УДК 674.047

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

канд. техн. наук, доц. Ю.Г. ГРОЗБЕРГ, Ю.В. МАТЕЛЕНОК
(Полоцкий государственный университет)

Приводится аналитический обзор существующих систем управления процессом сушки древесины, а также установок, в которых они используются. Представлена классификация способов сушки в зависимости от вида используемого нагрева. Демонстрируются примеры автоматизации установок сушки различного типа – как традиционных конвекционных, так и установок с использованием СВЧ-нагрева. Также рассматривается экспериментальная система управления для лабораторной установки сушки древесины комбинированным СВЧ- и конвекционным нагревом. Предлагаются пути решения проблем измерения параметров процесса при наличии мощного СВЧ-излучения в камере сушки.

Введение. Процесс сушки заключается в удалении влаги из материала испарением. Содержащаяся в нем влага переходит в парообразное состояние и удаляется в окружающую среду [1]. Существует несколько способов сушки материалов, классификация которых базируется на особенностях теплообмена материала со средой. По этому признаку различают четыре вида сушки: конвекционная, кондуктивная, радиационная и диэлектрическая [2]. Применительно для процесса сушки древесины особый интерес представляют конвекционный и диэлектрический нагрев, а также комбинирование этих двух видов нагрева.

Конвекционная сушка – процесс сушки, основанный на передаче тепла материалу путем конвекции от газообразной или жидкой среды.

Диэлектрическая сушка – это сушка в электрическом поле высокой частоты, тепло материалу передается за счет диэлектрических потерь; СВЧ-сушка является диэлектрической сушкой.

Комбинированная сушка СВЧ- и конвекционным нагревом – процесс сушки, при котором используются достоинства как конвекционного, так и СВЧ-нагрева, что позволяет повысить качество продукции, понизить временные и энергетические затраты.

Сушка древесины должна проводиться по определенному режиму. Режим сушки древесины – это совокупность тепловлажностных воздействий сушильного агента на древесину, обеспечивающих заданное качество и скорость его сушки [3]. Параметры режимов необходимо подбирать исходя из конкретных условий сушки. Для обеспечения требуемых режимов применяются автоматизированные системы управления, способные измерять все необходимые параметры сушки и управлять процессом.

Автоматизированные системы управления для установок сушки конвекционным нагревом. Конвекционный нагрев для сушки материалов наиболее распространен, и поэтому подавляющее большинство существующих систем автоматизации сушки предназначено именно для установок конвекционной сушки. Конвекционная сушка проходит медленно и требует больших энергетических затрат. Часто используются установки конвекционной сушки без какой-либо автоматизации, однако автоматизированные установки конвекционной сушки более эффективны и менее зависимы от человеческого фактора. Основные параметры, которые необходимо контролировать при конвекционной сушке, – это температура и влажность сушильного агента, температура и влажность древесины. Измерение этих параметров непосредственно в ходе процесса сушки не вызывает затруднений для автоматизированной системы управления. Конвекционный нагрев, как правило, осуществляется при помощи паровых или электрических нагревателей, практически не оказывает влияния на измерительные системы. Циркуляция сушильного агента обеспечивается вентиляторами. Ниже приводится обзор основных существующих систем автоматизации процесса сушки конвекционным нагревом.

Автоматизированная система управления процессом сушки древесины на базе контроллера МИК-51 фирмы Микрол [4]. Данная система предназначена для контроля и поддержания в сушильной камере необходимых температурно-влажностных режимов процесса сушки древесины. Типовое применение системы управления – сушка конвекционным нагревом. Система управления построена на базе программируемого микропроцессорного контроллера МИК-51 и представлена на рисунке 1. Измерение температуры в камере производится с помощью датчиков, которые подключены к первому и второму аналоговому входу контролера. По показаниям этих датчиков контроллером осуществляется расчет влажности в камере. Регулирование температуры в камере производится подачей горячего пара через паронагреватель; регулирование влажности – подачей в камеру пара для увлажнения или степенью открытия задвижки выпуска влажного воздуха. Система управления регулирует подачу пара для увлажнения через исполнительный механизм и задает степень открытия задвижки. Влажность древесины измеряется контактным методом, что является недостатком системы.

