

Научная статья

УДК 674.047.3

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-166-174

Экологические особенности конвективной сушки пиломатериалов

Ш.Г. Зарипов^{1✉}, *д-р техн. наук, доц., проф.*; *ResearcherID: [KBO-8803-2024](https://orcid.org/0000-0001-6483-2453)*,

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

Ю.С. Пунтусова², *преподаватель*; *ResearcherID: [IQW-0187-2023](https://orcid.org/0009-0002-0287-7490)*,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0287-7490>

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

²Лесосибирский технологический техникум, ул. Просвещения, д. 34, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662548; puntusova@list.ru

Поступила в редакцию 30.10.23 / Одобрена после рецензирования 01.02.24 / Принята к печати 04.02.24

Аннотация. Сушка пиломатериалов – это обязательная технологическая операция при производстве изделий, в процессе которой древесине придается стабильность формы и размеров при эксплуатации и/или повышается биостойкость при транспортировке. Камерная сушка осуществляется при повышенных температурах, что предопределяет перевод древесины в химически активное состояние. В результате реализуется 1-й этап экстракции – выделение на поверхность доски комплекса веществ в твердом, жидком и газообразном состояниях. При всем разнообразии веществ, которые накапливаются при росте в каждой древесной породе, можно выделить общие для всех, выделяемые при сушке, – фенол и формальдегид. Они относятся ко II классу опасности для человека. В специальной литературе данному вопросу уделяется неоправданно мало внимания. Проблема усложняется тем, что значительная часть производственных мощностей по сушке древесины в настоящее время располагается в городской черте. Поэтому весь спектр веществ, которые выделяются из высушиваемой древесины, концентрируется в жилом массиве, оказывая негативное влияние на человека. Цель исследования – установить степень воздействия на окружающую среду веществ, выделяемых из древесины при сушке. Приведенный в статье перечень веществ, которые выделяются при конвективной сушке из древесины лиственницы и сосны, а также данные по количеству этих веществ указывают на наличие проблемы по загрязнению окружающей среды. В России весь объем пиломатериалов для производства изделий высушивается сушильными установками, у которых отсутствуют приспособления, нейтрализующие загрязняющие вещества. Следовательно, вредные вещества, выделяющиеся из высушиваемой древесины, накапливаются как на территории деревообрабатывающих предприятий, так и в жилом массиве. Из сказанного вытекает вывод о том, что сушка пиломатериалов низкотемпературными режимами не может относиться к экологически чистым видам производств. Данная проблема требует более детального изучения, которое позволит разработать комплекс мероприятий для снижения негативного влияния конвективной сушки пиломатериалов на окружающую среду.

Ключевые слова: экология, химические вещества, сушка древесины, фенолы, формальдегид

Для цитирования: Зарипов Ш.Г., Пунтусова Ю.С. Экологические особенности конвективной сушки пиломатериалов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 3. С. 166–174. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-166-174>

Original article

Environmental Features of Convective Lumber Drying

Shakur G. Zaripov¹✉, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [KBO-8803-2024](https://orcid.org/0000-0001-6483-2453),

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

Yulia S. Puntusova², Lecturer; ResearcherID: [IQW-0187-2023](https://orcid.org/0009-0002-0287-7490),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0287-7490>

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

²Lesosibirsk Technological College, ul. Prosveshcheniya, 34, Lesosibirsk, Krasnoyarsk Territory, 662548, Russian Federation; puntusova@list.ru

Received on October 30, 2023 / Approved after reviewing on February 1, 2024 / Accepted on February 4, 2024

