

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 674.047

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ СВЧ- И КОНВЕКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

канд. техн. наук, доц. Ю.Г. ГРОЗБЕРГ,
канд. техн. наук, доц. А.Л. АДАМОВИЧ, Ю.В. МАТЕЛЕНКО
(Полоцкий государственный университет)

Исследуется автоматизация системы управления для установки комбинированной сушки древесины СВЧ- и конвекционным нагревом. Описываются основные этапы комбинированной сушки, при которой производится нагрев как СВЧ-полем, так и конвекционным нагревом горячим воздухом. Представлен обзор основных режимов и алгоритмов комбинированной сушки. Предложена схема автоматизации процесса, которая производит контроль параметров и управление системой, обеспечивая оптимальный режим функционирования установки. Описан принцип работы разрабатываемой системы, рассмотрены ее основные элементы, показаны основные преимущества.

Введение. Сушка древесины – сложный процесс, характер которого определяется одновременным протеканием ряда физических явлений, основными из которых являются: передача тепла материалу от агента сушки или источника тепловой энергии – *теплообмен*; перемещение тепла внутри материала – *теплопроводность*; испарение влаги с поверхности материала в окружающую среду – *лагоотдача*; перемещение влаги внутри материала – *лагоперенос* [1]. Роль перечисленных физических явлений применительно к конкретному способу сушки не одинакова. Относительная эффективность того или иного явления зависит от способа передачи тепла древесине и других условий.

Анализ методов и оборудования для сушки древесины показывает, что традиционные методы сушки древесины не обеспечивают в полной мере требуемый уровень качества и характеризуются высокой продолжительностью процесса. Одним из альтернативных направлений является СВЧ-сушка. Однако, как показывают результаты исследований за последние годы, получать высокое качество древесины на практике возможно только совмещая СВЧ-нагрев с конвекционным нагревом или вакуумированием [2].

Для обеспечения определенного режима комбинированной сушки нужно поддерживать требуемые значения температуры и влажности воздуха. Изменение температуры и влажности должно производиться с требуемой скоростью. На каждый этап отводится определенное время [3]. Управление этими параметрами производится исходя из режима сушки.

Автоматизация комбинированной СВЧ-сушки. Процесс сушки пиломатериалов комбинированным СВЧ- и конвекционным нагревом подразделяется на четыре этапа.

Первый этап – пропарка – связан с быстрым СВЧ-нагревом заданного объема пиломатериалов и находящегося в них объема воды до температуры 55...60 °С, при которой начинается сушка. Одновременно с этим с помощью нагревателя (электрического, водяного или др.) производится конвекционный нагрев воздуха и его циркуляция в объеме камеры сушки при помощи вентиляторов. При этом отсутствует вытяжка и идет увеличение влажности воздуха в сушильной камере до 100 % и более. Это обеспечивает пропарку древесины, что необходимо для снятия имевшихся в древесине напряжений и улучшения теплопроводности поверхностных слоев пиломатериалов.

Второй этап – собственно сушка с выпариванием основной влаги. Сущность этого этапа – удаление интенсивно выделяющейся влаги из пиломатериалов при постоянной температуре 60...70 °С, поддерживаемой нагревателями. Для удаления большого количества выделившейся влаги из камеры работает вентилятор, обеспечивающий вытяжку. Далее начинаются процессы выпаривания влаги из клеточных структур – выпаривание основного объема влаги из слоистых структур древесины. Интенсивность выхода влаги при этом существенно замедляется.

Третий этап – досушка пиломатериалов до заданного порога влажности. Он характеризуется сушкой в жестких режимах, прежде всего температурных. Цель введения таких режимов – эффективное и быстрое удаление клеточной влаги. Для поддержания хорошей теплопроводности поверхностных слоев древесины уровень влажности в сушильной камере должен быть порядка 70 %. С этой целью вентилятор переводится в режим внутренней циркуляции, а температура сушки поднимается на 5...10 °С.

