

**ТЕМА: Проектирование автоматизированной системы управления процессом сушки древесины в
ОАО «Алеусский лес»**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ	
2 ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ	
2.1 Процесс сушки древесины	
2.2 Способы сушки древесины.....	
2.2.1 Сушка в жидкостях	
2.2.2 Конденсационный способ сушки	
2.2.3 Атмосферная сушка	
2.2.4 Камерная и атмосферно-камерная сушка	
2.2.5 Ротационный способ сушки	
2.2.6 Вакуумный способ сушки	
2.3 Технологический процесс сушки древесины	
2.4 Влага в древесине.....	
2.4.1 Основные способы определения влажности древесины.....	
2.5 Контроль за влажностью древесины и внутренними напряжениями в процессе сушки	
2.6 Качество сушки пиломатериалов. Окончание процесса сушки	
2.7 Влияние сушки древесины на ее прочность.....	
2.8 Особенности расчета производительности с учетом работы сушильных камер.....	
2.9 Совершенствование процесса сушки.....	
2.10 Рекомендации для проведения камерной сушки.....	
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	
3.1 Лесосушильная камера как объект регуляции	
3.2 Расчет контура регулировки температуры	

4	ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ	
4.1	Выбор и обоснование структуры системы управления и ее описание	
4.2	Выбор комплекса технических средств	
4.2.1	Датчики температуры	
4.2.2	Сенсор относительной влажности	
4.2.3	Центробежный вентилятор	
4.2.4	Электрокалорифер	
4.2.5	Циркуляционный насос	
4.3	Выбор микроконтроллера	
4.3.1	Характеристика микроконтроллера	
4.3.2	Особенности микроконтроллеров PIC16F87X	
4.3.3	Система команд микроконтроллера	
4.4	Структура и метрологические характеристики каналов контроля и регуляции	
5	ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	
5.1	Алгоритм работы системы	
6	БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА	
6.1	Общие положения	
6.2	Анализ состояния охраны труда на ОАО «Алеусский лес»	
6.2.1	Состояние организационной работы	
6.2.2	Состояние производственной санитарии	
6.2.3	Состояние противопожарной защиты	
6.3	Мероприятия по улучшению охраны труда на ОАО «Алеусский лес»	
6.4	Требования охраны труда при транспортных работах в сушильных цехах	
6.5	Охрана труда при обслуживании сушильных камер и противопожарные мероприятия	
6.6	Инженерные расчеты по охране труда	

6.6.1 Расчет защитного заземления.....	
6.6.2 Расчет молниезащиты.....	123
7, ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ В ОАО «АЛЕУССКИЙ ЛЕС»	
7.1 Характеристики сушильной камеры КСК – 100	
7.2 Определение капитальных вложений	
7.3 Годовые эксплуатационные затраты сушки.....	
7.3.1 Ежегодные амортизационные отчисления	
7.3.2 Ежегодные отчисления на ремонт	
7.3.3 Ежегодные затраты на пиломатериал	
7.3.4 Затраты на электроэнергию.....	
7.3.5 Затраты на заработную плату.....	
7.3.6 Затраты на охрану труда.....	
7.3.7 Прочие затраты	
7.4 Определение цены	
7.5 Определение балансовой прибыли	
7.6 Эксплуатационные затраты на сушку с учетом автоматизации.....	
7.7 Определение стоимости 1 м ³ высушенного пиломатериала и балансовой прибыли с учетом автоматизации процесса сушки	
7.8 Определение экономического эффекта	
7.9 Срок окупаемости капиталовложений в проектом варианте и коэффициент экономической эффективности капиталовложений	
7.10 Сравнительный экономический эффект и среднегодовой экономический эффект.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	
Учебные пособия и справочники.....	
Методические пособия	

Интернет-ресурсы

ВВЕДЕНИЕ

По оценке специалистов, в России обязательной сушке подвергается в настоящее время не более 15% всех пиломатериалов. Причина тому - несовершенство существующих технологий, которые основаны на изменении агрегатного состояния воды (испарении) и отличаются только способами нагрева древесины, испарения жидкости, подведения необходимой для этой цели энергии и способами отвода содержащегося в сушильной камере газа.

Сушка древесины, является энергоемким процессом, связанным со значительной затратой топлива, пара, а также электроэнергии, а следовательно использование высокоточной автоматики позволит значительно сократить срок сушки и снизить энергетические затраты. Сушат древесину в виде пиломатериалов (досок, брусьев, заготовок), шпон (тонколистового материала), щеп, стружки и волокон. Также распространенным является сушка круглого лесоматериала (детали опор линий электропередачи, связки, строительные детали).

Древесину высушивают с целью: предупреждения размеро- и формоизменяемости деталей; предотвращение порчи и загнивания; увеличение удельной прочности; повышение качества обработки и склеивания.

Широкое внедрение систем автоматизации дает народному хозяйству вместе с прямым экономическим эффектом значительный организационный эффект, потому что требует специалистов высокой квалификации и повышает общий уровень организации производства, улучшает стиль и эффективность руководства. Поэтому уровень механизации и автоматизации производственных процессов является одним из важных показателей научно-технического прогресса в стране.

На данное время проблема автоматизации сушки древесины разрешалась путем использования устаревших приборов. Для контроля технологических параметров использовались аналоговые приборы с малым классом точности и техническими показателями, которые не отвечают современным требованиям.

Параллельно с устаревшим оборудованием, в последнее время, на рынке автоматики появились средства автоматизации, разработанные ведущими фирмами. Эти средства полностью удовлетворяют требованиям, поставленным перед автоматизацией процесса сушки, но негативным является тот фактор, что цены на них остаются недоступными.

Следовательно, устарела как моральная, так и физическая составляющая, существующего оборудования рядом с дороговизной и недоступностью современных средств автоматизации делает процесс сушки древесины, достаточно сложным, требует высокой квалификации работников и обслуживающего персонала.

Целью данного дипломного проекта является разработка системы автоматического управления процессом сушки древесины в трехступенчатой сушильной камере с минимальными материальными затратами на разработку, и простым интуитивным интерфейсом для пользователя-оператора, также с оптимальными техническими показателями и высокой степенью надежности. Процесс трехступенчатой сушки требует контроля основных параметров его протекания, а именно: температуры и влажности в камере, влажности высушиваемого материала; управление ходом процесса высушивания путем изменения подачи нагретого воздуха и вентилирования камеры для создания необходимой влажности.