Abstract. Lumber drying is a mandatory technological operation that gives wood the properties necessary for the production of items, during which the wood is given shape and size stability during operation and/or increases biostability during transportation. Chamber drying is carried out at elevated temperatures, which predetermines the transfer of wood to a chemically active state. As a result, the first stage of extraction is realized – the release of a complex of substances in a solid, liquid and gaseous states onto the surface of the board. With all the variety of substances that accumulate during the growth process in each tree species, phenol and formaldehyde, which are common to all, are released during drying. They belong to class II hazard to humans. In the specialized literature, this issue is given unjustifiably little attention. The problem is complicated by the fact that a significant part of the wood drying production capacity is currently located within the urban area. Therefore, the entire spectrum of substances that are released from the dried wood is concentrated in the residential area, having a negative impact on humans. The aim of the research is to determine the degree of environmental impact of substances released from wood during drying. The list of substances that are released during convective drying from larch and pine wood, as well as data on the amount of these substances, which are given in the article, indicate the presence of an environmental pollution problem. In Russia, the entire volume of lumber for the production of products is dried in drying plants that do not have devices that neutralize pollutants. Consequently, harmful substances released from dried wood accumulate both on the territory of wood processing enterprises and in residential areas. From the above, it follows that drying lumber using low-temperature conditions cannot be considered an environmentally friendly type of production. This problem requires a more detailed study, which will allow us to develop a set of measures to reduce the negative impact of convective lumber drying on the environment.

Keywords: ecology, chemical substances, wood drying, phenols, formaldehyde

For citation: Zaripov Sh.G., Puntusova Yu.S. Environmental Features of Convective Lumber Drying. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 3, pp. 166–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-166-174>

Введение

Сушка древесины – это неотъемлемая часть технологического процесса при производстве изделия из дерева [12]. Практика обезвоживания древесины указала на то, что конвективная сушка существенно влияет на окружающую среду, как непосредственно, так и опосредованно. Под непосредственным воздействием следует понимать экстракцию веществ различного вида, негативно влияющих на окружающую среду. К указанной группе веществ относятся фенол и формальдегид [3, 5]. Опосредованное воздействие выражается в выделении тепловой энергии при сжигании отходов основного производства древесины. Каждый вид воздействия является важным и требует изучения.

Если на процесс сжигания древесины как источника тепловой энергии обращается пристальное внимание с позиции экологического воздействия на окружающую среду [8], то влияние сушки исследовано недостаточно. До настоящего времени этот процесс представлялся экологически безопасным, т. к. считалось, что при сушке из древесины выделяются только влага и воздух [3, 12]. Однако с обезвоживанием древесины в атмосферу попадает большой объем парогазовой смеси, химический состав которой необходимо изучать на предмет воздействия на окружающую среду. Проведенные научные изыскания в этой области указывают на более широкий спектр веществ, выделяющихся при сушке [3, 7, 9, 10, 15], чем это общепризнано. Причем процесс выделения веществ отличается как по их разнообразию, так и по массе в зависимости от породы древесины и режимов сушки. Поэтому каждое деревообрабатывающее предприятие является источником веществ, которые могут оказывать воздействие на окружающую среду [4, 6, 11, 13, 18, 19]. Все это говорит о важности изучения вопроса выбросов деревоперерабатывающих предприятий, деятельность которых связана с сушкой древесины.

Цель – установить степень воздействия на окружающую среду веществ, выделяющихся из древесины при сушке.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования выступали пиломатериалы древесины лиственницы и сосны. Опытные сушки позволили установить факт выделения экстрактивных веществ из древесины лиственницы и сосны путем вытеснения парогазовой смесью, которая образуется в пиломатериалах при нагреве.

Определение содержания химических соединений в конденсате парогазовой смеси осуществлялось по стандартным методикам, включая ГОСТ Р 55227–2012, в лаборатории очистных сооружений промышленного предприятия.

Анализ проведенных опытных сушек лиственничных и сосновых пиломатериалов позволил сформулировать основные положения закономерности вытеснения экстрактивных веществ, которые легли в основу работы [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Качественная оценка веществ, выделяемых из древесины при сушке. Данный вопрос очень многогранен. Древесные породы различаются по элементному составу незначительно. Они в среднем содержат 50 % углерода,

43 % кислорода и 6 % водорода. Остальная часть – азот, входящий в состав белков (0,1...0,3 %), и неорганические элементы, образующие при сжигании золу [14, 16].

В процессе роста дерева перечисленные химические элементы формируют различные соединения. Так, экстрактивные вещества древесины хвойных пород представлены в виде терпенов и терпеноидов, жиров, восков и их составляющих, фенольных соединений и др. В лиственных породах присутствуют терпены и терпеноиды, жиры и воски, а также их составляющие – фенолы, лигнаны, хиноны, таниды, флавоноиды и другие соединения [20].