Четвертый этап – охлаждение пиломатериалов до температуры внешней среды. Это производится в режиме циркуляции воздуха от внешней среды при отключенных СВЧ- и конвекционных нагревателях. Разность температур пиломатериалов и внешней среды при выгрузке не должна превышать 20 °С.

Для требуемых режимов и алгоритмов работы без участия человека, а также для достижения более высоких характеристик процесса комбинированной сушки необходима его автоматизация. Для разрабатываемой установки предложена схема автоматизации (рис. 1), которая может обеспечивать измерение температуры и влажности циркулирующего воздуха и древесины. Система управления анализирует полученные от датчиков данные и действует по определенной программе. Пользователем с помощью клавиш управления или же с помощью подключения внешнего компьютера к системе, вводятся параметры сушки: продолжительность каждого из этапов, мощность СВЧ-излучения, скорость нагрева. Имеется возможность управления сушкой в ручном режиме с помощью клавиш управления.

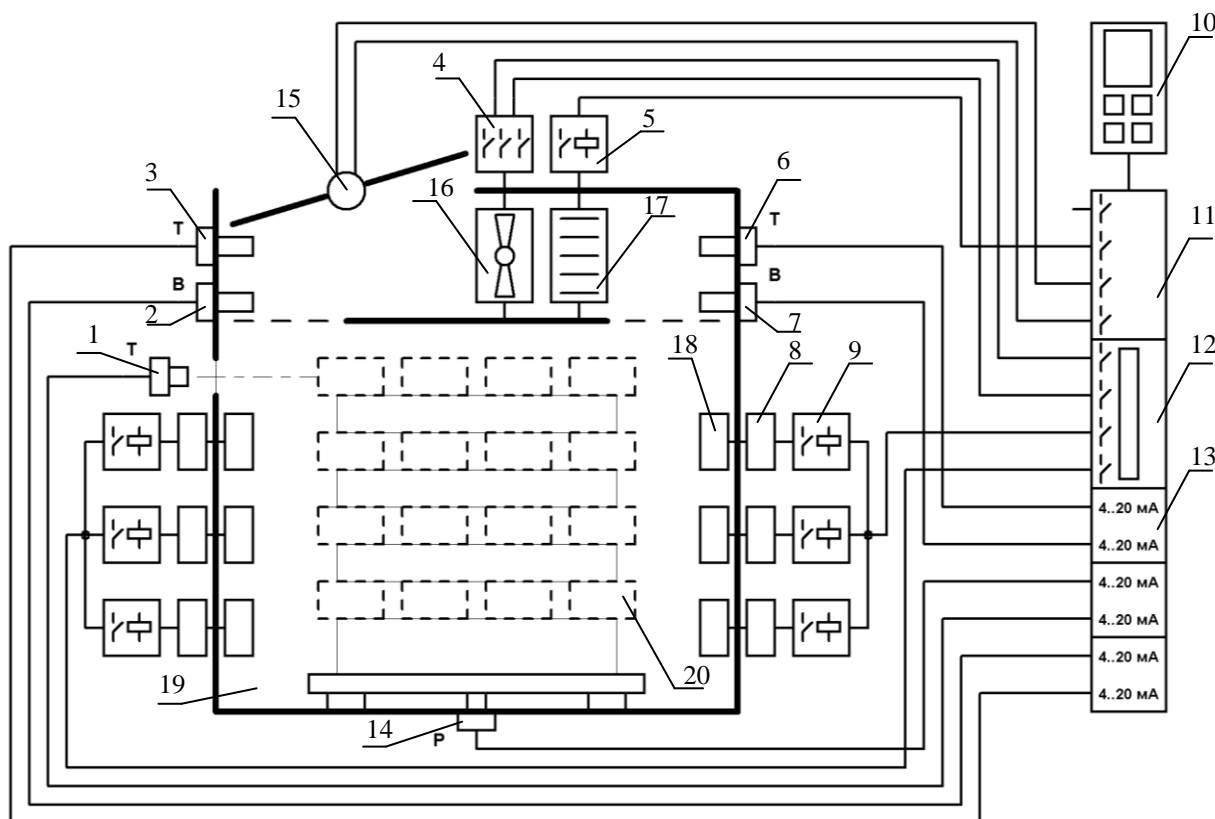


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации установки комбинированной сушки СВЧ- и конвекционным нагревом
 Основные элементы схемы: 1 – бесконтактный датчик температуры; 2 – датчик влажности уходящего воздуха;
 3 – датчик температуры уходящего воздуха; 4 – реверсивный пускатель; 5 – силовое реле;
 6 – датчик температуры приходящего воздуха; 7 – датчик влажности приходящего воздуха; 8 – магнетроны;
 9 – промежуточное реле; 10 – модуль индикации и управления «LOGOTD»; 11 – модуль расширения «LOGODM»;
 12 – основной блок контроллера «Siemens LOGO!»; 13 – блок расширения «LOGOAM»;
 14 – датчик давления; 15 – управляемая заслонка; 16 – вентилятор; 17 – конвекционный нагреватель;
 18 – излучатели СВЧ; 19 – камера сушки; 20 – штабель пиломатериалов