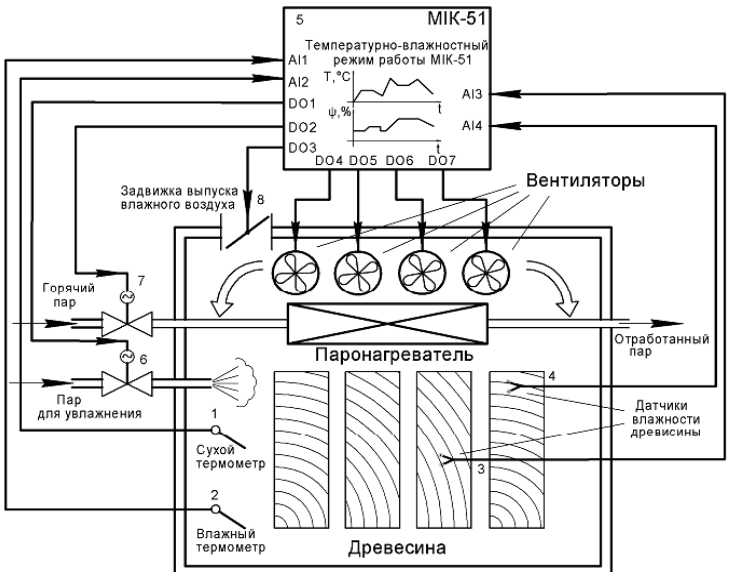


Рис. 1. Автоматизированная система управления на базе контроллера МИК-51

Система управления влажностью и температурой на базе регулятора МТР-44 [5]. Данная система предназначена для управления процессом нагрева в печах, процессами поддержания влажности, управления процессами сушки, варки, копчения. Первый контур системы предназначен для регулирования с помощью программного задатчика температуры. Первый регулятор работает по ПИД-ШИМ закону и с помощью реле управляет нагревателем. Второй контур предназначен для регулирования влажности, вычисленной по значениям «сухого » и «влажного» термометров. Задание второму регулятору формируется вторым программным задатчиком. Работа программных задатчиков синхронизируется прибором МТР-44. Второй регулятор работает по ПИД закону и с помощью бесконтактного пускателя управляет импульсным исполнительным механизмом аэратора. На рисунке 2 приведена схема автоматизации на базе регулятора МТР-44.

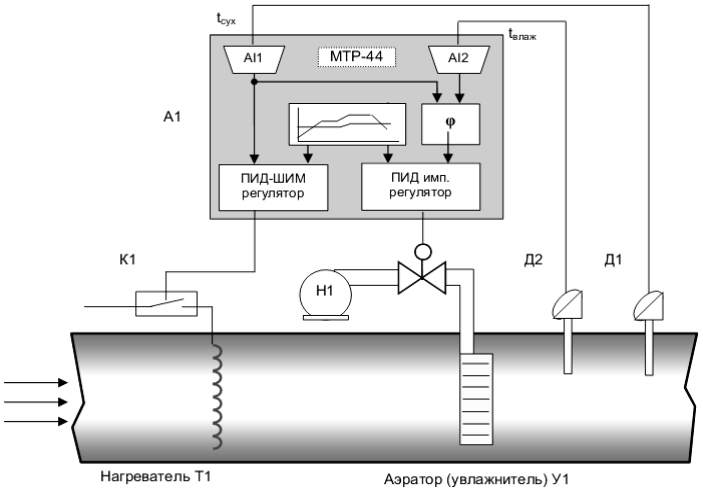


Рис. 2. Автоматизированная система управления влажностью и температурой на базе контроллера МТР-44

Система автоматизированного управления процессом сушки пиломатериалов АСК-6 [6]. Автоматизированная система управления предназначена для организации сушки пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия; непрерывно контролирует параметры сушильного агента, влажность пиломатериалов в сушильных камерах и поддерживает оптимальный режим сушки, управляя расходом теплоносителя, пароудалением, увлажнением, вентиляторами циркуляции сушильного агента; позволяет выполнять дистанционный контроль за состоянием сушильного агента и пиломатериала без захода в камеру и осуществлять в автоматическом режиме прогрев, сушку и снятие внутренних напряжений пиломатериалов.

Управление сушильным комплексом состоит в установке исходных параметров процесса сушки: тип древесины, толщина материала, требуемая конечная влажность материала, режим сушки (мягкий, нормальный, специальный), номер партии материала. Далее процесс сушки выполняется в автоматиче-

ском режиме. При необходимости оператор может перенастроить режим непосредственно во время процесса сушки. Параметры сушки выводятся на монитор в цифровом и графическом виде.