В работе [2], посвященной изучению технологии конвективной сушки лиственных пиломатериалов, сделан вывод о том, что конвективная сушка является одной из разновидностей экстракции. Для такого утверждения есть все основания. Первое, на что было обращено внимание, это аналогичность режимов процессов экстракции и сушки. Даже при незначительном увеличении температуры сушки наблюдается повышение массы выделяемых из древесины лиственницы веществ. Вторым важным фактом – это физическое состояние веществ, которые выделяются из высушиваемой древесины: твердое, жидкое и газообразное [1, 3]. Под воздействием парогазовой смеси на поверхность древесины вытесняется водный раствор экстрактивных веществ [17]. В начальный, интенсивный период сушки водный раствор делится на 3 составляющие. Для лиственницы характерно наличие парогазовой смеси, химический состав которой определялся методом ИК-спектроскопии, после сушки при температуре 84 °С. Более подробные данные приведены в работе [3].

Всего в парогазовой смеси было установлено порядка 139 структурных единиц, включая воду в газообразном и жидком состояниях. В последней содержатся соединения, перечисленные в работе [3]. После удаления газообразной и жидкой составляющих на поверхности остается твердая часть экстрактивных веществ. При сушке лиственницы твердая часть формируется из водорастворимых веществ: арабиногалактана и дигидрокверцетина [3, 20].

Подобные результаты были получены и при сушке пиломатериалов таких лиственных пород, как дуб и бук. При анализе отработанного агента сушки были обнаружены фурфурол и формальдегид [7, 11, 19, 20].

Приведенный материал указывает на то, что при сушке наблюдается вытеснение экстрактивных веществ [3]. Данный процесс происходит независимо от способа сушки и применяемых режимов. Они лишь позволяют корректировать интенсивность процессов, т. е. количество веществ, которое выводится из древесины за единицу времени. При этом для каждой породы древесины свойственен свой спектр синтезируемых в процессе роста веществ [3].

Для оценки экологической нагрузки на окружающую среду при конвективной сушке целесообразно дать характеристику основным компонентам водного раствора экстрактивных веществ для 2 достаточно распространенных пород древесины: лиственницы [3] и сосны (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика конденсата, полученного при сушке древесины сосны
The characteristics of the condensate obtained
from drying pine wood

| Показатель | Температура сушки, °С | |
|--|-----------------------|-------|
| | 45,0 | 51,8 |
| Формальдегид*, мг/дм ³ | 0,56 | 0,60 |
| Фенолы*, мг/дм ³ | 0,135 | 0,200 |
| Хлорид-ион, мг/дм ³ | 8,5 | 8,6 |
| Сульфаты, мг/дм ³ | 1,3 | 1,4 |
| Нитрит-ион, мг/дм ³ | 0,03 | <0,01 |
| Аммоний-ион, мг/дм ³ * | 12 | 31 |
| Химическое потребление кислорода, мг/дм ³ | 777,6 | 466,6 |
| Нитрат-ион, мг/дм ³ | 0,540 | 1,076 |
| Взвешенные вещества, мг/дм ³ | 9 | 1 |
| рН | 5 | 5 |
| Общий азот, мг/дм ³ | 9,43 | 24,30 |

*Получено с учетом разбавления пробы.

Представленные в табл. 1 и работе [3] соединения условно можно разделить на 3 группы: сильно загрязняющие, умеренно загрязняющие и безвредные. К сильно загрязняющей группе относятся формальдегид, фенол, ион аммония, а также химическое потребление кислорода. Группу умеренно загрязняющих формируют нитрит-ион, нитрат-ион и сульфаты. В группу веществ, не оказывающих вредного воздействия, входят хлориды [2, 3].

Количественная оценка веществ, выделяемых из древесины при сушке. Ввиду того, что сушка древесины в подавляющем большинстве случаев проводится при температуре >30 °С, целесообразно рассмотреть количественную сторону вопроса при указанных условиях.