Разрабатываемая автоматизированная система управления является модульной, и исходя из потребности пользователя можно подключать модули для измерения тех или иных параметров для управления определенными элементами (генераторами СВЧ, вентиляторами, нагревателем). Анализ полученных данных и управление системой производится с помощью контроллера 12 (см. рис. 1). Контроллер производит управление магнетронами 8, обеспечивающими СВЧ-нагрев, изменяя скважность СВЧ-импульсов, производит включение/выключение нагревателя 17 для конвекционного нагрева горячим воздухом. Циркуляция воздуха обеспечивается реверсивным вентилятором 16, для управления которым задействовано два релейных выхода контроллера. Привод для управления заслонкой 15 также реверсивный и требует два релейных выхода контроллера. Сигналы от датчиков принимаются аналоговыми входами контроллера. В зависимости от конфигурации системы могут подключаться датчики температуры и влажности древесины подводимого и отводимого из камеры воздуха, поэтому количество требуемых аналоговых входов может изменяться.

В данной системе управления используется контроллер «Siemens LOGO» (рис. 2) [4], так как он позволяет выполнять требуемые функции: работу по определенному алгоритму, выполнение временных задержек, логических операций, измерение и обработку сигналов от датчиков, управление устройствами с помощью релейных выходов. «Siemens LOGO» построен по модульному принципу – к основному блоку «LOGO» 12 исходя из потребностей системы подключаются модули расширения релейных входов/выходов «LOGODM» 11 и аналоговых входов/выходов «LOGOAM» 13. Также возможно подключение модуля индикации и управления «LOGOTD» 10, который позволяет вынести элементы управления на панель щита автоматизации. Модульность дает возможность конфигурировать систему управления сушкой исходя из потребностей заказчика.

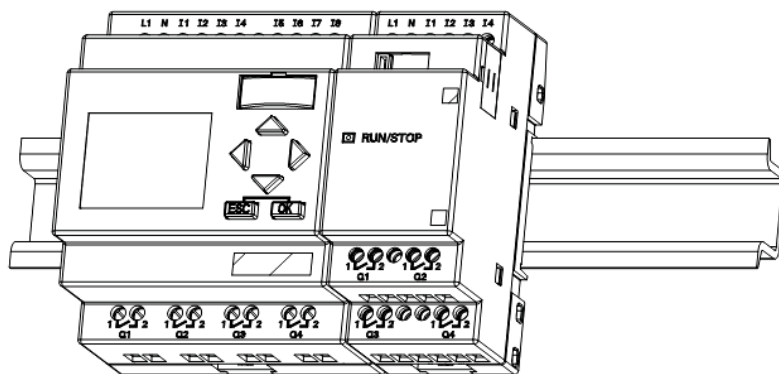


Рис. 2. Контроллер «Siemens LOGO»

