструкции сушильных камер для сушки лиственничных пиломатериалов эксплуатировать нецелесообразно.

Для цитирования: Зарипов Ш.Г., Корниенко В.А. Влияние технологии сушки лиственничных пиломатериалов на длительность процесса обезвоживания // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 134–146. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-134-146

Ключевые слова: технология сушки, лиственничные пиломатериалы, циркуляция, температура, сушильная камера, водный раствор экстрактивных веществ.

Введение

Актуальность проблемы, обозначенной в названии работы, не вызывает сомнений. Данное утверждение основывается на следующих положениях. Известно, что сушка пиломатериалов характеризуется длительностью процесса, которая исчисляется от нескольких десятков до сотен часов. Нетрудно убедиться в том, что продолжительность сушки оказывает прямое влияние на расходы тепловой энергии. Поэтому разработка мероприятий, направленных на сокращение длительности процесса при сохранении качества продукции, является актуальной.

Для сушки пиломатериалов из древесины лиственницы данная проблема имеет особое значение. Это связано с тем, что длительность сушки лиственничных пиломатериалов в сопоставимых условиях по сравнению с сосновыми выше в 1,5–2,5 раза.

Для решения указанной проблемы разработаны и в настоящее время применяются с определенной эффективностью различные технологические режимы конвективной сушки. Наиболее распространенной является многоступенчатая структура режимов сушки. При ее реализации температурно-влажностные условия в сушильной камере изменяются по нарастающей жесткости испарения [7, 11, 12, 16, 18, 19] – температура в сушильной камере возрастает, относительная влажность – снижается.

В последние годы получила развитие двухэтапная технология сушки, которая предложена финскими специалистами (фирма «Jartek Oy») [9]. Реализуется данная технология в сушильных камерах непрерывного действия с позонной циркуляцией. Особенностью этой технологии является то, что в сушильной камере проходного типа осуществляются две схемы циркуляции сушильного агента – противоточная (первый этап) и прямоточная (второй этап).

В каждой зоне сушильной камеры реализуется многоступенчатая технология. На первом этапе выполняется общепринятая технология сушки в сушильных камерах непрерывного действия, при которой происходит постепенный переход на более жесткие режимы сушки. При реализации второго этапа наблюдается ступенчатое смягчение режимов сушки за счет перехода на прямоточную схему циркуляции сушильного агента.

По мнению разработчиков данной технологии, благодаря разделению процесса сушки на два этапа значительно уменьшается время сушки, а значит, увеличивается производительность туннеля [9]. Причем данное утверждение в одинаковой степени справедливо для сушки пиломатериалов основных видов хвойных пород древесины, включая лиственничные.

В специальной литературе практически нет данных по анализу эффективности предлагаемой двухэтапной технологии сушки лиственничных пиломатериалов. Однако при разработке технологии сушки таких пиломатериалов необходимо учитывать экстракцию водорастворимых веществ, которая имеет место при повышении температуры [3].

Процесс экстракции в древесине при сушке отмечается рядом российских ученых [5, 6]. В ходе изучения экологических проблем деревопереработки зарубежными специалистами указывалось на то, что при сушке древесины выделяется значительное количество веществ, которые загрязняют окружающую среду [13–15, 17, 20–22]. Однако сведений о влиянии экстракции веществ на процесс удаления влаги из древесины при сушке нет. В то же время влияние на процесс сушки экстрактивных веществ, которые скапливаются на поверхности лиственничных пиломатериалов в результате экстракции, значительно.

Поэтому есть необходимость проведения комплексного анализа влияния структуры режима сушки, которая реализуется в двухзонной сушильной камере финской фирмы «Jartek Oy». Цель данной работы – провести анализ технологической целесообразности применения двухэтапной технологии для сушки пиломатериалов из древесины лиственницы.

Объекты и методы исследования

Для изучения особенностей кинетики сушки пиломатериалов из древесины лиственницы в двухзонной сушильной камере авторы данной статьи провели специальные экспериментальные исследования, которые позволили получить ряд важных, на наш взгляд, закономерностей.

На рис. 1 приведены значения удельной скорости сушки древесины лиственницы (G_w) при осциллирующих температурных режимах сушки [3].