В дипломном проекте предусматривается решение вопросов контроля параметров. Для более качественного сбора технологических параметров запроектируем использование нескольких датчиков температуры, влажности в камере и влажности пиломатериалов. Для избегания возможной погрешности измерения связанной с неоднородностью среды в камере конечное значение измеряемых параметров будет удобно высчитывать как среднее значение показателей датчиков. Это даст возможность точнее, и главное быстрее реагировать на смену состояния объекта автоматизации. Также целесообразным будет использование электронных датчиков влажности и температуры, которые позволят устранить ряд погрешностей, тем самым сделает процесс измерения быстрее и значительно более точным.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ

ОАО «Алеусский лес», Агентства лесного хозяйства по Алтайскому краю и Республике Алтай расположено в северо-западной части Алтайского края на территории Панкрушихинского и Крутихинского административных районов.

Центральный офис ОАО «Алеусский лес» находится в районном центре – с. Панкрушиха на расстоянии 280 км от краевого центра г. Барнаула.

Почтовый адрес: 658760, Алтайский край, Панкрушихинский район, с.Панкрушиха, ул. Советская, 29.

В административно-хозяйственном отношении ОАО «Алеусский лес» разделен на пять лесничеств (таблица 1.1) и два распиловочных цеха.

Таблица 1.1 – Структура лесничеств ОАО «Алеусский лес»

Лесничества	Административный район	Общая площадь, га	Местонахождение лесничеств
1. Велижанское	Панкрушихинский	10020	с. Велижанка, Панкрушихинского района
2. Панкрушихинское	Панкрушихинский	10130	с. Панкрушиха, Панкрушихинского района
3. Высоко-Гривское	Панкрушихинский	12980	с. Высокая Грива, Панкрушихинского района
4. Прыганское	Крутихинский	13042	с. Прыганка, Крутихинского района

5. Пустынное	Крутихинский	16229	с. Долганка, Крутихинского района
ИТОГО по лесничествам:		62401	
В том числе по районам:	Панкрушихинский	33130	
	Крутихинский	29271	

Целью деятельности ОАО «Алеусский лес» является расширение рынка товаров и услуг, а также извлечение прибыли. Предметом деятельности Общества является:

- Лесное хозяйство и предоставление услуг в этой области;
- Лесоводство и лесозаготовки;
- Первичная переработка лесоматериалов хвойных и лиственных пород;
- Заготовка, а также глубокая переработка древесины, переработка древесных отходов и дров;
- Заготовка леса и производство деловой древесины;
- Валка леса;
- Раскряжевка хлыстов на сортименты;
- Заготовка деревьев с кроной;
- Производство различных видов топлива из древесины и древесных отходов;
- Производство древесной щепы;
- Сбор дикорастущих и недревесных лесопродуктов, в том числе: сбор смол, растительных соков, трав, мхов и лишайников, используемых для плетения, набивки, окрашивания или дубления, сбор семян для выращивания дикорастущих растений;
- Выращивание и сбор грибов;
- Сбор и переработка лекарственных растений и трав;

- Лесоводство в том числе: выращивание, посадка, пересадка саженцев, прореживание и охрана лесов и лесосек, выращивание молодого порослевого леса и деловой древесины, выращивание и продажа новогодних елок, выращивание и продажа растительных материалов, используемых для плетения, выращивание семян деревьев и кустарников;
- Деятельность лесопитомников в том числе: выращивание семян, деревьев и кустарников, выращивание прочей продукции питомников;
- Предоставление услуг в области лесоводства и лесозаготовок, в том числе: предоставление услуг по таксации леса, оценка леса (в аспекте промышленного использования), предоставление услуг по защите леса от вредителей и болезней, предоставление услуг по защите леса от пожара, включая предупредительные мероприятия и тушение лесных пожаров, предоставление услуг по лесомелиорации, предоставление услуг по транспортированию бревен в пределах леса и др.;
- Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки;
- Распиловка и строгание древесины; пропитка древесины, в том числе: сушка древесины, распиловка, строгание и другие виды механической обработки древесины, в том числе профилирование пиломатериалов по кромке или по пласту, производство деревянных железнодорожных шпал и другой продукции шпалопиления, производство ненаборных деревянных покрытий для пола, производство древесной муки, щепы и стружки, пропитка и химическая обработка древесины консервантами и другими веществами;
- Производство гонта, дранки, деревянных плинтусов, наличников и аналогичных фигурных профилированных изделий;
- Производство листов для клееной фанеры;
- Производство деревянных конструкций, включая сборные деревянные строения, и столярных изделий;

- Производство сборных деревянных строений, в том числе производство сборных деревянных строений различного назначения: жилых домов, рабочих бытовок, хозблоков, контор, гаражей, теплиц и т.п.;
- Производство деревянной тары;
- Производство прочих изделий из дерева и пробки, соломки и материалов для плетения;
- Производство прочих изделий из дерева;
- Предоставление услуг по закладке, обработке и содержанию садов, парков и других зеленых насаждений;
- Деятельность агентов по оптовой торговле лесоматериалами и строительными материалами;
- Розничная торговля изделиями из дерева, пробки и плетеными изделиями;
- Розничная торговля лесоматериалами.

Все вышеперечисленные виды деятельности осуществляются в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации и Алтайского края. Отдельными видами деятельности, перечень которых определяется специальными федеральными законами, Общество может заниматься только на основании специального разрешения (лицензия).

Общество осуществляет внешнеэкономическую деятельность в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации и Алтайского края.

Для достижения целей своей деятельности Общество может приобретать права, исполнять обязанности и осуществлять любые действия, которые не будут противоречить действующему законодательству РФ и Уставу ОАО «Алеусский лес».

Общество в праве:

- осуществлять свою деятельность как в России, так и за рубежом на основании заключенных договоров или в ином порядке, предусмотренном действующим законодательством;

- участвовать в деятельности других юридических лиц путем приобретения их акций, долей в уставных капиталах, внесения паевых взносов и т.д., в том числе участвовать в некоммерческих организациях;
- создания совместных юридических лиц с иностранными юридическими лицами и гражданами в соответствии с действующим законодательством.