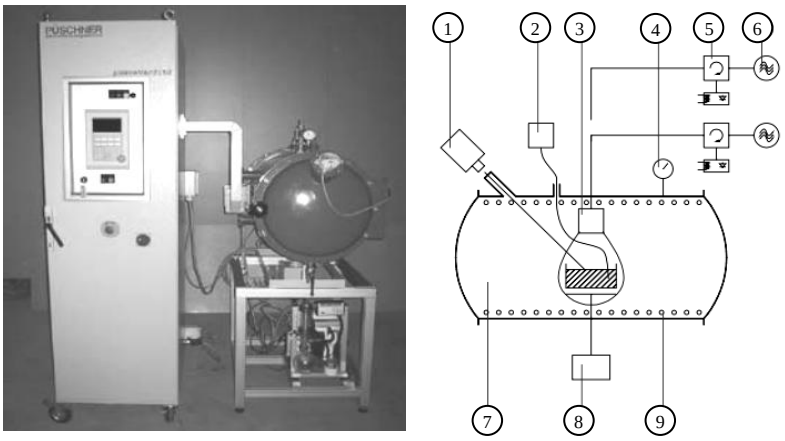
Автоматизированные системы управления для установок сушки СВЧ-нагревом. СВЧ-нагрев для сушки материалов – относительно новое направление [7], поэтому используется гораздо реже, чем конвекционный способ. Однако в отличие от конвекционного СВЧ-метод позволяет проводить сушку материала с меньшими временными и энергетическими затратами.

Преимущества СВЧ-нагрева: высокий уровень мощности подводимой энергии электромагнитного поля, позволяющий быстро превратить ее в тепловую энергию; возможность получения мощных потоков влаги из центра сортамента древесины на его поверхность за счет общего избыточного давления и температурного градиента, направленных в одну сторону, что исключает образование трещин и нарушение ортогональности формы поперечного сечения, особенно крупногабаритных пиломатериалов; возможность управления темпом нагрева в зависимости от начального влагосодержания; улучшение эксплуатационных характеристик пиломатериалов за счет уничтожения СВЧ-излучением бактерий и грибковой плесени, что исключает необходимость последующего антисептирования.

Недостаток СВЧ-метода – относительно невысокая глубина проникновения СВЧ-волны вглубь материала, что вносит определенные ограничения на конструктивные параметры и объем загрузки рабочей камеры. Большинство из разработанных установок СВЧ-сушки не имеют систем автоматизации [8], что сказывается на понижении качества сушки, увеличении временных и энергетических затрат. Автоматизацию процесса затрудняет наличие мощного СВЧ-излучения в камере сушки. Проводить измерения в таких условиях сложно [9], так как отсутствует возможность помещать в камеру сушки классические датчики измерения влажности и температуры. Основные параметры, которые необходимо контролировать при СВЧ-сушке, – это температура и влажность древесины. Для измерения температуры древесины при использовании СВЧ-нагрева необходимо использовать бесконтактный инфракрасный или оптоволоконный датчики температуры. Измерение температуры древесины при данном способе нагрева также затруднено высокой неравномерностью распределения температуры по объему материала. Измерение влажности можно проводить весовым либо диэлькометрическим методами. Большинство автоматизированных систем для установок СВЧ-сушки на сегодняшний день находятся на стадии разработки.

Обзор основных существующих систем автоматизации процесса сушки СВЧ-нагревом

Система автоматизации вакуумной СВЧ-сушки uWaveVac150 [10]. Данная система является лабораторной и не позволяет проводить сушку в промышленных масштабах. Сушка в представляемой установке осуществляется за счет СВЧ-нагрева материала и создания вакуума. Схема автоматизации установки приведена на рисунке 3.