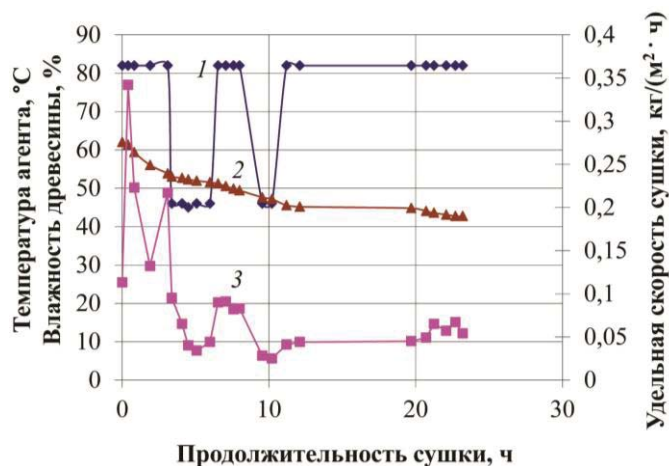


Рис. 1. Кинетика сушки древесины лиственницы сибирской: 1 – температура сушильного агента; 2 – влажность древесины; 3 – удельная скорость сушки

Fig. 1. Kinetics of drying Siberian larch wood: 1 – drying agent temperature; 2 – wood moisture content; 3 – specific drying rate

Сушка начинается с подъема температуры в сушильной установке до $t_c = 84$ °С, что позволяет довести удельную скорость сушки до $G_w = 0,22 \dots 0,35$ кг/(м²·ч). Снижение температуры агента сушки до $t_c = 43$ °С, как ожидалось, уменьшило удельную скорость сушки до $G_w = 0,04$ кг/(м²·ч), что в 5,5...8,8 раза ниже по сравнению с интенсивностью удаления воды в начале процесса при $t_c = 84$ °С.

Во втором цикле температура агента сушки, как и в первом, была доведена до $t_c = 84$ °С. Значение удельной скорости сушки не превысило $G_w = 0,094$ кг/(м²·ч), что в 2,3...3,7 раза ниже, чем в первом цикле. Уменьшение температуры до $t_c = 43$ °С понизило удельную скорость сушки до $G_w = 0,03$ кг/(м²·ч), что в 3,1 раза ниже по сравнению с первым периодом второго цикла.

В третьем цикле температура агента сушки была повышена также, как и в предыдущих двух циклах, до $t_c = 84$ °С. Значение удельной скорости сушки было зафиксировано на уровне $G_w = 0,045$ кг/(м²·ч), что в 4,9...7,8 раза ниже по сравнению с первым циклом и в 2,01 раза – со вторым. Дублирующие опытные сушки подтвердили описанную выше закономерность изменения удельной скорости сушки лиственничных пиломатериалов от температурного режима.

Следует обратить внимание на то, что все указанные изменения удельной скорости сушки происходят в течение 10 ч. За данный промежуток времени глубина просыхания заготовки не превышает 2...3 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ представленных на рис. 1 данных показал, что удельная скорость сушки древесины лиственницы G_w зависит от:

- температуры агента сушки;
- очередности изменения температуры.

Влияние температуры агента сушки на удельную скорость сушки древесины лиственницы. Результаты проведенного эксперимента (рис. 1) указывают на то, что влияние температуры на процесс вывода влаги из древесины лиственницы носит сложный и неоднозначный характер. Поэтому для более интенсивного удаления влаги из древесины при конвективной сушке недостаточно просто увеличить уровень температуры, важно учитывать реакцию древесины на ее изменение.

Анализ особенностей удаления влаги из древесины лиственницы низкотемпературными режимами позволил выдвинуть гипотезу о том, что влагоперенос целесообразно рассматривать как составную часть процесса массопереноса. Это значит, что влага из древесины лиственницы выводится в составе водного раствора экстрактивных веществ. Поэтому температуру агента сушки следует изучать как основной фактор, оказывающий влияние на массоперенос при сушке лиственничных пиломатериалов [3].

При этом древесина лиственницы представляется в виде системы микрополостей клеток. Значительная часть водорастворимых экстрактивных веществ зафиксирована в ранней древесине (рис. 2).

Полости клеток между собой сообщаются системой окаймленных пор. Встречаемость этих пор на единицу площади, как в радиальном, так и тангенциальном направлении практически равная (рис. 3). Наличие в окаймленных порах мембран (поз. 1) создает условия формирования избыточного давления в полости клетки. Источником избыточного давления является наличие парогазовой смеси, которая образуется в результате реакций гидролиза [4].