Основной модуль контроллера «LOGO» имеет 8 цифровых входов и 4 релейных выхода. В данной схеме используются 4 релейных выхода. Однако в схеме требуются 8 управляющих реле, поэтому к основному блоку подключается блок расширения «LOGODM» на 4 релейных выхода. Таким образом, с помощью 8-ми управляющих реле обеспечивается управление генераторами СВЧ, заслонкой, вентиляторами, нагревателем. Однако этот модуль «LOGO» не имеет аналоговых входов/выходов, поэтому для принятия сигналов от датчиков температуры и влажности применяются модули расширения «LOGOAM». В предложенной схеме количество требуемых аналоговых входов может достигать 6-ти, следовательно, требуется 3 модуля расширения по 2 входа. Для передачи сигнала на аналоговые входы используется токовая петля 4...20 мА.

Для обеспечения индикации информации и управления процессом в ручном режиме к основному модулю подключается модуль индикации и управления «LOGOTD». Этот модуль выносится на панель управления щита автоматизации. Модуль имеет дисплей, на котором отображаются измеряемые параметры сушки, а также другая необходимая информация. Имеются клавиши управления, с помощью которых вводятся параметры процесса, выбирается нужный режим сушки. Выбор просмотра показаний датчиков также осуществляется с помощью клавиш управления. Следует отметить, что в качестве основного модуля контроллера можно использовать специальный основной модуль «LOGO! 24RC», имеющий средства управления и индикации. Такой способ более простой, однако менее удобен при эксплуатации.

Для измерения температуры и влажности древесины, а также циркулирующего воздуха существует несколько способов, в зависимости от потребностей пользователя. Измерение температуры и влажности циркулирующего воздуха возможно производить вне камеры сушки, где СВЧ-излучение достаточно ослаблено. Датчики для измерения температуры 6 и влажности 7 подводимого в камеру воздуха показаны на рисунке 1. Эти датчики также используются для измерения температуры и влажности воздуха при закрытой циркуляции в режиме пропарки. Аналогичные датчики 2, 3 предназначены для измерения температуры отводимого из сушильной камеры воздуха. Измерение влажности воздуха затруднено высокой температурой процесса сушки, поэтому используется высокотемпературный датчик CallTec-MelaFZC 3/5 [5]. Датчик способен работать при температуре до 200 °С, обладает устойчивостью к конденсату, долговременной стабильностью, имеет выходной сигнал 4...20 мА. Температура в разрабатываемой системе измеряется датчиком TC5008 [6], позволяющим измерять температуры от минус 50 °С до плюс 400 °С и имеющим токовый выход 4...20 мА. Датчики влажности и температуры устанавливаются в потоке сушильного агента в зоне, где его параметры соответствуют средним величинам.

Чтобы измерить температуру и влажность накладными датчиками, требуется помещать их в камеру сушки. При таком измерении температуры и влажности древесины возникают некоторые сложности. Они вызваны тем, что датчики некорректно работают в мощном СВЧ-поле, а также вносят изменения в распределение СВЧ-поля [7]. Поэтому предлагается измерять температуру бесконтактным методом с

помощью пирометра *I*, измеряющего среднюю температуру штабеля по интенсивности инфракрасного излучения через специальное смотровое окно. Этот датчик «смотрит» на древесину через окно, экранирующее СВЧ-излучение, но пропускающее инфракрасное излучение, и измеряет температуру древесины. В качестве бесконтактного датчика используется пирометр RaytekThermalertMID [8], позволяющий измерять температуру от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ на требуемом расстоянии и имеющий выходной сигнал $4\text{...}20\text{ мА}$. Возможная сложность, связанная с таким измерением, – неравномерное распределение температуры по всему объему древесины, однако при небольшой загрузке камеры такой способ эффективен.

