



В. В. Беспалов  
С. В. Совина  
В. В. Шипилов

# **АВТОМАТИКА ЛЕСОСУШИЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Екатеринбург  
УГЛТУ  
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

Кафедра управления в технических системах  
и инновационных технологий

В. В. Беспалов  
В. В. Совина  
В. В. Шипилов

## **Автоматика лесосушильного процесса**

Методические указания для проведения занятий, организации  
самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки  
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Екатеринбург  
УГЛТУ  
2024

Печатается по рекомендации методической комиссии Инженерно-технического института УГЛТУ.

Протокол № 2 от 5 октября 2023 г.

Рецензент – заведующий кафедрой управления в технических системах и инновационных технологий, д-р техн. наук *А. Г. Гороховский*

Предназначены для всех обучающихся, осваивающих образовательные программы всех направлений и специальностей высшего образования, реализуемых в УГЛТУ.

Редактор З. Р. Картавцева

Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

---

Подписано в печать 25.11.2024

Плоская печать

Формат 60×84/16

Поз. 23

Заказ №

Печ. л. 1,35

Тираж 10 экз.

---

Редакционно-издательский сектор РИО УГЛТУ

Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

## Оглавление

Общие сведения.....	4
Иерархия систем управления (автоматики) лесосушильных камер.....	5
Контроллеры.....	8
Измерительные преобразователи .....	10
Исполнительные механизмы .....	17
Щиты управления .....	21
Библиографический список.....	22

## Общие сведения

Процесс сушки длительный, состоящий из нескольких этапов (фаз), многопараметрический процесс. При этом показатели процесса взаимосвязаны между собой. Например, при увеличении температуры уменьшается относительная (и равновесная) влажность воздуха.

Чем выше требования к качеству пиломатериалов, тем длительнее сушка, больше управляемых параметров и точность их контроля. Соответственно, более сложной и дорогой становится камера и система автоматизации. Увеличивается число датчиков и исполнительных механизмов, требуется более сложный контроллер с возможностью редактирования как заложенных программ сушки, так и пользовательских.

Рассматривать будем лесосушильные камеры с принудительной воздушной конвекцией. Прочие типы (с естественной циркуляцией, вакуумные, СВЧ и пр.) при наличии некоторых преимуществ не обеспечивают промышленный объем продукции (рис. 1).



Рис. 1. Конвекционная лесосушильная камера двойная со сдвижными воротами<sup>1</sup>

Естественно, что во всех камерах присутствуют электровентиляторы соответствующей мощности с необходимой электроаппаратурой, обеспечивающей их включение, выключение, защиту и регулирование. В основном используют осевые вентиляторы (пропеллерные), установленные непосредственно в камере на несущем каркасе (ферме) между крышей

---

<sup>1</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).

и фальшпотолком (очень неудобно обслуживать), которые обеспечивают быстрый, мощный и реверсируемый воздушный поток (рис. 2).



Рис. 2. Каркас с электровентиляторами. За ними линейка водяных теплообменников<sup>2</sup>

Иногда используют вентиляторы типа «улитка» (беличье колесо), устанавливаемые снаружи камеры, что обеспечивает простоту установки, подключения, обслуживания и замены. Эти вентиляторы также хороши тем, что позволяют использовать электродвигатели общепромышленного назначения. Но невозможность реверсирования воздушного потока, шумность и более низкий КПД привели к вытеснению их осевыми вентиляторами. Следует особо отметить тщательность подключения пропеллерных электродвигателей (трехфазные асинхронные с короткозамкнутым ротором влагопарозащитное исполнение) специальным термо-, влагостойким и гибким кабелем с использованием металлических герметичных вводов и силиконового нейтрального герметика.

## **Иерархия систем управления (автоматики) лесосушильных камер**

Самая простая система измеряет только температуру воздуха, регулирование ручное. Используют, когда необходимо просто высушить или предварительно подсушить. Речь здесь идет не о качестве. Требуется оператор для постоянного управления. Все оборудование – градусник и ручной кран подачи теплоносителя (больше, меньше).