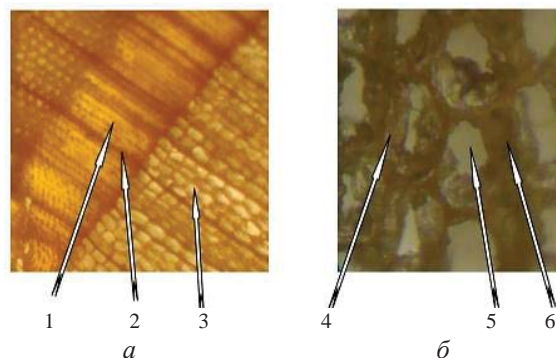


Рис. 2. Поперечный разрез древесины лиственницы сибирской под микроскопом: *a* – фрагмент годовичного слоя; *б* – фрагмент ранней древесины годовичного слоя; 1 – поздняя древесина; 2 – сердцевинный луч; 3 – ранняя древесина; 4 – наполнение полости клетки ранней древесины экстрактивными веществами; 5 – полость клетки ранней древесины; 6 – клеточная стенка

Fig. 2. Cross section of Siberian larch wood under a microscope: *a* – annual layer fragment; *б* – spring wood fragment; 1 – late wood; 2 – wood ray; 3 – early wood; 4 – filling the early wood cell cavity with extractive substances; 5 – early wood cell cavity; 6 – cell wall

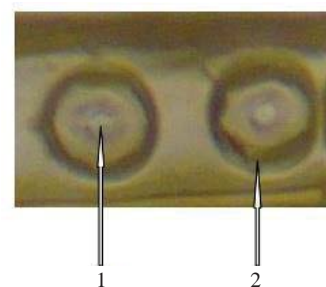


Рис. 3. Расположение межклеточных окаймленных пор древесины лиственницы сибирской: 1 – мембрана; 2 – окаймление

Fig. 3. Location of intercellular bordered pores of Siberian larch wood: 1 – membrane; 2 – bordering

Интенсивность протекания реакций гидролиза во многом зависит от температурного уровня, что предопределяет скорость вытеснения раствора из древесины через мембранную систему. Следовательно, массоперенос в древесине лиственницы следует рассматривать как один из видов баромембранного процесса (рис. 4) [10].

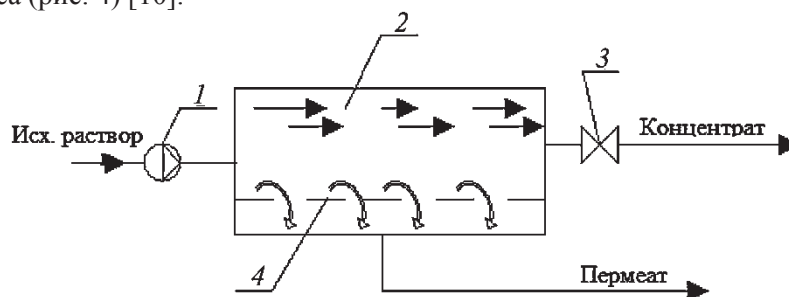


Рис. 4. Структурная схема массопереноса в древесине лиственницы сибирской при конвективной сушке пиломатериалов: 1 – нагнетательный насос (создает избыточное давление); 2 – мембранный аппарат (система межклеточных мембран древесины лиственницы); 3 – дроссель (контроль температуры древесины); 4 – система полупроницаемых (межклеточных) мембран

Fig. 4. Structural diagram of mass transfer in Siberian larch wood during convective drying of lumber: 1 – pressure pump (creates overpressure); 2 – membrane apparatus (system of intercellular membranes of larch wood); 3 – throttle (wood temperature control); 4 – a system of semipermeable (intercellular) membranes

Как показали результаты экспериментов, мембранная система древесины лиственницы не является тем фактором, по которому древесину лиственницы принято относить к категории трудносохнущих. Фактор, определяющий интенсивность удаления влаги из ее древесины, формируется в процессе сушки (см. рис. 1).

На начальном этапе сушки из древесины лиственницы вытесняется водный раствор экстрактивных веществ. Следующий этап удаления содержимого из высушиваемых пиломатериалов – массообменные процессы. С поверхности доски удаляются парогазовая смесь, а также жидкая фаза путем элементарного слива или испарения [2]. Кроме того, на поверхности доски скапливаются экстрактивные вещества в виде пермеата [3].

Следовательно, интенсивность вывода раствора экстрактивных веществ во многом устанавливается температурой древесины. С повышением температуры растет проницаемость мембраны, что приводит к увеличению интенсивности вывода водного раствора экстрактивных веществ из древесины. В результате на поверхности доски за сравнительно короткий промежуток времени (5...60 ч) образуется слой пермеата [3]. В течение 5 ч слой пермеата формируется, если в начальный период температура древесины достигает 80 °С и выше (см. рис. 1). Если в начальный период сушки температурный уровень древесины составляет 44...46 °С, то время формирования слоя пермеата увеличится до 60 ч (рис. 5, график 3).