На данном предприятии работает четыреста семьдесят девять человек, в том числе ИТР и бухгалтерии семьдесят пять человек.

На предприятии имеется большой автотракторный парк: 83 автомобиля и 39 тракторов в том числе: 40 грузовых автомобилей на базе ЗИЛ-131 и «Урал», из них 17 лесовозов оснащены лесопогрузчиками (фискарс) типа «Атлант С-90», 7 пожарных автомобилей, 6 автомобилей КАМАЗ с прицепами, 2 автомобиля МАЗ оснащенных полуприцепами, 19 автомобилей УАЗ, 2 бензовоза на базе Урал, 1 автомобиль на базе Урал для химической обработки, 4 автомобиля «Нива», 1 FORD MAVERIK и 1 TOYOTA Land Cruiser 120.

Общая установленная мощность электрооборудования на предприятии составляет 1268,87 кВт. Также на балансе предприятия имеется два КТП 10/0,4 кВ, мощностью 630 кВА и 400 кВА. Среднегодовой расход электроэнергии составляет 1032 тыс.кВт*час.

В ОАО «Алеусский лес» сушка древесины осуществляется в сушильной камере устаревшей конструкции. Влажность и температуру в камере измеряют аналоговыми приборами с малым классом точности. Влажность древесины определяют электровлагомером типа: ЭВА-2М, что не очень удобно с точки зрения процесса сушки, так как неоднократно приходится останавливать процесс для снятия замеров. Данный прибор не удобен ещё тем, что шкала отградуирована в процентах влажности для сосны при температуре 20 °С и работникам приходится пользоваться таблицами для внесения поправок в показания прибора, что увеличивает непосредственно сам процесс сушки, но и влияние человеческого фактора на конечный результат.

Для того, что бы исключить выше перечисленные факторы необходимо установить в сушильную камеру автоматизированную систему управления процессом сушки древесины и заменить устаревшее оборудование на более современное.

2 ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

2.1 Процесс сушки древесины

Сушка пиломатериалов является энергоемким процессом, связанным со значительной затратой топлива, пара, электроэнергии, а следовательно использование высокоточной автоматики позволит значительно сократить сроки сушки и снизить энергетические затраты.

На предприятиях сушку древесины осуществляют в виде пиломатериалов (досок, брусьев, заготовок), шпон (тонколистового материала), щеп, стружки и волокон. Иногда имеет место сушение круглых лесоматериалов (детали опор линий электропередачи, связки, строительные детали).

В результате сушки древесина из естественного сырья превращается в промышленный материал, который отвечает самым разнообразным требованиям, которые выдвигаются к нему в разных производственных и бытовых условиях. При снижении влажности древесины улучшаются ее физико-механические и эксплуатационные свойства. Известно, что при изменении содержания влаги в древесных сортаментах изменяются их размеры и форма. В тех случаях, когда при эксплуатации изделий из древесины необходимо постоянство размеров и формы деталей, их влажность должна быть предварительно доведена до определенного уровня, который отвечает условиям эксплуатации этих изделий, то есть к эксплуатационной влажности. Древесина, которая содержит большое количество влаги, легко поражается грибами, в результате чего она загнивает. Сухая же древесина отличается большой стойкостью. Снижение влажности древесины приводит к снижению ее массы и одновременному повышению прочности. Сухая древесина, в отличие от сырой, легко клеится, хорошо поддается обработке. Контроль за конечным показателем влажности является главным фактором в процессе сушки [5].

Таким образом, древесину высушивают с целью:

- предотвращение порчи и загнивания, т.е. сохранности материала;
- увеличение удельной прочности;
- повышение качества обработки и склеивания;
- улучшения изоляционной способности;
- появляется возможность использовать химикаты;
- минимальное изменение размеров и формы готовой продукции;
- улучшение и расширение возможности использования поверхности.

Выбор способа сушки и сушильного оборудования определяется рядом факторов: породным и сортиментным составом пиломатериалов, которые высушиваются, стоимостью энергоносителей, необходимой производительностью, условиями и инвестиционными возможностями потребителей. Сушильная камера с энергосберегающими технологиями – обязательное условие рентабельной работы.

На данный момент на рынке сушильных камер 90-95% классического типа – конвективные с разными системами протяжно-вытяжной вентиляции и видами теплоносителей. Их преимущества: небольшие капитальные расходы, простота процесса сушки, удобство технического обслуживания.

Циркуляционная система сушки должна обеспечивать необходимую скорость и равномерность распределения сушильного агента по материалу для разных пород с целью получения высшего качества и оптимальной длительности процесса. Для побуждения циркуляции сушильного агента используют осевые и, в отдельных случаях при большом сопротивлении циркуляционного тракта, центробежные вентиляторы. Для этого оборудованию должны предъявляться жесткие требования по его надежности при эксплуатации в среде с повышенной температурой и влажностью.

Тепловая энергия для сушилок производится в котельных. Теплоносителем является пар или горячая вода. Электроэнергию, в результате высокой це-

ны, используют в редких случаях. Хотя в последнее время значительная часть материала высушивается в камерах, которые работают на электроэнергию.

Параметры среды в сушильной камере, как правило, измеряют психрометром. Управление и регуляция процесса сушки осуществляется автоматически.

Рядом с традиционными конвективными сушилками определенное распространение получили вакуумные и конденсационные сушилки.

Вакуумные сушилки целесообразно использовать для сушки древесины твердых лиственных пород большого сечения (50 мм и больше), когда длительность процесса является важным фактором. При покупке таких камер нельзя забывать о больших капитальных вложениях.

Конденсационные сушилки используют в тех случаях, когда электроэнергия, как энергоноситель, наиболее дешевая по сравнению с другими видами. КПД таких сушилок наиболее высок при температуре сушильного агента до 45° С. При этих параметрах себестоимость процесса небольшая, зато срок сушки значительный.

Раньше основной объем сушки осуществлялся на деревообрабатывающих и лесопильных предприятиях, где сооружались большие сушильные цеха производительностью до 100 тыс.м³ условного материала в год, в настоящий момент основная масса древесины переделывается на малых предприятиях, потребность которых может быть обеспечена одно - двумя камерами небольшой грузочной емкости.