а) *б*)

Рис. 3. Внешний вид (*а*) и схема (*б*) автоматизации установки вакуумной СВЧ-сушки uWaveVac150:
1 – пирометр; 2 – оптоволоконный датчик температуры; 3 – излучающая антенна;
4 – датчик давления; 5 – датчики отраженной СВЧ-волны; 6 – магнетроны (1,2 кВт, 2,450 ГГц);
7 – камера сушки; 8 – датчик веса; 9 – нагреватель стенок камеры

Измерение температуры материала, подвергаемого сушке, проводится как на поверхности материала, так и внутри. Для измерения температуры на поверхности используется бесконтактный датчик температуры – пирометр *1*; для измерения температуры внутри материала – оптоволоконный датчик температуры *2*, помещаемый внутрь материала. Это позволяет уменьшить влияние СВЧ-поля внутри камеры на измерительную систему. Влажность измеряется весовым методом, используя датчик веса *8*; с помощью датчиков *5* измеряется мощность отраженной СВЧ-волны. Возможно измерение давления в камере.

На основе установки uWaveVac150 для применения в промышленных масштабах разработана установка uWaveVac1290, управляемая программируемым логическим контроллером. Запись и отображение данных в реальном времени могут осуществляться при помощи подключения компьютера по RS232 или Ethernet. Также система управления может быть подключена к сети интернет, т.е. управление процессом может проводиться удаленно.

Экспериментальная система автоматизации для вакуумной СВЧ-сушки материалов [11]. Установка оснащена бесконтактным датчиком температуры и системой контроля, которая обеспечивает управление в реальном времени. Датчик температуры располагается таким образом, чтобы им обеспечивался захват всего материала. Данный датчик подключается к контрольной системе. В качестве источника излучения использован магнетрон 2,450 ГГц. Система автоматизации поддерживает температуру материала по заданному графику с помощью ПИД-контроллера. Влажность материала измеряется косвенно весовым методом с помощью весов, расположенных под площадкой для материала. Для измерения степени вакуума в системе предусмотрен датчик давления. Схема автоматизации установки приведена на рисунке 4.

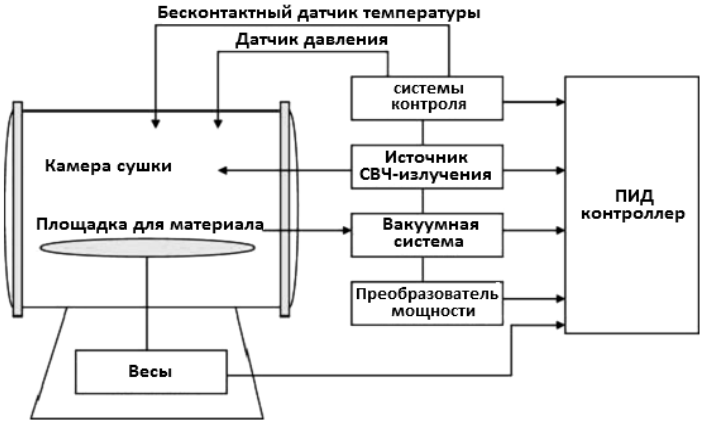


Рис. 4. Структурная схема автоматизации установки СВЧ-сушки

Экспериментальная система для измерения температуры бесконтактным методом в установке СВЧ-сушки [12]. Предназначена для экспериментов по определению температуры материала в процессе сушки. В установке использован магнетрон 2,450 ГГц мощностью 2 кВт. На тефлоновой площадке диаметром 50 см размещается материал для сушки. С помощью весов в реальном времени измеряется вес материала. Площадка с материалом вращается с помощью электродвигателя через определенные интервалы времени для равномерного распределения нагрева от СВЧ-излучения. Внешний вентилятор удаляет образовавшуюся в пространстве камеры влагу. Воздух, приходящий в камеру, подогревается нагревателем. Температура этого воздуха регулируется с помощью термопары, расположенной в воздушном канале. В качестве датчика температуры используется инфракрасный датчик, направленный в камеру сушки через отверстие диаметром 70 мм, которое покрыто металлической сеткой, пропускающей инфракрасное, но не пропускающей СВЧ-излучение. Бесконтактный датчик температуры предварительно откалиброван при помощи накладной термопары, посредством которой производились измерения температуры материала при остановке процесса сушки. Вся информация об измерениях поступает на компьютер.

Автоматизированная система управления для установки комбинированной сушки СВЧ- и конвекционным нагревом. Комбинированная сушка СВЧ- и конвекционным нагревом является относительно новым направлением. На сегодняшний день информация о существующих системах автоматизации процесса такой сушки отсутствует. Режимы классической конвекционной сушки в паровоздушных сушильных камерах хорошо отработаны и установлены [13]. Режимы комбинированной сушки СВЧ- и конвекционным нагревом пока четко не определены. Однако процессы конвекционной сушки и комбинированной имеют общую основу, разница лишь в способе нагрева материала. Таким образом, основные принципы процесса конвекционной сушки могут быть перенесены на процесс комбинированной сушки с учетом особенностей СВЧ-нагрева.