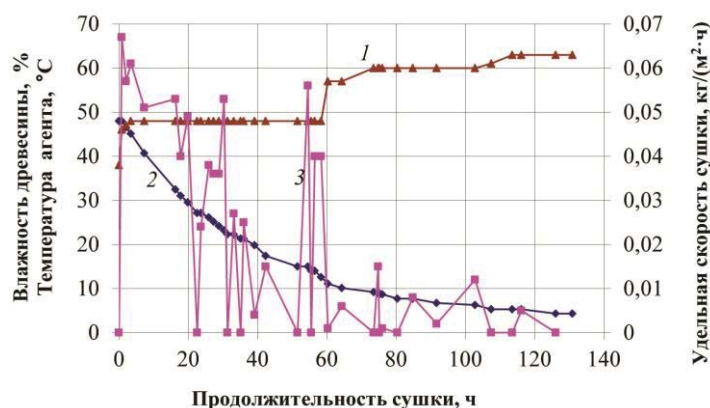


Рис. 5. Кинетика процесса сушки лиственничных пиломатериалов сечением 25×100 мм: 1 – температура сушильного агента; 2 – влажность древесины; 3 – удельная скорость сушки

Fig. 5. Drying kinetics of larch lumber with a cross section of 25×100 mm: 1 – drying agent temperature; 2 – wood moisture content; 3 – specific drying rate

Ввиду того, что полученный слой пермеата обладает полиэлектролитными свойствами, наблюдается значительное его набухание [8] – на поверхности доски формируются полости, в которых скапливается вода. Важной особенностью полученного слоя является то, что он чувствителен к изменению внешних условий (температуры, давления) [8].

Изменение любого из указанных параметров приводит к скачкообразному уплотнению экстрактивных веществ, находящихся на поверхности

доски, – полости лопаются, вода из полостей выводится на поверхность слоя. В результате образующаяся полимерная пленка [8] перекрывает каналы вывода водного раствора экстрактивных веществ.

На графике 3 рис. 5 наблюдается скачкообразное снижение интенсивности удаления влаги из древесины – в 4–5 раз. Следовательно, образование полимерной пленки является основным фактором, посредством которого устанавливается проницаемость системы и, как следствие, скорость удаления водного раствора из древесины лиственницы.

На факт скачкообразного снижения проницаемости высушиваемой системы указывают результаты еще одного эксперимента, которые представлены на рис. 6 [3]. При измерении давления в центре лиственничной доски было установлено, что в самом начале процесса удаления влаги оно не превышало 10...20 кПа. Аналогичные данные были получены и при проведении опытных сушек досок из сосны. Такие данные указывают на то, что природная проницаемость древесины лиственницы срабатывает при избыточном давлении $p_{изб} = 10...20$ кПа.

Образование полимерной пленки на поверхности доски способствует увеличению избыточного давления в ее центре. Избыточное давление растет скачкообразно до определенного значения, которое соответствует некоторому температурному уровню. Повышение температуры нагрева древесины приводит к образованию новых порций парогазовой смеси [4], в результате чего избыточное давление возрастает.

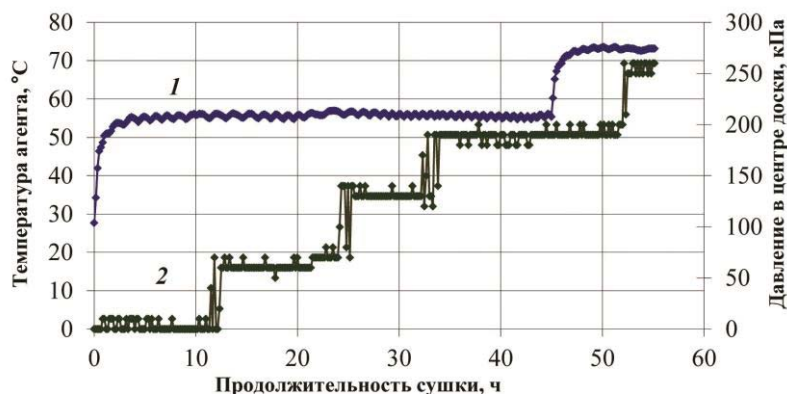


Рис. 6. Температура агента сушки t_c (1) и избыточное давление в центре доски $p_{ц}$ (2) в зависимости от продолжительности сушки (в начальный период сушки $t_c = 55$ °C)

Fig. 6. Drying agent temperature t_c (1) and overpressure in the center of the board $p_{ц}$ (2) depending on the drying time (in the initial drying period t_c is 55 °C)

Впервые сдерживающий эффект образовавшейся в процессе сушки полимерной пленки был описан в монографии [11, с. 90]: «...при средней скорости снижения влажности древесины 6,5 % в сутки в течение первых двух суток влажность снижалась до 20 %. Затем скорость сушки понижалась и при влажности древесины ниже 25 % составляла 2...3 % в сутки. За первые пять суток влажность пиломатериалов снизилась на 55 %, а за последние шесть суток – только на 16 %».