Мебельные и деревообрабатывающие предприятия оснащены лесосушильными камерами обветшалых конструкций, которые находятся в аварийном состоянии и не могут обеспечить высокие требования к качеству изделий из древесины, которые выдвигает рынок на сегодняшний день.

Современные лесосушильные камеры позволяют достичь высокого качества сушки. Они оснащены системой автоматического управления процес-

сом и являются сложным комплексом, которое требует квалифицированного обслуживания.

Исключительно большое значение имеет качественная сушка древесины, без чего невозможен выпуск высококачественной продукции. Низкое качество сушки, обусловленное неудовлетворительным техническим состоянием сушильного оборудования и слабой технологической подготовкой обслуживающего персонала, приводит к неравномерности распределения конечной влажности, которая долгое время может оставаться незамеченной и отразиться тогда, когда изделие находится в эксплуатации.

2.2 Способы сушки древесины

Классификация способов сушки основывается на особенностях передачи тепла материалу, который высушивается, и по этому признаку можно выделить следующие виды сушки: конвективное, кондуктивное, радиационное, электрическое, акустическое [16]. В таблице 2.1 приведены виды и способы сушки древесины.

Таблица 2.1 – Виды и способы сушения древесины

Вид сушки	Сушильные агенты	Способ сушки	Основные особенности процессов
Конвективно-атмосферный	Воздух	На корню	Сушка с использованием несущей силы кроны живого дерева
	Воздух	Атмосферный	Сушка на открытых площадках под навесами
Конвек-	Воздух,	Газопаровой	Сушка в нагретой газовой среде

Тивно-тепловой	газ, водяной пар и его смеси		при атмосферном давлении
		Ротационный	Газопаровая сушка с использованием центробежного эффекта
	Вакуум	Вакуумный	Сушка в вакууме
	Жидкости	В жидкостях	Сушка с использованием нагретых жидких сушильных агентов
Кондуктивный	Воздух	Кондуктивный	Сушка с передачей тепла материалу с помощью теплопроводности при контакте с нагретыми поверхностями
Радиационный	Воздух	Радиационный	Сушка передачей тепла материалу излучениям
Электрический	Воздух	Диэлектрический	Сушка в электромагнитном поле ТВЧ или СВЧ с передачей тепла материалу за счет диэлектрических потерь
		Индукционный	Сушка в электромагнитном поле промышленной частоты с передачей тепла материалу внутри штабеля от ферромагнитных полей что нагревают индуктивными токами.

Практическая цель всех видов сушки сводится к минимуму конечной влажности древесины.

Выбор способа сушки, оборудования и организация процесса зависят от множества факторов, как технологического, так и местного значения. Основные факторы с целым рядом конкретных показателей следующие:

- требования к качеству и объему материалов, которые высушиваются;
- обеспечение энергоносителями;
- состав комплектации оборудования;
- условия размещения сушильных камер;
- финансовые возможности предприятия;
- обеспечение кадрами и др.

2.2.1 Сушка в жидкостях

В данном случае сушильным агентом служат гидрофобные и гидрофильные жидкости. Пиломатериал погружают в ванну с маслянистым веществом, нагретым выше 100°C , влага в древесине быстро нагревается до точки кипения, и образовавшийся пар, имеющий упругость выше атмосферного давления, будет стремиться выйти из древесины в воздух, преодолевая сопротивление слоя масла. На этом и основан способ сушки древесины в ваннах с петролатумом.

Петролатум — смесь парафинов и церезинов с высоковязким очищенным маслом, получается при химической переработке нефти. При температуре петролатума $120\text{—}130^{\circ}\text{C}$ сушка в нем происходит в 5—7 раз быстрее, чем в сушильных камерах. Существенным недостатком этого способа является то, что петролатум проникает в древесину. Загрязнение древесины петролатумом затрудняет ее механическую обработку, препятствует ее склеиванию и качественной отделке лаками. Поэтому петролатумную сушку применяют на небольших предприятиях для сортиментов, не подвергающихся дальнейшей механической обработке (шпалы, детали инженерных сооружений). Наличие пропитанного маслом слоя является иногда и полезным, так как защищает древесину от увлажнения.

Обезвоживание в гидрофобных жидкостях, маслах, расплавленных металлах или сере похоже на конвективную сушку при высокотемпературном режиме. Поэтому все негативные последствия: снижение прочности древесины; большие внутренние напряжения, характерные для высокотемпературного режима сушки, присутствуют и при данном способе сушки. Такой способ рекомендуется для сушки пиломатериалов из трудно проницаемой для жидкостей древесины, например лиственницы.

2.2.2 Конденсационный способ сушки

По принципу действия конденсационный способ относится к замкнутому циклу, то есть сушильный агент делает циркуляцию по камере без выбросов в атмосферу и, соответственно, без подпитки свежим воздухом. Воздух, насыщенный влагой отобранной из древесины, смачивает холодную поверхность и охлаждается до температуры ниже точки росы. Часть влаги, которая содержится в воздухе, конденсируется, а теплота, выделенная при этом, используется для подогрева сушильного агента. Как охладитель используется фреон.

Теоретически конденсационный сушильный цикл с холодильником, который играет роль теплового насоса, характеризуется нулевой затратой тепла на испарение влаги. Расходы электроэнергии здесь идут на прогрев материала и теплопотери, а также на повод компрессора и вентиляторов. Для компенсации тепловых потерь агрегат обеспечивается дополнительным калорифером с внешним электропитанием [11].

По данным заграничных фирм Hildebrand, Brunner, Vanicek энергопотребления конденсационных сушилок составляет 0,25...0,5 кВт*год на 1 кг выпариваемой воды в зависимости от влажности материала, увеличиваясь при ее снижении. Это приблизительно в два раза меньше затраты энергии в обычных сборно-металлических камерах периодического действия.

2.2.3 Атмосферная сушка

Атмосферная сушка является наиболее дешевым способом. Она не требует таких капитальных затрат, но для него необходим большой запас материала.

Известно, что древесина высушенная атмосферной сушкой может эксплуатироваться много столетий, если ее повторно не увлажнять.

Основным недостатком атмосферной сушки является то, что процесс не управляется: в районах с повышенной влажностью, увеличивается вероятность поражения пиломатериалов грибками, а на юге - растрескиванию.

Атмосферная сушка проводится в штабелях, которые располагаются на специальных подставках. Состояние сушильного агента - нестабильно, на него влияют климатические условия, время года и суток. В результате взаимодействия воздуха с древесиной, которая сушится в штабелях, создается своеобразный микроклимат: воздух имеет пониженную температуру, повышенную влажность и небольшую скорость циркуляции, по отношению к окружающей среде. Поэтому процесс атмосферной сушки продолжителен. Древесина высушивается до влажности 12...20% в зависимости от климатических условий, породы и толщины пиломатериала.

Существуют способы интенсификации процесса: применение более разреженного размещения штабелей, в соответствии с направлением господствующих ветров, использования принудительной циркуляции воздуха с помощью вентиляторов. Ускорение процесса, с одной стороны, сильно снижает возможность появления химических и прокладочных окрашиваний, синевы и гнили, но с другой стороны способствует снижению относительной влажности воздуха, который приводит к увеличению остаточных напряжений. Ускоренная атмосферная сушка позволяет довести материал до влажности 20...30% за время, которое составляет от 1/2 до 1/4 длительности процесса при обычной атмосферной.

2.2.4 Камерная и атмосферно-камерная сушка

Камерная сушка пиломатериалов - основной промышленный способ обезвоживания древесины, который реализуется в соответствующих помещениях – камерах.

Обычно под камерным понимают конвективно-тепловой вид сушки, осуществляемый в конвективных камерах разных конструкций.

Сушильные камеры могут иметь различные ограждения; быть стационарными или передвижными; осуществлять постоянную или периодическую сушку материала.

Камерная сушка на деревообрабатывающих и мебельных предприятиях стала интенсивно развиваться с 1930 г. И по сей день на многих предприятиях эксплуатируются камеры обветшалых конструкций - безвентиляторной с подвальным помещением, что работают по принципу естественной циркуляции воздуха, типа Грум-Гржимайло, Некар и др.

Выбор категории режима осуществляется в соответствии с потребностью в сухом материале, потому что длительности процесса при мягком и форсированном режимах отличаются более чем в два раза, а также от назначения материала, поскольку повышение уровня температуры высушивания ведет к потере прочности древесины.

Перемещение воздуха в камерах осуществляется с помощью осевых или центробежных вентиляторов. Значения скорости циркуляции воздуха по штабелю в современных камерах колеблются от 1,0 до 5,0 м/с в зависимости от породы древесины.

Преимущества камерной сушки по сравнению с атмосферной - это меньшая длительность, возможность управления процессом.

В связи с особенностями развития внутренних напряжений в древесине наиболее опасным является начальный период сушки до средней влажности материала 30%. Поэтому режимы камерной сушки построены так, чтобы первая

ступень, а по длительности она занимает около 40...45% всего срока сушки, была наиболее влажная. Это значит, что создается высокая степень насыщенности воздуха, что требует больших энергозатрат. При атмосферном подсушивании по материалу циркулирует влажный воздух низкой температуры, то есть создается микроклимат достаточно безопасный для состояния древесины.

Для пиломатериалов твердых лиственных пород подсушивание желательно проводить в специальных низкотемпературных камерах при температуре до 40°C. В этом случае процесс подсушивания управляется, длительность его в 5 – 8 раз меньше, чем при атмосферном подсушивании, уменьшается и степень неравномерности просыхания.

2.2.5 Ротационный способ сушки

Этот способ представляет собой механическое обезвоживание древесины в поле центробежных сил. Осуществляется он в специальных карусельных сушилках, причем наилучший эффект достигается при размещении штабеля или пиломатериалов даже круглого сортимента по диаметру оборотной платформы. При этом вектор центробежной силы совпадает с осью древесного сортимента, и обезвоживание происходит вдоль волокон. Естественно, что таким способом можно удалить из древесины только свободную воду. Влажность свежей древесины при этом снижается до 40...45% за небольшой промежуток времени. Пиломатериалы начальной влажностью 30...35% и ниже обезвоживанию с использованием центробежного эффекта не поддаются.

Ротационная сушка, таким образом, может заменить первую наиболее энергоемкую и длительную степень камерной сушки. Техничко-экономические расчеты показали, что соединение карусельной и камерной сушек обеспечивает 1,5-2-кратное сокращение энергозатрат и снижение себестоимости сушки на 25-30%.

Недостатком ротационного способа является громоздкость конструкций, сложность в исполнении оборотной платформы, балансирования груза. Поэтому такие сушилки не получили распространения [16].

2.2.6 Вакуумный способ сушки

Использование пониженного давления среды для обезвоживания древесины вызвано желанием ускорить процесс за счет использования дополнительных резервов сушки - не только градиентов температуры и влажности, но и градиента давления.

Материал, который высушивается, помещают в специальный автоклав или герметическую камеру, где создается разрежение воздуха. Поскольку температура кипения воды в вакууме ниже, чем при атмосферном давлении, то, создавая вакуум глубиной $0,9 \text{ кг/см}^2$, температуру сушильного агента снижают до $40...45^\circ\text{C}$. Таким способом можно вести интенсивный и, вместе с тем, низкотемпературный процесс сушки при полном сохранении естественных свойств древесины.

Непосредственно вакуумный способ сушки не обеспечивает необходимую эксплуатационную влажность материала и применяется только для сушки пиломатериалов к транспортной влажности, то есть к $W_K=22\%$. Соединение же данного способа с конвективным или диэлектрическим позволяет достичь необходимой конечной влажности при сокращении длительности процесса в $2...10$ раз.

Вакуумный способ сушки осуществляется при постоянном в течение процесса вакууме и контактном нагревании древесины плитами, размещенными внутри штабеля вместо прокладок. По данным зарубежных фирм Hildebrand, Citomak такой способ сокращает длительность процесса в 3 раза по сравнению с камерной сушкой нормальными режимами. Но он имеет ряд существенных не-

достатков: большая трудоемкость погрузо-разгрузочных работ; значительная неравномерность распределения конечной влажности по толщине материала и, соответственно, большие внутренние напряжения; малая вместимость камер. В силу этих недостатков вакуумные камеры не получили широкого применения в промышленности.