На следующем уровне сложности применяют измеритель-регулятор температуры и исполнительный механизм, обеспечивающий изменение температуры путем увеличения и уменьшения энергии, поступающей

---

<sup>2</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).

в камеру (включить, выключить нагреватель или большее, меньшее количество теплоносителя (вода, пар)). Прибор обеспечивает измерение, индикацию, возможность изменения заданной температуры и выработывает сигналы управления для соответствующего регулирующего устройства (рис. 3).



Рис. 3. Двухканальный регулятор

Немного лучшее качество обеспечивает измеритель-регулятор с возможностью задания циклограмм. Предварительный нагрев, выдержка, основной нагрев, выдержка и т. п. От оператора требуется настроить прибор, запустить процесс, далее сушка идет автоматически.

Значительное повышение качества сушки обеспечивает использование датчиков влажности воздуха. Методы ее измерения рассмотрим позже. Здесь помимо канала регулирования «температура – энергия», появляется второй «влажность – количество воды». Оба контура регулирования взаимосвязаны, что требует усложнения контроллера управления и программ, обеспечивающих проведение фаз сушки по различным условиям начала, окончания, режимов фазы (время, температура, влажность, их сочетания и градиенты), рис. 4.



Рис. 4. Контроллер регулятор сушильных камер (не только древесины)

Для увеличения влажности используют электромагнитные форсунки, распыляющие воду под давлением непосредственно в поток воздуха (рис. 5).



Рис. 5. Комплектность форсунки и пример установки с краном для слива воды напротив теплообменника

Соответственно, требуется незамерзающий источник водоснабжения и автоматическая станция подкачки, а также оборудование, обеспечивающее управление форсунками.

При необходимости уменьшить влажность для обеспечения оптимального гидротермического режима, открывают с помощью поворотных заслонок вентиляционные колодцы с напорной и всасывающей сторон вентиляторов циркуляции воздуха. За счет разницы давлений происходит быстрое проветривание камеры и влажность падает (рис. 6).



Рис. 6. Вентиляционные колодцы с жалюзи и поворотным электроприводом<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).



Иногда используют вентилятор – вытяжку, типа беличье колесо (улитка), рис. 7.



Рис. 7. Центробежный вытяжной вентилятор типа улитка<sup>4</sup>

При проветривании начинает падать температура, особенно зимой, поэтому контроллер отслеживает оба параметра (заслонки открываются постепенно с одновременным увеличением количества теплоносителя, протекающего через радиаторы или возрастанием электрической мощности нагрева).

## Контроллеры

Наилучшее качество сушки обеспечивает использование контроллера, который имеет несколько каналов (датчиков), измеряющих влажность самого пиломатериала. С точки зрения метрологии – это сложная задача, решаемая хитроумными инструментальными и программными средствами.

Контроллер, приведенный на рис. 8, имеет программы сушки только заводские. Пользователь не имеет возможности вести сушку по собственным программам (рис. 8).

---

<sup>4</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).



Рис. 8. Пример контроллера с психрометрическим способом измерения влажности воздуха и измерением влажности древесины

Современные контроллеры в процессе сушки оперируют равновесной влажностью воздуха, а не относительной (рис. 9).



Рис. 9. Контроллер с регулированием равновесной влажности воздуха и древесины

Несколько программ сушки с возможностью редактирования пользователем по ограниченному числу параметров (рис. 10).



Рис. 10. Контроллер LiTouch с сенсорным экраном, многоканальным измерением температуры и влажности

Существует много заводских программ и возможностей создания многопараметрических пользовательских циклов сушки.

## Измерительные преобразователи

Температура – это основной параметр сушки (градиент, выдержка), который регулируется изменением тепловой энергии, поступающей в камеру. Для нагрева воздуха используют радиаторы, устанавливаемые на одной оси с вентиляторами в непосредственной близости от них (рис. 11).



Рис. 11. Электровентилятор и воздушный тэн с датчиком температуры самого тэна

Радиаторы могут быть следующих типов: «воздух – воздух», «воздух – вода», «воздух – пар», электрические с воздушными Тэнами (тепло электро-

нагреватель) или водяными. Воздушные ТЭны имеют самый простой конструктив и система автоматики тоже по идее несложна (включить-выключить) и неинерционная, но воздушные тэны склонны к перегоранию, поэтому система управления помимо посекционного подключения тэнов (в зависимости от требуемой температуры в камере и уменьшения бросков потребляемой электроэнергии) должна обеспечивать контроль температуры тэнов (не только температуры воздуха в камере!) и их отключение при перегреве, а также при отключении вентилятора, не дожидаясь перегрева (рис. 12).



Рис. 12. Силовая коммутация тэнов. Шкаф управления с отдельным контроллером.  
Сам тэн с датчиком контроля собственной температуры

Данное обстоятельство приводит к резкому увеличению количества температурных датчиков. В идеале на каждую секцию каждого радиатора, что влечет за собой использование отдельного многоканального контроллера. Желательно так же контролировать исправность тэнов, путем измерения силы тока, чтобы избежать ситуации недостаточной мощности нагрева из-за накопления перегоревших тэнов. Соответственно, нужны датчики силы тока и опять же контроллер.

Использование электрического водогрейного котла (рис. 13) снимает некоторые вышеперечисленные проблемы, но приводит к другим.



Рис. 13. Пример жидкостного электродкотла без трубной обвязки



Появление трубной системы, водо-воздушных радиаторов, циркуляционного насоса, системы подпитки требует от управляющей системы контроля температуры и давления воды (антифриза), а также ее циркуляции (датчики температуры и давления, реле потока соответственно), рис. 14.



Рис. 14. Пример циркуляционной системы жидкостного котла

Использование электроэнергии для основного нагрева из-за ее стоимости и трудностей получения выделенной высокой мощности (40 кВт на секцию) за городом встречается редко, тем более для крупных камер. Для аварийного подогрева или в действующих цехах крупных заводов ее применение вполне оправданно.

Очень редко теплоносителем является перегретый пар, берущийся из заводской магистрали. Использование пара влечет за собой существенное усложнение оборудования и опасность его обслуживания (рис. 15).



Рис. 15. Пример паровой трубной системы

В качестве источников тепла, помимо электрокотлов или пара, в основном используются котлы, в которых сжигаются солярка, уголь, газ, древесина. В условиях деревообрабатывающей промышленности целесообразно для получения требуемого температурного режима сушки в качестве источника энергии использовать отходы деревообработки (щепы, стружка, обрезки, поленья, пеллеты и пр.). Задача твердотопливного древесного котла обеспечить нужную тепловую мощность на каждой фазе сушки. Естественно, мощность котла должна быть больше максимальной потребляемой сушильными камерами. Котлы различают воздухогрейные и водогрейные. Конструкции и способы автоматизации котлов тема другой методички (рис. 16).



Рис. 16. Твердотопливный жидкостный котел. Твердотопливный воздушный котел. Теплообменник воздух-воздух<sup>5</sup>

Отметим только, что с меньшими сложностями управляются водогрейные котлы. У воздухогрейных котлов практически невозможно обеспечить быстрое и точное поддержание температуры воздуха в камере, что ухудшает качество сушки. Поэтому на практике воздухогрейные котлы используют в мобильных небольших камерах (контейнер) с пониженными требованиями к качеству высушенных пиломатериалов (рис. 17).



Рис. 17. Мобильная контейнерная сушильная камера

---

<sup>5</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).

Понятно, что размер камеры и требуемое качество сушки определяет сложность и стоимость автоматизированной системы управления. Нет смысла ставить «навороченный» контроллер в мобильную камеру за редким исключением.

Для измерения температуры используют или общепромышленные датчики различного исполнения, где чувствительным элементом является металлический сплав (медь, платина), увеличивающий свое сопротивление с ростом температуры, или полупроводниковые, имеющие отрицательный градиент. Полупроводниковые датчики (NTC) значительно дешевле, имеют большую чувствительность и меньшие габариты и поэтому, несмотря на низкую надежность, используются очень часто. Отметим, что для металлических используют трехпроводную систему, а для NTC – двухпроводную. Датчики измерения температуры воздуха стараются устанавливать в местах, где скорость воздушного потока велика (рис. 18).



Рис. 18. Примеры датчиков. Установленный в камере датчик температуры воздуха

При измерении влажности воздуха наиболее простым является психрометрический метод (разница показаний сухого и мокрого датчиков температуры), но технически трудно обеспечивать гарантированное увлажнение мокрого датчика в процессе многодневного цикла сушки (рис. 19). На практике это приводит к окончанию цикла раньше времени, что сначала радуется технолога, а потом вынужденного запускать повторный цикл.



Рис. 19. Психрометрические датчики. Вверху сухой, внизу влажный

В настоящее время данный метод пользуется все меньшей популярностью, т. к. появились интегрированные резисторноемкостные датчики относительной влажности (рис. 20).



Рис. 20. Интегральный датчик влажности воздуха

Данные датчики требуют периодической поверки, поэтому **наилучшим способом является измерение равновесной влажности воздуха** (состояние, при котором концентрация влаги в воздухе достигает уровня, когда она больше не испаряется и не конденсируется). Контроль производится посредством измерения сопротивления целлюлозной пластинки (рис. 21).



Рис. 21. Измерительная целлюлозная пластина



Данный способ сначала вызывает у технологов, привыкших к относительной влажности, некоторые трудности с восприятием, но в дальнейшем при привыкании, как показала практика, данный параметр очень нагляден и удобен. Места установки измерительных элементов влажности воздуха практически всегда совмещены с местами нахождения датчиков температуры воздуха.

Измерение влажности древесины наиболее сложная технически и технологически реализуемая операция. Влажность необходимо непрерывно контролировать в большом диапазоне (начальная и конечная влажность пиломатериалов) на протяжении всего цикла сушки, без доступа внутрь камеры, в условиях электромагнитных наводок, вибраций, температурных, влажностных и скоростных пульсаций воздуха. На данный момент практически работоспособен метод контроля, основанный на многократном измерении активной составляющей сопротивления лесопиломатериалов постоянным током с периодической сменой полярности для исключения влияния электробиохимических процессов, протекающих в древесине, с последующей программной математической обработкой результатов в контроллере. Сопротивление измеряется между парой нержавеющей электродов-саморезов, вкручиваемых на определенном расстоянии между собой в пластину доски по указанным в инструкции правилам и соединяемых специальными кабелями с измерительными станциями. В станции установлены датчики температуры и влажности воздуха. Станции подключены к измерительному прибору специальными калиброванными кабелями с тефлоновой изоляцией (рис. 22).



Рис. 22. Измерительная станция с датчиком температуры, местом установки целлюлозной пластины и гнездами подключения проводов датчиков древесины. Провод для датчиков. Саморезы для измерения влажности древесины. Пример установки саморезов

Если расстояния большие, то используют промежуточные усилители-преобразователи с цифровым выходом (485 интерфейс). Количество пар электродов зависит от объёма камеры и колеблется от 2 до 32, обычно 4–8. Чем больше число пар, тем точнее измерения, но дороже оборудование.

## Исполнительные механизмы

Рассмотрим исполнительные механизмы, необходимые для регулирования (управления) процесса сушки в камерах с принудительной конвекцией нагреваемого воздуха. Как отмечалось выше, циркуляция осуществляется вентиляторами, приводимыми в действие асинхронными трехфазными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Управление электродвигателями в режиме пуск, стоп, реверс производится по классической схеме с использованием контакторов, подключенных к соответствующим дискретным выходам контроллера, которые иногда выполнены в виде отдельного модуля (рис. 23).



Рис. 23. Модуль контроллера с дискретными и аналоговыми выходами для управления исполнительными механизмами

При необходимости возможно пропорциональное управление вентиляторами с помощью частотного привода, подключенного к аналоговому выходу контроллера (рис. 24).



Рис. 24. Частотно-регулируемый привод

Практически используется редко из-за высокой стоимости регулирующих частоту вращения электросиловых устройств и слабого эффекта от изменения скорости потока воздуха.