Как показали результаты специальных исследований, в процессе дальнейшей сушки блокирование вывода влаги из древесины лиственницы только возрастает (рис. 6). Поэтому для частичного восполнения понижения проницаемости системы требуется постоянное повышение температуры агента сушки.

Из вышеказанного следует основополагающий вывод о том, что технология сушки лиственничных пиломатериалов должна предусматривать ступенчатое повышение температурного режима, начиная от $t_c \cong 42...44$ °C [3]. Такие режимы позволяют поддерживать в полостях клеток избыточное давление, что способствует проведению эффективного вывода из древесины лиственницы экстрактивных веществ и влаги.

Анализ времени сушки пиломатериалов из древесины лиственницы в сушильных камерах непрерывного действия с позонной циркуляцией. Сушильные штабеля, последовательно проходя по сушильной камере непрерывного действия (рис. 7), подвергаются различным температурно-влажностным воздействиям. Для анализа изменения температурно-влажностных условий воспользуемся уравнением расчета теплосодержания в сушильной камере [1]:

$$I_{\text{вх}} \cong I_{\text{вых}} = i_{\text{сух}} + i_{\text{вл}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{вх}}$, $I_{\text{вых}}$ – теплосодержание соответственно на входе в штабель (штабеля) и на выходе из него (них); $i_{\text{сух}}$, $i_{\text{вл}}$ – соответственно сухая и влажная составляющие теплосодержания.

Такой подход основывается на следующих постулатах. При прохождении через штабеля теплосодержание агента сушки остается практически без изменения. В то же время наблюдается перераспределение тепловой энергии. Значительная часть тепловой энергии расходуется на испарение влаги с поверхности пиломатериалов. По мере увеличения времени контакта с влажной поверхностью происходит снижение температуры агента сушки [1]:

$$t_i = \frac{I_i - 2,49 d_i}{1,0 + 0,00193 d_i}, \quad (2)$$

где t_i – температура агента сушки в i -й точке сушильной камеры; I_i – теплосодержание в i -й точке сушильной камеры; d_i – текущее значение влагосодержания в i -й точке сушильной камеры.

Следовательно, температура в «сыром» конце сушильной камеры или отсека зависит как от температуры агента сушки на входе в штабель, так и от его насыщенности влагой. В свою очередь, процесс насыщения зависит от скорости циркуляции агента сушки по поверхности пиломатериалов и наличия влаги на поверхности. Изучение влияния скорости циркуляции агента сушки на процесс насыщения является предметом специального изучения.

В сушильной камере непрерывного действия с позонной циркуляцией выделяется две зоны [9]: первая – противоточная, вторая – прямоточная (рис. 7).

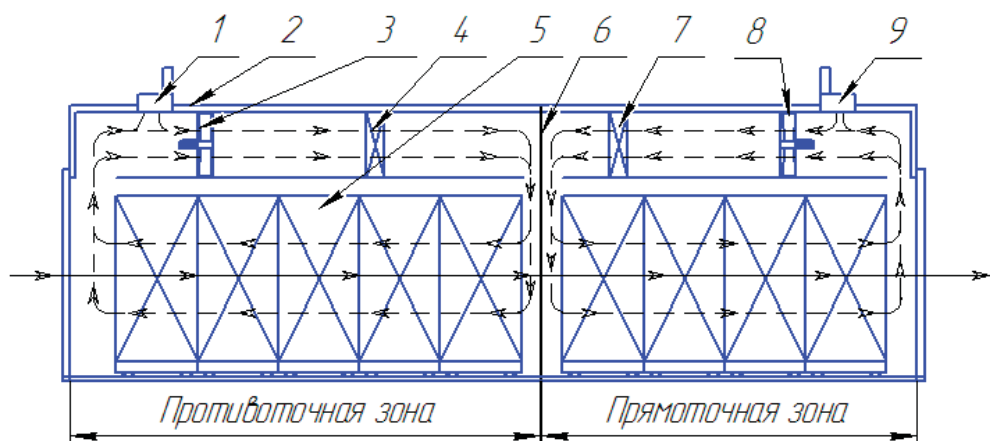


Рис. 7. Принципиальная схема функционирования двухстадийной сушильной камеры проходного типа: 1, 9 – рекуператор; 2 – сушильная камера; 3, 8 – вентиляторный узел; 4, 7 – калорифер; 5 – штабель пиломатериалов; 6 – внутрикамерные ворота

Fig. 7. Layout diagram of the operation of a two-stage throughfeed drying kiln: 1, 9 – recuperator; 2 – drying kiln; 3, 8 – ventilation unit; 4, 7 – calorifier; 5 – lumber pile; 6 – intra-kiln gates

В противоточном варианте сушильной камеры предусматривается движение агента сушки против перемещения сушильных штабелей по отсеку – от «сухого» конца к «сырому». Перед подачей в штабеля пиломатериалов паровоздушная смесь предварительно проходит двухэтапное осушение.