Вакуумно-конвективный способ сушки может осуществляться при циклическом нагревании и вакуумировании, то есть с уменьшением давления, а также при постоянном вакууме.

В первом случае материал сначала прогревают, а затем подают в вакуум. В древесине, нагретой до температуры кипения воды, происходит вскипание свободной воды из полостей клеток за счет аккумулированной теплоты. Пар, который образовался, отделяется из материала под действием избыточного давления. После прекращения парообразования, то есть охлаждения древесины, ее опять нагревают, и цикл несколько раз повторяют до достижения необходимой конечной влажности. Длительность циклов и их параметры зависят от породы, толщины и влажности материала. Такой способ дает сокращение длительности процесса в 4...5 раз в сравнении с конвективным способом при высоком качестве сушки.

Сушка в постоянном небольшом вакууме $0,2 \text{ кг/см}^2$ и при одновременном конвективном нагревании дает также хорошее качество. Длительность процесса при этом не уменьшается. Себестоимость сушки в 3 раза ниже за счет использования теплоты конденсации выпаренной воды и применения низких температур сушильного агента.

Вакуумно-конвективный способ сушки в последнее время становится все более популярным. По мнению авторов, он является наиболее перспективным среди способов, направленных на ускорение процесса сушки [16].

При вакуумно-диэлектрическом способе сушки нагревают материал до $45...50^\circ\text{C}$ за счет энергии высокочастотного электромагнитного поля и при постоянном вакууме. Древесина находится в среде почти чистого пара малого

давления, благодаря чему процесс происходит при малом перепаде влажности по толщине сортиментов и незначительных внутренних напряжений. Длительность сушки в этом случае уменьшается в 10-12 раз. Однако вакуумно-диэлектрический способ не лишен существенных недостатков. Во-первых, стоимость сушки при таком способе достаточно большая из-за большой цены и сложности оборудования, а также больших энергозатрат. Во-вторых, из опыта эксплуатации вакуумно-диэлектрических камер следует, что на данное время не удалось достичь хорошего качества сушки пиломатериала из-за неравномерности электромагнитного поля, так как очень велик разброс конечной влажности.

2.3 Технологический процесс сушки древесины

На ОАО «Алеусский лес» используется трехступенчатый камерный режим сушки пиломатериалов лиственных пород (таблица 2.2), хвойных (таблица 2.3) и лиственницы (таблица 2.4)

Принцип трехступенчатого режима сушки заключается в том, что на каждом этапе увеличиваются температура воздуха по мере снижения влажности в древесине к определенной величине, при которой процесс сушки переводится на следующую степень с большей температурой и психометрической разницей.

Таблица 2.2 – Трехступенчатый камерный режим сушки пиломатериалов лиственных пород

И н д е к с р е ж и м а	Вла жнос ть дре ве сины	Номер режима и параметры воздуха																	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt	<i>t</i>	Δt
	>30	8 2	3	7 5	3	6 9	3	6 3	2	5 7	2	5 2	2						
А	30...20	8 7	6	8 0	6	7 3	6	6 7	5	6 1	5 4	5 5	4						
	<20	1 0 8	2 7	1 0 0	2 6	9 1	2 4	8 3	2 2	7 7	2 1	7 0	2 0						
	>30	8 2	4	7 5	4	6 9	4	6 3	3	5 7	3	5 2	3	4 7	2	4 2	2	3 8	2

Б	30...2 0	8 7	8	8 0	8	7 3	7	6 7	6	6 1	6	5 5	5	5 0	5	4 5	4	4 1	4
	<20	1 0 8	2 9	1 0 0	2 8	9 1	2 5	8 3	2 3	7 7	2 2	7 0	2 1	6 2	1 8	5 7	1 7	5 2	16
	>30	8 2	6	7 5	5	6 9	5	6 3	4	5 7	4	5 2	4	4 7	3	4 2	3	3 8	3
В	30...2 0	8 7	1 0	8 0	9	7 3	8	6 7	7	6 1	7	5 5	7	5 0	6	4 5	5	4 1	5
	<20	1 0 8	3 1	1 0 0	2 9	9 1	2 6	8 3	2 4	7 7	2 3	7 0	2 2	6 2	1 9	5 7	1 8	5 2-	17
	>30	8 2	8	7 5	7	6 9	6	6 3	5	5 7	5	5 2	5	4 7	4	4 2	4	3 8	4
Г	30...2 0	8 7	1 2	8 0	1 1	7 3	1 0	6 7	9	6 1	9	5 5	8	5 0	7	4 5	6	5 1	6
	<20	1 0 8	3 3	1 0 0	3 1	9 1	2 8	8 3	2 6	7 7	2 5	7 0	2 3	6 2	2 1	5 7	2 0	5 2	18
	>30	8 2	1 0	7 5	9	6 9	8	6 3	7	5 7	6	5 2	6						
Д	30...2 0	8 7	1 4	8 0	1 3	7 3	1 2	6 7	1 1	6 1	1 0	5 5	9						
	<20	1 0 8	3 5	1 0 0	3 3	9 1	3 0	8 3	2 7	7 7	2 6	7 0	2 4						

Приложение к таб. 2.2.

Порода	Категории режима	Толщина пиломатериалов, мм							
		До 22	от 22 до 32	от 32 до 40	от 40 до 50	от 50 до 60	от 60 до 70	от 70 до 75	от 75 до 100
Береза, ольха	Н	3-Д	4-Г	4-В	5-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-Б
	Ж	2-Д	3-Г	3-В	4-В	—	—	—	—
Осина, липа, тополь	Н	3-Г	3-Б	4-Б	5-В	6-В	7-В	8-В	9-В
	Ж	2-Г	2-Б	3-Б	4-Б				—
Бук, клен	Н	3-В	4-В	5-В	5-Б	6-Б	7-А'	8-Б	—
	Ж	2-Г	3-Б	4-В				—	—
Дуб	Н	5-Г	6-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-В	10-Б	—
	Ж	3-Г	4-В	5-В	—	—	—	—	—
Орех	Н	5-В	5-Б	6-Г	6-Б	7-В	8-Б	9-В	—
Граб, ясень	Н	6-В	6-А	7-Б	8-Б	8-Б	9-В	10-В	—