Определенное деревообрабатывающее предприятие имеет производственную мощность по объему перерабатываемой древесины. Для расчета общей массы сильных загрязнителей, которые выделяются из древесины таких пород, как сосна и лиственница, воспользуемся данными табл. 1, 2. При сушке из 1 м³ древесины выводится порядка 200...250 л воды. Тогда масса веществ группы сильных загрязнителей, которые выделяются из древесины объемом 1 м³, составит в 200...250 раз больше (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика конденсата, полученного за один цикл сушки
древесины сосны и лиственницы**

**The characteristics of the condensate obtained
during one cycle of pine and larch wood drying**

| Показатель | Температура сушки, °С | |
|---|-----------------------|-------------------|
| | 45 | 51,8 |
| | (для сосны) | (для лиственницы) |
| Формальдегид, мг/дм ³ | 112 | 24 |
| Фенолы, мг/дм ³ | 27 | 12 |
| Хлорид-ион, мг/дм ³ | 1700 | 400 |
| Сульфаты, мг/дм ³ | 260 | 2000 |
| Нитрит-ион, мг/дм ³ | 6 | 6 |
| Аммоний-ион, мг/дм ³ | 2400 | 1800 |
| Химическое потребление кислорода, мг/дм ³ | 155 520 | 22 000 |
| Нитрат-ион, мг/дм ³ | 108 | 0 |
| рН | 5,0 | 4,8 |

Из табл. 2 следует вывод о том, что выделяемая масса высокотоксичных веществ способна создавать концентрации, которые превышают предельно допустимые. Это связано с конструктивной особенностью сушильных камер. В подавляющем большинстве сушильные установки для пиломатериалов оснащены приточно-вытяжными каналами, высота которых над уровнем пола сушильной камеры не превышает 6...8 м. При этом приточно-вытяжные каналы не имеют фильтров.

Следовательно, создаются условия накопления в значительных количествах высокотоксичных веществ как непосредственно на территории цеха сушки и пакетирования, так и на предприятии не ниже II класса опасности.

Выводы

1. Конвективная сушка пиломатериалов сопровождается выделением разнообразных химических веществ, включая фенол, формальдегид, нитриты, аммоний-ион и другие, концентрация которых во многом зависит от породы высушиваемой древесины, режимов сушки и производственной мощности сушильного цеха. Поэтому один из основных вопросов, который требует решения, это место размещения деревообрабатывающих предприятий, в технологический процесс которых входит конвективная сушка.

2. Внушительное количество выделяемых из древесины при сушке высокотоксичных веществ определяет необходимость разработки мероприятий по сбору и утилизации этих веществ.

3. Конвективную технологию сушки пиломатериалов следует отнести к группе технологий не ниже II класса опасности для человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. 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. (In Russ.).

2. Дубина А.В., Марицль В.Н. Фотокаталитическая очистка сточных вод от формальдегида // Тр. БГТУ. Химия, технология орган. веществ и биотехнология. 2015. № 4(177). С. 283–287.

Dubina A.V., Martsul V.N. Photocatalytic Wastewater Treatment from Formaldehyde. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* = Proceedings of BSTU. Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, 2015, no. 4(177), pp. 283–287. (In Russ.).

3. Зарипов Ш.Г. Совершенствование технологии сушки лиственничных пиломатериалов: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 243 с.

Zaripov Sh.G. *Improving the Technology of Larch Lumber Drying*: Doc. Eng. Sci. Diss. Arkhangelsk, 2016. 243 p. (In Russ.).

4. Зарипов Ш.Г., Корниенко В.А. Гидролиз при конвективной сушке лиственничных пиломатериалов низкотемпературными режимами // Хвойные бореал. зоны. 2018. Т. XXXVI, № 6. С. 542–547.

Zaripov Sh.G., Korniyenko V.A. Hydrolysis of Larch Lumber under Low-Temperature Modes During Convective Drying. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2018, vol. XXXVI, no. 6, pp. 542–547. (In Russ.).

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. (In Russ.).

6. Михайлова Ю.С. Влияние тепла и влаги на выделение фурфурола и формальдегида из древесины бука и дуба // Науч. журн. КубГАУ. 2011. № 73(09). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/07.pdf> (дата обращения: 18.04.24).

Mikhaylova Yu.S. Influence of Heat and Moisture on the Isolation of Furfural and Formaldehyde from Beech and Oak Wood. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU, 2011, no. 73(09), art. no. 0731109007. (In Russ.).

7. 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). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/21.pdf> (дата обращения: 18.04.24).

Mikhaylova Yu.S., Platonov A.D. Investigation of Furfural and Formaldehyde Influence on Environment during Drying of Beech and Oak Wood. *Nauchnyj zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2011, no. 70(06), art. no. 0701106021. (In Russ.).