Измерение влажности древесины предлагается проводить по косвенному признаку – весу. Зная начальный вес древесины и вес древесины на любом этапе сушки, можно определить, сколько влаги испарилось на данном этапе. Для этого под штабелем располагаются своеобразные весы, которые системой рычагов связаны с датчиком давления *I4*, который находится вне сушильной камеры. В качестве измерителя давления используется любой датчик, подходящий по конструкции и диапазону давления в зависимости от конструкции весов. Датчик должен иметь выход $4\text{...}20\text{ мА}$. Все датчики подключаются к аналоговым входам управляющего контроллера. Благодаря передаче сигнала по стандарту $4\text{...}20\text{ мА}$ контроллер может размещаться на значительном расстоянии от камеры сушки.

Управление исполнительными элементами (магнетронами, вентилятором, нагревателем, заслонкой) осуществляется с использованием релейных выходов контроллера. Так как управляемые элементы силовые и имеют относительно высокую потребляемую мощность, то к релейным выходам контроллера подключены усилительные элементы, которые способны коммутировать более высокую мощность, чем контроллер.

В качестве генераторов СВЧ используются магнетроны с потребляемой мощностью около киловатта, объединенные в две группы, для одно- и двухстороннего облучения материала. В системе предусмотрено раздельное управление магнетронами, подающими СВЧ-энергию излучателям каждой из групп. На каждый магнетрон предусмотрено собственное реле *9*, способное коммутировать переменное напряжение и ток. Используется реле на напряжение $\sim 220\text{ В}$ и ток 16 А модели РК-1Р [9]. Катушки реле для магнетронов каждой группы соединены параллельно, что обеспечивает управление группой магнетронов с помощью одного релейного выхода контроллера. Для питания установки планируется использовать трехфазную линию, так как мощности одной фазы может быть недостаточно для питания всех магнетронов установки. Использование собственного промежуточного реле на каждый магнетрон позволяет питать каждый магнетрон от определенной фазы, тем самым распределяя потребляемую мощность установки по трем фазам. Регулирование мощности излучения производится при помощи изменения скважности СВЧ-импульсов. Изменение скважности регулируется в пределах от нескольких секунд до десятков минут. Обе группы магнетронов могут включаться как одновременно, так и по отдельности.

В качестве вентилятора для циркуляции воздуха используется трехфазный вентилятор. При управлении необходимо обеспечить реверсивность его вращения. Для обеспечения этого требования используется реверсивный пускатель *4* типа ПБР-12А [10]. Этот пускатель позволяет управлять вентилятором трехфазного напряжения с потребляемой мощностью до $5,5\text{ кВт}$. При этом задействованы два релейных выхода контроллера, пускатель управляется напряжением от 10 до 50 В .

Управление нагревателем зависит от типа нагревателя. Если используется электрический нагреватель, то управление производится одним релейным выходом контроллера через промежуточное реле. Потребляемая мощность электрического нагревателя может достигать несколько киловатт, поэтому в качестве промежуточного реле необходимо использовать силовое реле *5* типа 04050 20А 2р 220В [11]. Если нагреватель водяной, то регулировка температуры теплообменника регулируется с помощью трехпозиционного клапана, который управляет подачей приточной воды. Привод клапана имеет малую потребляемую мощность, и поэтому управляется напрямую от релейных выходов контроллера. Используется два релейных выхода: для открытия и закрытия клапана. Используется двухходовой клапан модели с электроприводом. Электропривод трехпозиционный с рабочим напряжением $\sim 220\text{ В}$ и потребляемой мощностью 6 Вт .

Регулируемая заслонка в процессе сушки в зависимости от этапа работы установки должна открываться и закрываться. Она приводится в движение с помощью специального электропривода Siemens GDB336.1E [12]. Это трехпозиционный привод с рабочим напряжением $\sim 220\text{ В}$ и потребляемой мощностью 2 Вт . В приводе имеется возможность настроить максимальный угол поворота. Данный привод имеет встроенные концевые выключатели, что позволяет задействовать для его управления два релейных выхода контроллера. Привод имеет малую потребляемую мощность, поэтому подключается к контроллеру без промежуточных реле.