Таблица 2.3 – Трехступенчатый камерный режим сушки пиломатериалов хвойных пород — сосны и кедра (по РТМ)

Влажность	Параметры	Номер режима для пиломатериалов толщиной, мм							
		1 до 22	2 23 - 25	3 26 - 32	4 33 - 40	5 41 - 50	6 51 - 60	7 61 - 75	9 76 -
Нормальный режим (Н)									
>35	t - Δt, ΔС	83 - 9	79 - 7	79 - 6	75 - 5	73 - 5	71 - 4	64 - 3	55 - 2
35 ... 25	t - Δt, ΔС	88 - 14	84 - 12	84 - 12	80 - 10	77 - 9	75 - 8	68 - 7	58 - 5
Жесткий режим (Ж)									
>35	t - Δt, ΔС	94 - 11	92 - 10	92 - 8	90 - 7	87 - 6	83 - 5	73 - 4	—
35 ... 25	t - Δt, ΔС	99 - 16	97 - 15	97 - 13	95 - 12	92 - 11	88 - 10	78 - 9	—

Таблица 2.4 – Трехступенчатый камерный режим сушки пиломатериалов

Влажность древес-	Параметры	Номер режима для пиломатериалов толщиной, мм						
		Л1 до 22	Л2 23 - 25	Л3 26 - 22	Л4 33 - 40	Л5 41 - 50	Л6 51 - 60	Л7 61 - 75
Нормальный режим (Н)								
>35	t - Δt, ΔС	70 - 9	70 - 8	70 - 6	65 - 5	60 - 4	80 - 3	60 - 2
35 ... 25	t - Δt, ΔС	75 - 15	75 - 15	75 - 15	70 - 10	65 - 9	65 - 7	65 - 5
Жесткий режим (Ж)								

>35	$t - \Delta t, \Delta C$	90 - 9	90 - 7	82 - 4	75 - 4	75 - 8	72 - 2	70 - 2
35 ... 25	$t - \Delta t, \Delta C$	98 - 12	96 - 11	87 - 8	80 - 8	80 - 6	78 - 5	76 - 4

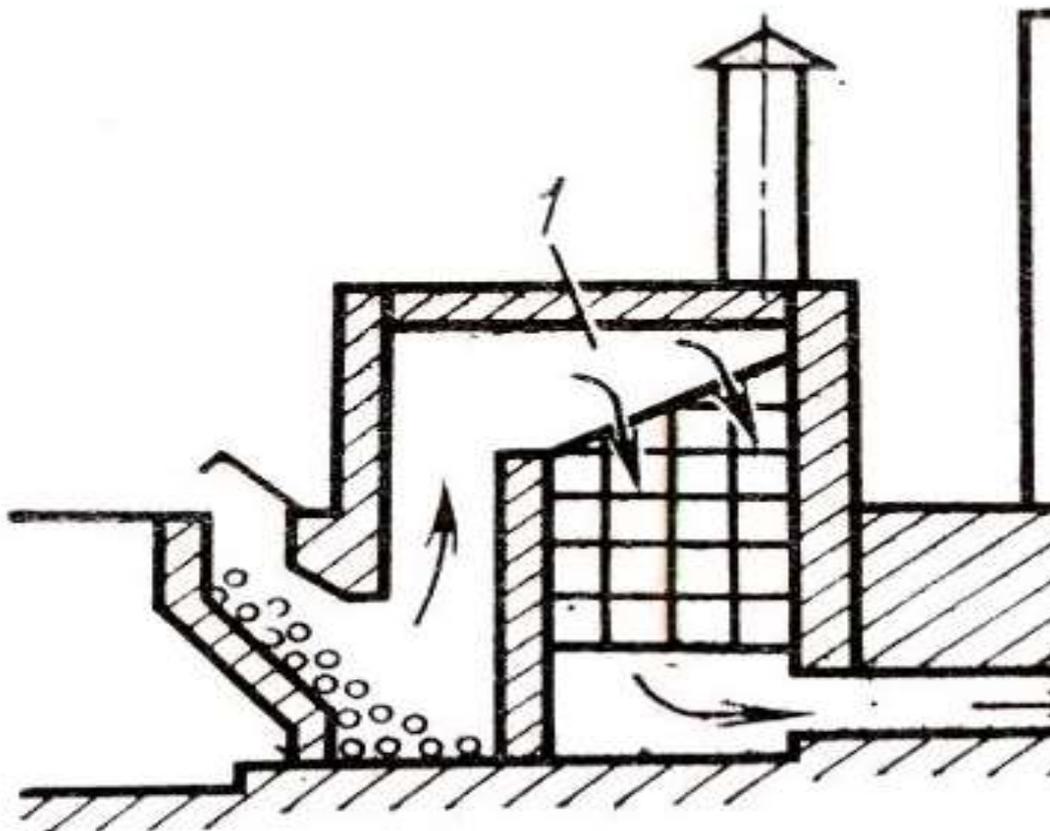


Рисунок 2.1 – Теплогенератор на отходах пиломатериалов

Нагрев и поддержание нужной температуры в сушильной камере осуществляется на основе трех теплогенераторов. На рисунке 2.1 изображен теплогенератор который работает на основе сжигаемых дров (опилок), что приводит к нагреванию труб, по которым двигается воздух с помощью центробежного вентилятора. Нагретый воздух подается в сушильную камеру.