8. *Нусштаева А.В.* Химия древесины. Пенза: ПГУАС, 2013. 100 с.

Nushtaeva A.V. *Chemistry of Wood*. Penza, Penza State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2013. 100 p. (In Russ.).

9. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с.

Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaya I.N. *Ecology and Biosphere Protection under Chemical Pollution*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2002. 334 p. (In Russ.).

10. *Платонов А.Д.* Влияние режимных параметров процесса сушки на количество вредных веществ, выделяемых из древесины лиственных пород // Науч. журн. КубГАУ. 2012. № 76(02). Режим доступа: <http://ej.lgb.ru/2012/02/pdf/26.pdf> (дата обращения: 18.04.24).

Platonov A.D. Effect of Mode Parameters of Drying Process on the Amount of Harmful Substances Extracted from Hardwood. *Nauchnyj zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2012, no. 76(02), art. no. 0761202026. (In Russ.).

11. *Платонов А.Д., Михайлова Ю.С.* Оценка воздействия отработанного агента сушки на окружающую среду при сушке древесины бука и дуба // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2011. № 5. С. 133–134.

Platonov A.D., Mikhaylova Yu.S. Exposure Assessment of the Used Drying Agent on the Environment during Drying of Beech Wood and Oak. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2011, no. 5, pp. 133-134. (In Russ.).

12. *Платонов А.Д., Михайлова Ю.С., Снегирева С.Н., Киселева А.В., Мозговой Н.В.* Определение минимальной высоты источника выбросов из камеры при сушке древесины бука // Лесотехн. журн. 2019. № 4. С. 117–125.

Platonov A.D., Mikhailova Yu.S., Snegireva S.N., Kiseleva A.V., Mozgovoy N.V. Determining the Minimum Height of the Emission Source from Camera for Drying Beech Wood. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2019, no. 4, pp. 117–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.4/13>

13. *Расев А.И.* Сушка древесины. М.: Высш. шк., 1980. 181 с.

Rasev A.I. *Wood Drying*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 181 p. (In Russ.).

14. *Руденко Б.Д.* Характеристика выбросов сушильных камер при сушке древесины // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. науч. тр. по итогам IV Междунар. науч.-техн. конф. / БГИТА. Вып. 4. Брянск, 2004. С. 160–163.

Rudenko B.D. Characteristics of Emissions from Drying Chambers when Drying Wood. *Forest Complex: Condition and Development Prospects: Collection of Scientific Papers from the IV International Scientific and Technical Conference*. Bryansk, Bryansk State Technological Academy of Engineering Publ., 2004, iss. 4, pp. 160–163. (In Russ.).

15. *Смирнова А.И., Антонова В.С.* Прикладная химия природных соединений. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. 94 с.

Smirnova A.I., Antonova V.S. *Applied Chemistry of Natural Compounds*. St. Petersburg: Higher School of Technology and Energy of Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design Publ., 2020. 94 p. (In Russ.).

16. *Таранцева К.Р., Марьнова М.А., Андреев С.Ю.* Технология обезвреживания формальдегидосодержащих промышленных стоков // Изв. ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 26. С. 671–676.

Tarantseva K.R., Marynova M.A., Andreev S.Yu. Technology for Neutralization of Formaldehyde-Containing Industrial Wastewater. *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo*, 2011, no. 26, pp. 671–676. (In Russ.).

17. Barrer R.M., Chio H.T. Solution and Diffusion of Gases and Vapors in Silicone Rubber Membranes. *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia*, 1965, vol. 10, iss. 1, pp. 111–138. <https://doi.org/10.1002/polc.5070100111>

18. Hong Q., Sun D.-Z., Chi G.-Q. Formaldehyde Degradation by UV/TiO₂/O₃ Process Using Continuous Flow Mode. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, vol. 19, no. 9, pp. 1136–1140. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60185-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60185-5)

19. Salman M. Removal of Formaldehyde from Aqueous Solution by Adsorption on Kaolin and Bentonite: a Comparative Study. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 2012, vol. 36, no. 3, pp. 263–270.

20. Timman H.D. *Wood Technology*. Chicago, 1944. 296 p.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest