

УДК 674.047.3+537.876

**НАГРЕВ И СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
В МАКЕТНОМ ОБРАЗЦЕ СВЧ-УСТАНОВКИ**

*канд. техн. наук, доц. А.Л. АДАМОВИЧ,
канд. техн. наук, доц. Ю.Г. ГРОЗБЕРГ, О.А. КИЗИНА
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены результаты серии экспериментальных исследований нагрева и сушки штабеля пиломатериалов на разработанном макетном образце СВЧ-установки, оснащенной двумя магнетронами с рабочей частотой генерируемого СВЧ-поля 2,465 ГГц, разработанными щелевыми излучателями, вытяжной вентиляцией и регулируемым поддоном. С применением тепловизионной съемки исследовано распределение температуры на поверхности штабеля при различном расположении в камере и угле наклона штабеля относительно щелевых излучателей. Проведено исследование нагрева штабеля при попеременном и одновременном включении магнетронов. Рассматривается сушка штабеля энергией СВЧ-поля на разработанной установке. Дана оценка скорости сушки и удельных энергетических затрат; предложены рекомендации по размещению штабеля пиломатериалов в СВЧ-камере, снижению затрат СВЧ и потерь тепловой энергии на сушку пиломатериалов путем теплоизоляции камеры и оптимизации системы вентиляции.

Введение. Изготовление качественных изделий из древесины невозможно без проведения операции сушки. Широко известные технологии сушки древесины включают атмосферную, контактную, конвективную, индукционную, радиационную, инфракрасную, конденсационную сушку и др. [1]. Однако они не обеспечивают в полной мере требуемое качество высушенной древесины и высокую скорость сушильного процесса, повышение которой приводит к неравномерности распределения влагосодержания в сечении пиломатериалов, пересыханию наружных слоев, растрескиванию и короблению древесины.

Главное достоинство сушки древесины энергией СВЧ-поля состоит в обеспечении высокоскоростного объемного нагрева [2 – 5]. Возникающие при этом движение влаги и ее паров, градиент температуры постоянно направлены из внутренних слоев древесины к периферийным. Вследствие этого значительно уменьшается коробление и растрескивание лесоматериалов, сокращается продолжительность процесса сушки и повышается качество конечного продукта. Совмещение СВЧ-нагрева с принудительной конвекцией в камере позволит быстро и своевременно удалять с поверхности древесины влагу и дополнительно сократить время сушки.

Основная проблема в технологии СВЧ-сушки – получение равномерного распределения напряженности СВЧ-поля в объеме подвергаемых сушке пиломатериалов и, как следствие, их неравномерный нагрев, а также достаточно высокая энергоемкость процесса. Повышение равномерности нагрева достигается применением одно- или многомагнетронного возбуждения СВЧ-поля в камере, перемещением материала в камере, а также использованием щелевых, волноводно-щелевых и апертурных антенн, расчет которых в настоящее время хорошо разработан [4]. В [6] рассчитаны простые в изготовлении и эффективные щелевые излучатели и предложены к применению в лучевых камерах СВЧ-установок [7].

Постановка задачи и проведение экспериментальных исследований. Цель работы – исследовать распределение температуры на поверхности пиломатериалов при их сушке в камере с применением разработанных излучателей.

Исследования проводились на макетном образце установки СВЧ-сушки с камерой размерами 600×600×1000 мм, оснащенной двумя специально рассчитанными щелевыми излучателями, двумя магнетронами OM75S21 с полезной мощностью по 1 кВт каждый и рабочей частотой 2,465 ГГц, двумя высоковольтными источниками питания, вытяжной вентиляцией и металлическим поддоном с регулируемым наклоном и высотой установки, связанным штоком с измерителем веса (см. рис. 1).

Внешний вид изготовленного макетного образца установки СВЧ-конвективной сушки древесины показан на рисунке 1.

Проводилась серия экспериментов по нагреву и сушке пиломатериалов в СВЧ-установке для определения наиболее эффективного способа их укладки и расположения относительно излучателей, облечения и оценки скорости нагрева и сушки и т.д.

Для проведения исследований использовались увлажненные до 40...60 % сосновые доски длиной 450 мм, сечением 25×110 мм. Штабель пиломатериалов укладывался в один слой на поддон с зазором $\lambda / 4 = 122 \text{ мм} / 4 = 30 \text{ мм}$ и шириной шпаций не более 5 мм.

Съемка распределения температуры на поверхности штабеля в процессе проведения экспериментов осуществлялась тепловизионной камерой FLIR.

В процессе первой серии экспериментов производился нагрев штабеля при различном его расположении относительно излучателей и угле наклона поддона включением магнетронов в течение 5 минут, с последующей съемкой распределения температурного поля.