Первый этап осушения осуществляется перед вентиляторным узлом (рис. 7, поз. 3), где смешиваются два потока воздуха: один поток – увлажненный нагретый (после прохождения по сушильным штабелям), а второй поток – сухой с пониженной температурой (подача с «улицы»). Второй этап осушения реализуется непосредственно в калорифере (рис. 7, поз. 4), где повышается температура парогазовой смеси без влагообмена, что приводит к снижению ее относительной влажности.

Таким образом, подсушенный и с повышенной температурой агент сушки направляется в штабеля пиломатериалов (рис. 7, поз. 5). Данная циркуляция агента сушки позволяет выполнить одно из основных условий – сохранение целостности пиломатериалов, а также эффективное удаление влаги.

Схематично изменение влажности в лиственных пиломатериалах и температуры агента сушки по длине каждой стадии показано на рис. 8. Изменение влажности и температуры в первой зоне сушильной камеры следует рассматривать в виде двух периодов. Деление на периоды связано с образованием на поверхности пиломатериалов полимерной пленки. Образование полимерной пленки приводит к резкому уменьшению интенсивности вывода влаги из древесины (точка перегиба 1 на рис. 8), что автоматически приводит к снижению влагосодержания.

Из уравнения (2) следует, что снижение влагосодержания приводит к повышению температуры агента сушки (точка перегиба 2 на рис. 8).

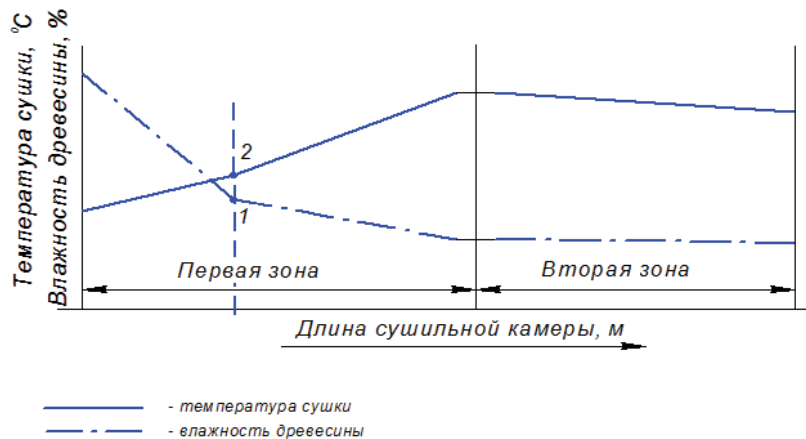


Рис. 8. Изменение основных параметров процесса сушки по длине сушильной камеры: температуры агента сушки и средней влажности пиломатериалов

Fig. 8. Change in the main parameters of drying along the length of the drying kiln: drying agent temperature and average lumber humidity

Во второй зоне сушильной камеры процесс удаления воды из пиломатериалов производится на фоне наличия на поверхности доски полимерной пленки. При этом реализуется прямоточная схема циркуляции агента сушки (см. рис. 7).

Прохождение агента сушки по штабелям выстроено таким образом, что температура на входе в указанную зону имеет максимальное значение. Перед подачей в сушильное пространство агент сушки, как и при реализации первого этапа, подвергается двухстадийному осушению – при смешивании с сухим, но охлажденным воздухом, а также при продвижении через калориферный узел (см. рис. 7, поз. 7) за счет увеличения теплосодержания без влагообмена. По мере прохождения по штабелям температура агента сушки снижается.

Уменьшение температуры древесины приводит к приостановке образования в древесине парогазовой смеси, что автоматически влечет понижение удельной скорости сушки (см. рис. 1). Следовательно, эффективность сушки листовых пиломатериалов во второй зоне камеры близка к нулевому значению.