На основе информации о процессе комбинированной сушки СВЧ- и конвекционным нагревом и конструктивных особенностях установки для проведения данной сушки нами была разработана схема автоматизации процесса (рис. 5), которая может обеспечивать контроль и управление такими параметрами процесса, как температура и влажность агента сушки, температура и влажность древесины. Система управления анализирует полученные от датчиков данные и действует по заданному алгоритму. Пользователем с помощью клавиш управления или же с помощью подключения внешнего компьютера к системе вводятся параметры сушки: режим сушки в зависимости от породы дерева и необходимой остаточной влажности продукта; температура сушильного агента и древесины; влажность сушильного агента и древесины для каждого из этапов заданного режима сушки; скорость нагрева и охлаждения сушильного агента и древесины.

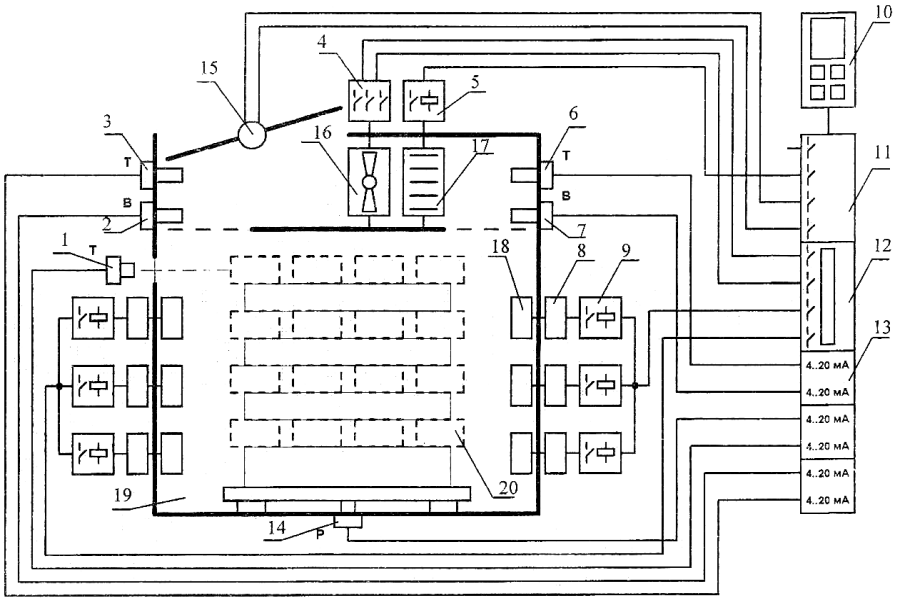


Рис. 5. Схема автоматизации установки комбинированной сушки СВЧ- и конвекционным нагревом:
1 – бесконтактный датчик температуры; 2 – датчик влажности вытяжного воздуха;
3 – датчик температуры вытяжного воздуха; 4 – реверсивный пускатель; 5 – силовое реле;
6 – датчик температуры приточного воздуха; 7 – датчик влажности приточного воздуха; 8 – магнетроны;
9 – промежуточные реле; 10 – блок индикации и управления; 11 – блок релейных выходов; 12 – управляющий контроллер;
13 – блок аналоговых входов; 14 – датчик давления; 15 – вентиляционная заслонка; 16 – циркуляционный вентилятор;
17 – конвекционный нагреватель; 18 – СВЧ-излучатели; 19 – камера сушки; 20 – древесина

Автоматизированная система управления является модульной и исходя из потребностей пользователя может комплектоваться модулями для измерения тех или иных параметров (температура и влажность воздуха, температура и влажность древесины и др.) и для управления определенными элементами (генераторами СВЧ, вентиляторами, конвекционным нагревателем, вентиляционной заслонкой). Анализ полученных данных от датчиков и управление системой осуществляются с помощью управляющего котроллера. Имеется возможность подключения системы управления к компьютеру для управления процессом и отображения информации от датчиков в реальном времени. Все операции, связанные с управлением процессом, проводятся с помощью контроллера, компьютер используется только как элемент взаимодействия с оператором. Для данной автоматизированной системы управления (см. рис. 5) был разработан экспериментальный управляющий контроллер (рис. 6).