Следующая серия экспериментов проводилась для оценки различий нагрева штабеля при работе одновременно двух магнетронов в течение 5 минут и попеременном их включении в течение 10 минут. Для оценки скорости сушки штабеля производился циклический нагрев включением магнетронов на 10 минут и их отключением на 2 минуты. Общее время сушки заняло 7 циклов, или примерно 1,5 часа.

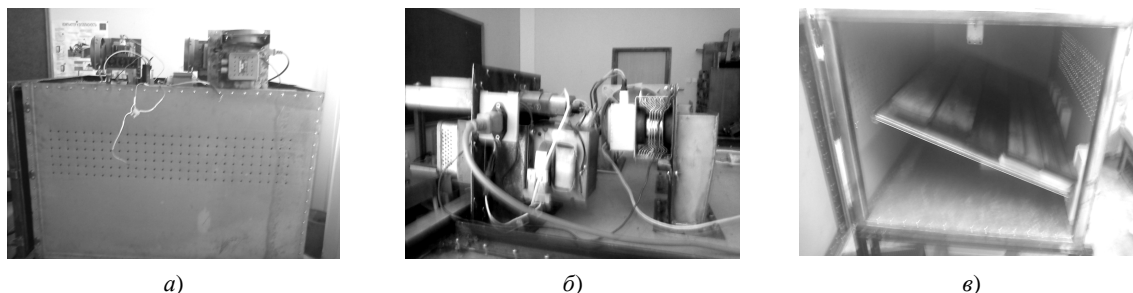


Рис. 1. Конструкция макетного образца технологической установки СВЧ-сушки:
а – общий вид; б – СВЧ-модуль; в – с загруженными пиломатериалами

Обсуждение результатов. Анализ результатов экспериментального цикла исследований позволил установить следующее:

1) наиболее равномерное распределение областей прогрева по поверхности пиломатериалов достигается при укладке досок таким образом, чтобы волокна древесины были ориентированы вдоль широкой стороны щели излучателей, что соответствует поперечной ориентации вектора напряженности E СВЧ-поля относительно волокон. Кроме того, известно, что при такой ориентации E глубина проникновения СВЧ-поля в древесину больше в 1,2...1,5 раза при меньшем коэффициенте отражения R . При ориентации вектора E вдоль волокон пиломатериалов наблюдался перегрев центральных зон с недостаточным прогревом штабеля по краям. При этом установлено, что наиболее эффективно располагать штабель пиломатериалов на расстоянии 200...300 мм от поверхности облучателя, а также под углом в 20...25 градусов. С уменьшением этого расстояния наблюдался перегрев центральной зоны, с увеличением – недостаточная скорость нагрева с резко выраженной неравномерностью;

2) эксперименты показали, что при попеременной работе магнетронов распределение температурного поля по поверхности пиломатериалов имеет несколько меньшую равномерность по сравнению с облучением от двух магнетронов одновременно при одинаковом расходе электроэнергии;

3) в начальный период сушки штабеля быстрее нагреваются области, расположенные ближе к источникам-излучателям (рис. 2).

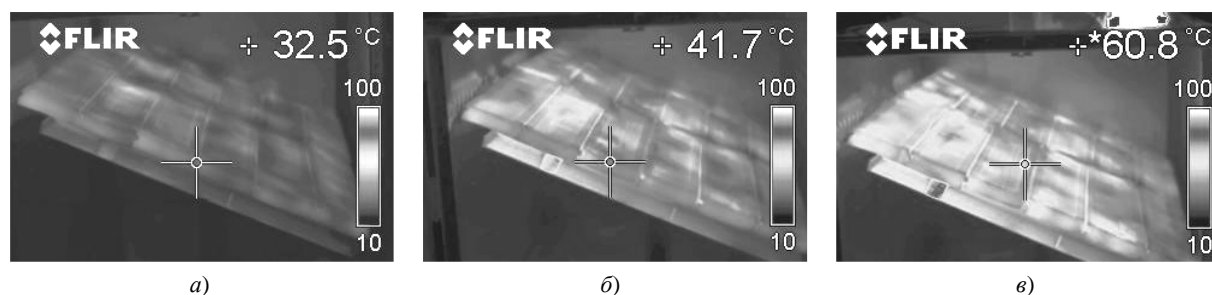


Рис. 2. Распределение температуры на поверхности пиломатериалов при СВЧ-сушке:
а – через 10 мин; б – через 40 мин; в – через 70 мин