Таким образом, при наличии на поверхности доски блокирующей вывод раствора полимерной пленки целесообразно не уменьшать температуру, а увеличивать, что и осуществляется в традиционных конструкциях противоточных сушильных камер непрерывного действия. Поэтому ожидать от двухзонной конструкции сушильной камеры более высокой производительности по сравнению с традиционной не следует.

Выводы

1. Предлагаемая финскими учеными конструкция сушильной камеры непрерывного действия с позонной циркуляцией, где в одной зоне осуществляется противоточная циркуляция, а в другой – прямоточная, малоэффективна для сушки пиломатериалов из древесины лиственницы.

2. Низкая эффективность сушильных камер с позонной циркуляцией для сушки листовых пиломатериалов объясняется тем, что при эксплуатации сушильного оборудования не учитываются особенности протекания процессов в таких пиломатериалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Акишенков С.И., Корнеев В.И. Проектирование лесосушильных камер и цехов. 3-е изд., перераб и доп. СПб.: ЛТА, 1992. 87 с. [Akishenkov S.I., Korneev V.I. *Designing Wood Drying Kilns and Workshops*. Saint Petersburg, LTA Publ., 1992. 87 p.]
2. Голицын В.П., Голицына Н.В. Сравнительная оценка энергозатрат на сушку пиломатериала в сушильном оборудовании различного типа и способа сушки // Лесн. эксперт. 2004. № 16. С. 18–25. [Golitsyn V.P., Golitsyna N.V. Comparative Assessment of Energy Consumption for Drying Lumber in the Equipment of Various Types and Methods of Drying. *Lesnoy ekspert*, 2004, no. 16, pp. 18–25].
3. Зарипов Ш.Г. Совершенствование технологии сушки листовых пиломатериалов: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 243 с. [Zaripov Sh.G. *Improving the Technology of Larch Lumber Drying*: Dr. Eng. Sci. Diss. Arkhangelsk, 2016. 243 p.]
4. Зарипов Ш.Г., Корниенко В.А. Гидролиз при конвективной сушке листовых пиломатериалов низкотемпературными режимами // Хвойные бореальной зоны. 2018. № 6. С. 542–547. [Zaripov Sh.G., Korniyenko V.A. Hydrolysis of Larch Lumber under Low-Temperature Modes during Convective Drying. *Hvoynye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2018, no. 6, pp. 542–547].
5. Михайлова Ю.С. Оценка содержания фурфурола в отработанном агенте сушки после предварительной термохимической обработки древесины бука и дуба // Лесотехн. журн. 2011. № 3. С. 24–27. [Mikhaylova Yu.S. Estimation of Furfural Content in Spent Drying Agent after Preliminary Thermochemical Processing of Beech and Oak Wood. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 3, pp. 24–27].
6. Михайлова Ю.С., Платонов А.Д. Исследование воздействия фурфурола и формальдегида на окружающую среду при сушке древесины бука и дуба // Науч. журн. КубГАУ. 2011. № 70(06). С. 306–317. [Mikhaylova Yu.S., Platonov A.D. Investigation of Furfural and Formaldehyde Influence on Environment during Drying of Beech and Oak Wood. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubSAU], 2011, no. 70(06), pp. 306–317].
7. Руководящие материалы по технологии камерной сушки древесины / под ред. Е.С. Богданова. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. 152 с. [*Guiding Materials on the Technology of Wood Kiln Drying*. Ed. by E.S. Bogdanov. Arkhangelsk, TsNIIMOD Publ., 1985. 152 p.]
8. Филиппова О.Е. «Умные» полимерные гидрогели // Природа. 2005. № 8. С. 11–17. [Filippova O.E. “Smart” Polymeric Hydrogels. *Priroda*, 2005, no. 8, pp. 11–17].
9. Финская компания Tekmawood. URL: <http://www.758.wood.ru/> [*Finnish Company Tekmawood*].
10. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. М.: Химия, 1981. 464 с. [Hwang S.T., Kammermeyer K. *Membranes in Separations*. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 464 p.]
11. Чудинов Б.С., Тюриков Ф.Т., Зубань П.Е. Древесина лиственницы и ее обработка. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 144 с. [Chudinov B.S., Tyurikov F.T., Zuban' P.E. *Larch Wood and Its Processing*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965. 144 p.]
12. *Air Drying of Lumber*. General Technical Report FPL–GTR–117. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 62 p. DOI: [10.2737/FPL-GTR-117](https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-117)

13. Beakler B.W., Blankenhorn P.R., Brown N.R., Scholl M.S., Stover L.R. Quantification of the VOCs Released during Kiln-Drying Red Oak and White Oak Lumber. *Forest Products Journal*, 2007, vol. 57, iss. 11, pp. 27–32.