Вся система управления монтируется в щит автоматизации, который располагается на требуемом расстоянии от самой установки. Это обеспечивает удобство и безопасность эксплуатации установки. Установка, для которой разрабатывается система управления, является модульной и может наращиваться дополнительными камерами сушки. Все модули управляются одной системой управления – основным блоком контроллера «LOGO!», производящим обработку показаний датчиков и управление системой.

При наращивании дополнительных камер сушки для управления этими камерами к модулю «LOGO!» подключаются дополнительные блоки расширения аналоговых входов и релейных выходов. Эти блоки могут размещаться как в общем щите автоматизации, так и в собственном щите для каждого модуля сушильной камеры.

Заключение. Автоматизация системы позволяет осуществлять сушку древесины с минимальным участием оператора, при этом результаты процесса сушки более высокие: повышается качество продукции, уменьшаются временные и энергозатраты, повышается удобство эксплуатации системы. Теоретические результаты, а также результаты, получаемые опытным путем в процессе сушки, позволяют подобрать оптимальные режимы работы системы. При необходимости можно перепрограммировать систему на нужный режим или подкорректировать параметры. Разрабатываемая система автоматизации является модульной и при необходимости может быть усовершенствована или упрощена, может быть быстро дополнена блоками для управления дополнительными сушильными камерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способы сушки древесины/Web-страница компании «Ксирон холод»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.xiron.ru/content/view/30396/95/>. – Дата доступа: 05.01.2012.
2. 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.
3. Морозов, Г.А. Микроволновые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: современные достижения и новые подходы / Г.А. Морозов // Материалы науч.-техн. конф. – Казань, 2000. – С. 1 – 10.
4. Логические модули Siemens LOGO/Web-страница компании «Siemens»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://www.cee.siemens.com/web/ua/ru/iadt/ia/AS/PLC/Pages/LOGO.aspx>. – Дата доступа: 06.01.2012.
5. Датчики влажности ZC, ZC.D, KC/Web-страница компании «CallТес+Mela»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://www.melasensor.ru/dat_kc_gc_zc.htm. – Дата доступа: 06.01.2012.
6. Датчики температуры ТС5008/Web-страница компании ОАО «Манотом»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.manotom-tmz.ru/catalog/item-100-ts5008.html>. – Дата доступа: 07.01.2012.
7. Валитов, Р.А. Измерение на миллиметровых и субмиллиметровых волнах / Р.А. Валитов, С.Ф. Дюбко, Б.И. Макаренко. – Радио и связь, 1984. – 296 с.
8. Бесконтактный датчик температуры Raytek Thermalert MID/Web-страница компании ООО «Город Инструмента»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://www.sensoren.ru/beskontaktnie_datchiki_temperaturi_raytek_thermalert_mid_pirometri.html. – Дата доступа: 07.01.2012.
9. Электромагнитное реле РК-1Р/Web-страница компании ООО «Электротехнологии»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://www.eltehno.ru/index.php?page=prod&part=3_3_15_1. – Дата доступа: 07.01.2012.
10. Пускатель реверсивный ПБР-12А/Web-страница компании ООО «НПФ «Битек»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.bitek-e.ru/pbr.htm>. – Дата доступа: 07.01.2012.
11. Реле силовое 04050 20А 2р 220В/ Web-страница компании «Комэлектро»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://com-electro.ru/product11287>. – Дата доступа: 08.01.2012.
12. Привод SIEMENS GDB/Web-страница компании «АВ Автоматика»/ [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.av-avtomatika.ru/catalog/207.htm>. – Дата доступа: 08.01.2012.

Поступила 24.01.2012

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR WOOD DRYING PLANT WHICH COBMBINES MICROWAVE AND CONVECTION HEATING

Y. MATELENOK, A. ADAMOVICH, Y. GROZBERG

The article is about working out an automatic control system of a wood drying plant using both microwave and convection heating. The article describes the main stages of combined drying when there is usage of microwave heating and convection heating by hot air. There is the scheme of automation of the process, which provides control of all the parameters and system control, so it guarantees optimum performance of the drying plant. The main principle of operation of this system is described in details. The main advantages of this system are mentioned.