Затем температура на поверхности штабеля выравнивается как за счет теплопроводности влажной древесины, так и за счет изменения интерференционной картины СВЧ-поля и устанавливается в среднем на уровне 60...70 °С. В эксперименте по сушке штабеля, объем которого составил 0,03 м³, за 7 циклов сушки общей длительностью около 1,5 часа и подводимой мощностью 2 кВт было вытеснено около 1,7 кг влаги, или 56 кг влаги из 1 м³ древесины за указанное время при подводимой мощности 66 кВт/м³. Тогда ориентировочно средняя удельная скорость сушки составит 37 кг/ч на 1 м³ при расходе полезной энергии СВЧ-поля 100 кВт·ч (140 кВт·ч потребленной электроэнергии на 1 м³) высушиваемой древесины, или 9700 кДж на 1 кг удаленной влаги при теоретическом минимуме 2500 кДж/кг. Значительные затраты

электроэнергии на СВЧ-сушку древесины в макетном образце установки обусловлены преимущественно удалением нагретого влажного воздуха и притоком холодного воздуха из системы вентиляции, нагреванием металлических стенок камеры и ее элементов с последующей теплоотдачей в окружающую среду, а также невысоким коэффициентом полезного действия магнетронов – около 60...70 %.

Выводы:

1) при размещении пиломатериалов в камере установки предпочтительна поперечная ориентация вектора напряженности E относительно волокон древесины. Наклон пиломатериалов под углом к падающему полю позволит несколько повысить равномерность нагрева за счет уменьшения отражений СВЧ-поля от поверхности штабеля. Нагрев целесообразно проводить одновременно работающими магнетронами, что обеспечит более усредненное распределение поля и, соответственно, тепловыделения по штабелю за счет несинфазности и небольшого различия рабочих частот;

2) выбор расстояния от излучателей до штабеля осуществляется в зависимости от требуемой скорости нагрева, расстояния между соседними излучателями, учитывая их диаграмму направленности в ближней зоне излучения [6];

3) значительного снижения потерь возможно достичь теплоизоляцией стенок камеры, оптимизацией системы вентиляции и ее работы на разных стадиях сушки, использованием нагретого воздуха из системы охлаждения магнетронов в цикле сушки, а также сочетанием СВЧ-нагрева с конвективным способом;

4) разработанный макет установки СВЧ-сушки древесины с указанными доработками, дополнительно оснащенной автоматизированной системой управления, может найти применение для малых деревообрабатывающих производств и мастерских для быстрой и качественной сушки деревянных заготовок, короткомерных пиломатериалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пейч, Н.Н. Сушка древесины: учебник для проф.-техн. училищ и подготовки рабочих на производстве / Н.Н. Пейч, Б.С. Царев. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1971. – 220 с.
2. Рахманкулов, Д.Л. Применение микроволнового излучения для сушки дерева и пиломатериалов / Д.Л. Рахманкулов, С.Ю. Шавшукова, И.Н. Вихарева // Башкирский химический журнал. – 2008. – Т. 15, № 1. – С. 46 – 52.
3. Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины / Ф.Х. Гареев // ЛесПромИнформ. – 2004. – № 1(14). – С. 50 – 52.
4. Шавшукова, С.Ю. Исторические этапы развития микроволновой техники для научных исследований и промышленных процессов: автореф. ... дис. д-ра техн. наук: 07 00 10 / С.Ю. Шавшукова; НИИ малотоннажных химических продуктов и реактивов ГОУ ВПО «Уфимск. гос. ун-т». – Уфа, 2008. – 48 с.
5. Сушка бревен без трещин / Ф.Х. Гареев // ЛесПромИнформ. – 2004. – № 4(17). – С. 58 – 60.
6. Излучатель для лучевой камеры СВЧ-нагрева и сушки материалов / А.Л. Адамович [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. Промышленность. – 2012. – № 11. – С. 19 – 23.
7. СВЧ-установка для термообработки материалов: пат. 7041 U BY, МПК 8 F 26B 3/00, H 05B 6/64 / А.Л. Адамович, Ю.Г. Грозберг, О.А. Кизина; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u 20100654; заявл. 19.07.2010; опубл. 16.11.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4(46). – С. 253.

Поступила 20.06.2013

STUDY OF HEAT AND DRYING OF LUMBER IN PROTOTYPICAL MODEL OF MICROWAVE UNIT

A. ADAMOVICH, YU. GROZBERG, O. KIZINA

Results of a series of experimental studies of heat and drying of stacks of lumber on the developed prototype model of microwave unit equipped with two magnetrons with a working frequency of the generated microwave field 2.465 GHz, designed slot radiators, exhaust ventilation and adjustable tray are shown. Using thermal recording investigated the temperature distribution on the surface of the stack at a different location in the chamber and relative inclination of the stack slot radiators are studied. The study of heat of a stack at alternate and simultaneous inclusion of magnetrons is carried out. The recommendations on the placement of piles of lumber in the microwave chamber, reducing costs and losses of the microwave heat for drying of lumber by thermal insulation of cameras and optimization of the ventilation system are given.