14. Beakler B.W., Blankenhorn P.R., Stover L.R., Ray C.D. Total Organic Compounds Released during Dehumidification of Air-Dried Hardwood Lumber. *Forest Products Journal*, 2005, vol. 55, iss. 2, pp. 57–61.

15. Bergman R.D., Bowe S.A. The Environmental Impact of Manufacturing Softwood Lumber in Northeastern and North Central Parts United States. *Wood Fiber Science*, 2010, vol. 42, suppl. 1, pp. 67–78.

16. Bois P.J. The Four Stages of Drying Thick Oak. *Lumber Drying Sourcebook: 40 Years of Practical Experience*. Ed. by E.M. Wengert, R. Toennisson. Madison, WI, Forest Products Society, 1998. 371 p.

17. Dahlen J., Prewitt L., Shmulsky R., Jones D. Hazardous Air Pollutants and Volatile Organic Compounds Emitted during Kiln Drying of Southern Pine Lumber to Interior and Export Moisture Specifications. *Forest Products Journal*, 2011, vol. 61, iss. 3, pp. 229–234. DOI: [10.13073/0015-7473-61.3.229](https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.3.229)

18. *Lumber Drying Sourcebook: 40 Years of Practical Experience*. Ed. by E.M. Wengert, R. Toennisson. Madison, WI, Forest Products Society, 1998. 371 p.

19. McMillen J.M. *Accelerated Kiln Drying of Presurface 1-Inch Northern Red Oak*. Research Paper FPL–RP–122. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1969. 31 p.

20. Milota M., Mosher P. Emissions of Hazardous Air Pollutants from Lumber Drying. *Forest Products Journal*, 2008, vol. 58, no. 7/8, pp. 50–55.

21. Thompson A., Ingram Jr. L.L. Variation of Terpenes in Sapwood and Heartwood of Loblolly Pine: Impact on VOC Emissions from Drying Lumber Samples. *Forest Products Journal*, 2006, vol. 56(9), pp. 80–83.

22. Wengert E.M. *Drying Oak Lumber*. Madison, WI, University of Wisconsin, Department of Forestry, 1990. 167 p.

THE INFLUENCE OF LARCH LUMBER DRYING TECHNOLOGY ON THE DURATION OF DEHYDRATION

*Sh.G. Zaripov*¹, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2453>

*V.A. Kornienko*², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1709-9153>

¹Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ul. Pobedy, 29, Lesosibirsk, Krasnoyarsk Krai, 662543, Russian Federation; e-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. imeni gazety «Krasnoyarskiy rabochiy», 31, str. 5, Krasnoyarsk, 660012, Russian Federation; e-mail: kornvlad@mail.ru

Convective drying of lumber should be considered as a relatively simple method of elimination moisture from wood. Such technologies are widely used in bringing moisture content in lumber to a certain level. Meanwhile, this drying method is characterized by an increased duration of the process, which automatically increases the expenses for thermal and electrical energy. The drying time of larch lumber is on average higher by 1.5–2.5 times compared to other species, which further increases the cost of drying. Therefore, there is a necessity of finding ways to solve the problem of reducing the drying time of larch lumber in the conditions of convective heat exchange. One of the ways is to develop and apply such drying schedules, which would allow to accelerate the process of wood dehydration. The option of improvement the drying schedules is offered by the Finnish experts of Jartek Oy company.

The developed design of the drying kiln allows to implement a two-stage structure of drying schedules: at the first stage with increasing temperature, at the second with decreasing temperature. This paper presents the results of the analysis of the operation of continuous drying kilns with zonal circulation for larch lumber drying. The analysis showed that the direction of drying agent movement along the length of the kiln during larch lumber drying is critical. This conclusion follows from the fact that larch responses in a peculiar way to temperature variations. In the initial period of drying a film of extractives is formed on the surface of the larch board. This film blocks the output of an aqueous solution of extractives from wood. In these circumstances, it is advisable to form such schedules that the drying agent temperature with each step of a lumber pile in the drying kiln increases. The specified principle condition for drying larch lumber is observed only in the kiln section, where counter-flow circulation is carried out. The second section, where the direct-flow circulation is implemented, practically runs idle, since the drying agent temperature with each step of the drying pile of lumber decreases. It follows that such designs of kilns for larch lumber drying is impractical for operation.

For citation: Zaripov Sh.G., Kornienko V.A. The Influence of Larch Lumber Drying Technology on the Duration of Dehydration. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 4, pp. 134–146. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-134-146

Keywords: drying technology, larch lumber, circulation, temperature, drying kiln, aqueous solution of extractives.

Поступила 28.10.19 / Received on October 28, 2019