Способ изменения температуры в камере естественно зависит от используемого способа получения тепловой энергии. Если воздушные тэны, то включение и выключение контакторов всех одновременно (нежелательно из-за больших скачков потребляемой электроэнергии) или по каскаду. Непосредственное управление осуществляется с помощью отдельного контроллера, получающего сигнал о требуемой температуре от основного. Подключение секций тэнов осуществляется или в функции времени, или пропорционально требуемой мощности (температуре). Немного сложнее схема при использовании водяных тэнов и водовоздушных теплообменников в силу большой инерционности такой конструкции. Приходится управлять как самими тэнами, так и количеством теплоносителя, циркулирующего через радиаторы. Несмотря на кажущееся усложнение системы, вариант с жидкостным теплоносителем и радиаторами для нагрева воздуха в лесосушильной камере с различными котлами (электрические, дровяные и пр.) наиболее популярен. Изменение интенсивности циркуляции жидкости через теплообменники осуществляется или изменением производительности циркуляционного насоса (частотный привод), или с помощью трехходового крана с байпасной системой (рис. 25).



Рис. 25. Трехходовой кран с поворотным электроприводом.  
Пример установки на трубах

Кран в зависимости от используемого типа электропривода может работать в четырех режимах: «открыто – закрыто», «открыто – стоп – закрыто», «псевдопропорциональный» (степень открытия определяется временем импульса управления), «пропорциональный» (наилучший, но требует соответствующего более дорогого оборудования). Следует отметить желательность наличия обратной связи о текущем положении механизма, хотя бы для индикации положения механизма для оператора.

При необходимости увеличить влажность воздуха в камере подключают форсунки с помощью водяного электромагнитного клапана, установленного на напорной магистрали, распыляющие воду в поток воздуха как можно ближе к вентиляторам (рис. 26).



Рис. 26. Водяной нормально закрытый электромагнитный клапан

При отсутствии водопровода приходится использовать системы автономного водоснабжения (бак, станция подкачки и пр.). Емкость бака должна быть достаточной для всего цикла сушки. В зимнее время необходимо предусматривать возможность замерзания водяной системы (подогрев, слив), рис. 27.





Рис. 27. Пример автономного водоснабжения

Для уменьшения влажности воздуха открывают заслонки (жалюзи) в вентиляционных каналах при помощи поворотных исполнительных механизмов, которые в чем-то похожи на приводы трехходовых кранов (закон управления, внутренний конструктив), рис. 28.



Рис. 28. Поворотный электропривод для заслонок. Пример установки

Следует отметить повышенные требования к данным механизмам: паро- и водостойкость, пониженные температуры, перегрузочная способность.

## Щиты управления

На практике в системах управления могут встречаться самые различные комбинации используемого оборудования. Твердотопливный котел с ручным управлением и огромные камеры с самым дорогим контроллером, и наоборот, много автоматики на котле и ручное управление сушкой (рис. 29).



Рис. 29. Примеры шкафов систем автоматики лесосушильных камер<sup>6</sup>

У всех систем много общего. Примерный состав выглядит следующим образом: шкаф, контроллеры, органы управления (кнопки, переключатели), индикаторы состояния исполнительных механизмов (лампы, звуковые извещатели, стрелочные или цифровые приборы), электроснабжение с элементами защиты и блокировки, силовые и промежуточные коммутационные элементы, присоединительные клеммы, провода и кабели с конструктивами их крепежа и прокладки, датчики, исполнительные механизмы. Количество, тип и качество элементов системы автоматики, ее структура и конфигурация определяются объектом управления (используемых технологий и оборудования), а также финансовой мощностью заказчика.

---

<sup>6</sup> Производитель – Proton : завод котельного оборудования. URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).

## Библиографический список

1. Proton : завод котельного оборудования. – URL: <https://kotel-proton.ru/> (дата обращения: 29.10.2024).
2. ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. – Москва: Стандартинформ. – 2008. – 14 с.

*Для заметок*



*Для заметок*