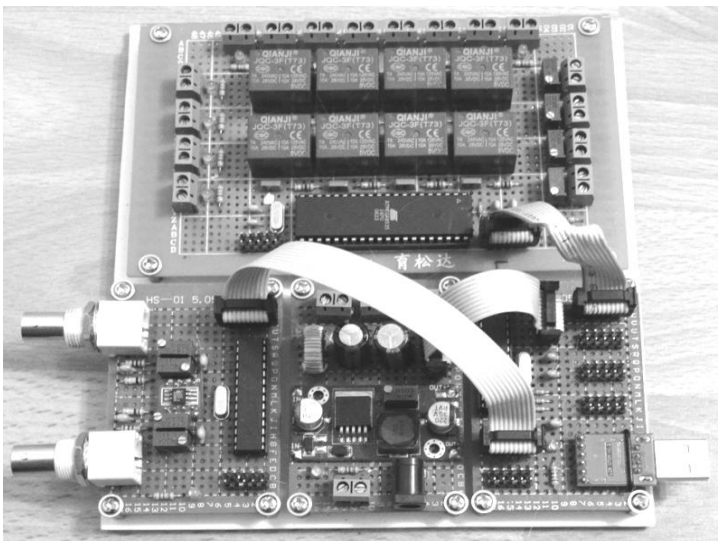


Рис. 6. Экспериментальный контроллер для системы автоматизации установки сушки комбинированным СВЧ- и конвекционным нагревом

Представленный на рисунке 6 контроллер позволяет принимать показания датчиков и управлять исполнительными устройствами по определенной программе. Настройка параметров процесса, выбор режима сушки, управление процессом, а также наблюдение за показаниями датчиков осуществляются оператором через компьютер с подключенным к нему контроллером.

Для проведения экспериментов разработана лабораторная установка комбинированной СВЧ- и конвекционной сушки (рис. 7), которая проходит дооснащение в соответствии с предлагаемой схемой автоматизации, представленной на рисунке 5.

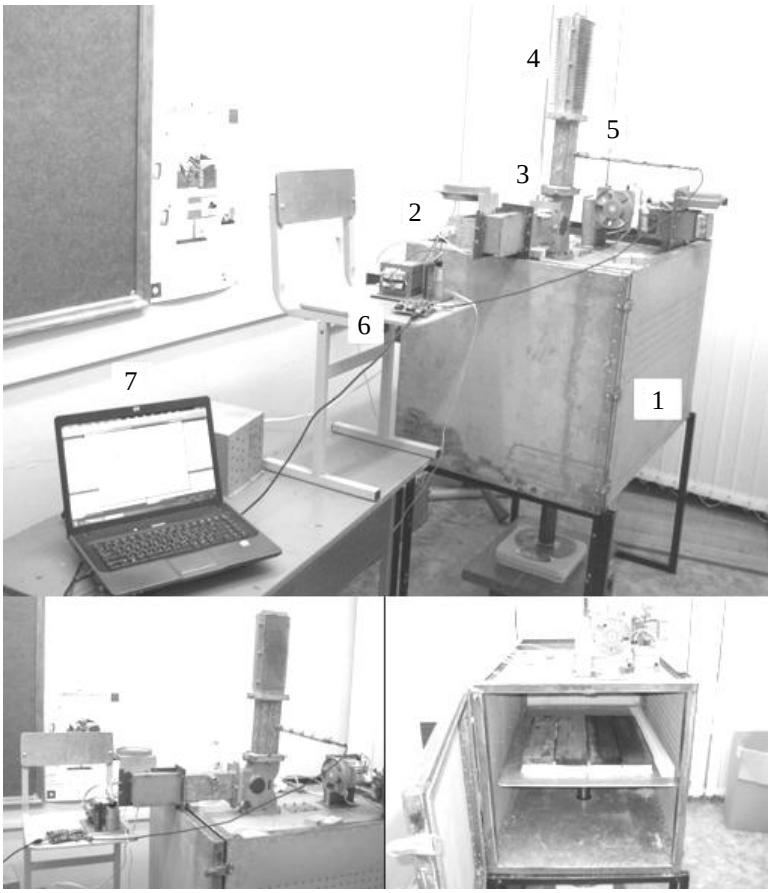


Рис. 7. Лабораторная установка сушки комбинированным СВЧ- и конвекционным нагревом:
1 – камера сушки; 2 – магнетрон; 3 – Y-циркулятор; 4 – нагрузка;
5 – детекторная секция; 6 – управляющий контроллер; 7 – компьютер

Заключение. Анализ существующих автоматизированных систем и методов, используемых для сушки материалов, показывает, что сегодня наиболее широко распространены автоматизированные установки сушки конвекционным нагревом. Различные режимы такой сушки хорошо отработаны и широко используются на практике. Установки сушки СВЧ-нагревом используются гораздо реже, чем установки с использованием конвекционного нагрева, и еще реже проводится их автоматизация, так как это направление относительно новое и режимы сушки отработаны недостаточно. СВЧ-метод сушки не всегда оправдывает себя, однако сочетание конвекционного и СВЧ-метода (комбинированная сушка СВЧ- и конвекционным нагревом) является наиболее перспективным направлением. Комбинированная сушка СВЧ- и конвекционным нагревом требует грамотно построенной системы автоматизации, так как процессы, происходящие в ней, более сложные, чем при конвекционной или СВЧ-сушке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филипович, Г.В. Сушка древесины. Общие положения тепловой сушки древесины: метод. рекомендации / Г.В. Филипович. – Тверь: Спецмонтаж, 2002. – 49 с.
2. Методы передачи тепла при сушке древесины [Электронный ресурс] / Web-страница компании «СЗТК». – 2012. – Режим доступа: http://b2b-celluloza.ru/lib/spravochnik/260750. – Дата доступа: 22.12.2012.

3. Влияние режима сушки древесины на ее физические свойства [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: http://www.sushilo.ru/technology.htm. – Дата доступа: 05.01.2013.
4. Автоматизация процесса сушки древесины на контроллерах МИК 51 [Электронный ресурс] / Web-страница компании «Микрол». – 2012. – Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=10&Itemid=97. – Дата доступа: 20.12.2012.
5. Система управления влажностью и температурой [Электронный ресурс] / Web-страница компании «Микрол». – 2012. – Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&Itemid = 71. – Дата доступа: 20.12.2012.
6. Система автоматизированного управления процессом сушки пиломатериалов АСК-6 [Электронный ресурс] / Web-страница компании «Макил». – 2012. – Режим доступа: http://www.makil.grodno.by/?page= news10. – Дата доступа: 21.12.2012.
7. Кизина, О.А. Анализ современных методов и оборудования для сушки древесины / О.А. Кизина, А.Л. Адамович, Ю.Г. Грозберг // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 3. – С. 32–37.
8. Установка для сушки древесины «СВЧ-ЛЕС» [Электронный ресурс] / Web-страница компании «Лес». – 2012. – Режим доступа: http://www.svch-tehnologii.ru/svch_ustanovki.html. – Дата доступа: 23.12.2012.
9. Валитов, Р.А. Измерение на миллиметровых и субмиллиметровых волнах / Р.А. Валитов, С.Ф. Дюбко, Б.И. Макаренко. – М.: Радио и связь, 1984. – 296 с.
10. Microwave vacuum drying for advanced process technology [Электронный ресурс] / Web-страница компании «PUSCHNER». – 2012. – Режим доступа: http://www.pueschner.com/publications/2012_en.php. – Дата доступа: 23.12.2012.
11. Improving grape quality using microwave vacuum drying associated with temperature control / C.D. Clary [et al.]; Institute of Food Technologists, 2007. – 27 c.
12. Cuccurullo, G. IR thermography assisted control for apples microwave drying / G. Cuccurullo, L. Giordano, D. Albanese. – Italy University of Salerno, 2012. – 28 c.
13. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия: ГОСТ 19773-84. – Введ. 01.01.85. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1991. – 15 с.

Поступила 27.01.2014

ANALYSIS OF MODERN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF WOOD DRYING PLANTS

Y. GROZBERG, Y. MATELENOK

Analytical review of existing automatic control systems of wood drying process and plants with this equipment is made. The classification of methods of drying wood depending on the kind of used heating is given. There are examples of automation of wood drying plants – traditional convectional and ones with microwave heating. Also experimental control system for laboratory wood drying plant with combined convectional and microwave heating is described. The ways of resolving the problems of measuring the parameters of drying with the presence of powerful microwave radiation in a drying chamber are proposed.