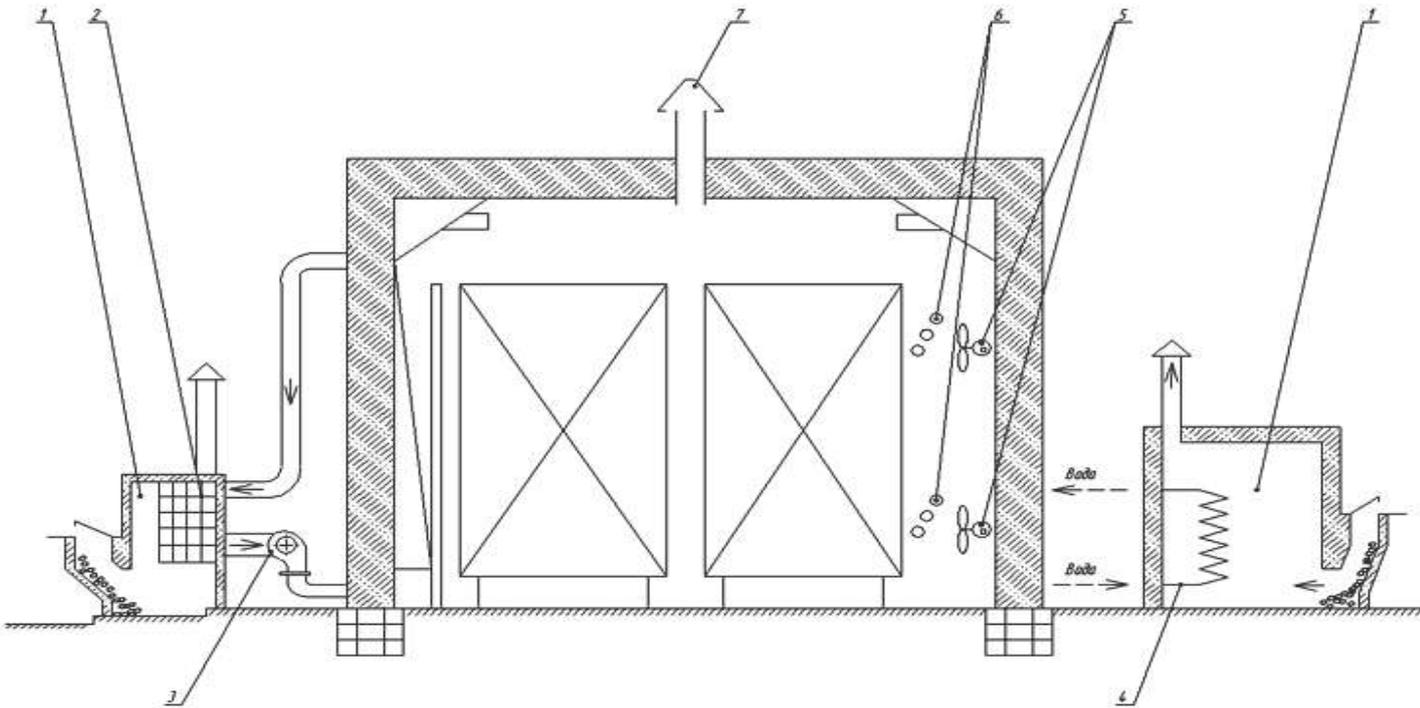


Рисунок 2.2 – Технологическая схема процесса сушки:

1 – котел; 2 – трубы с воздухом; 3 – центробежный вентилятор;

4 – трубы с водой; 5 – вентилятор; 6 – радиаторы с горячей водой; 7 – вытяжка.

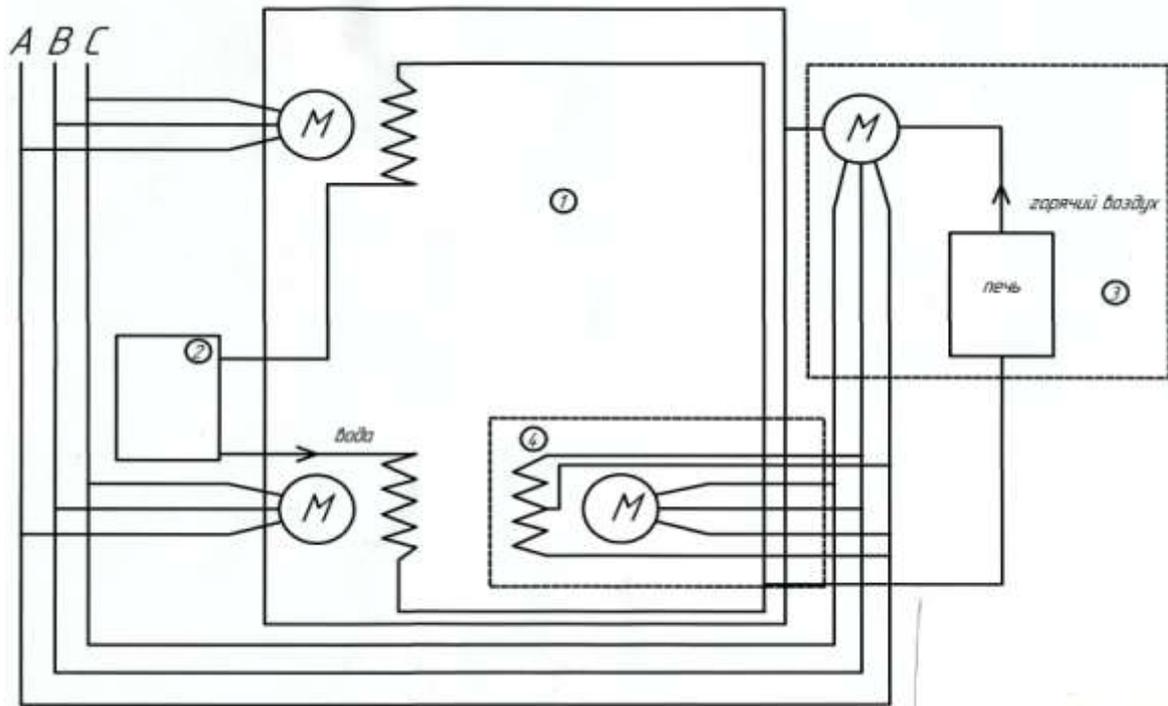


Рисунок 2.3 – Электрическая схема питания электрооборудования

1 – сушильная камера; 2 – водяной котел; 3 – печной калорифер;
4 – электрокалорифер.

Второй теплогенератор работает на основе водяного котла и двух радиаторов, которые обдуваются вентиляторами. Эти два теплогенератора применяются для грубой регуляции температуры, а для более точной регуляции используют третий – электрокалорифер. Для регуляции влажности в сушильной камере используют вытяжки.

2.4 Влага в древесине

Древесина состоит из разнообразных растительных клеток преимущественно продолговатой формы. В древесине хвойных пород основным типом клеток являются трахеиды, а лиственных пород — волокна либриформа и сосуда. Кроме того, имеющиеся клетки сердцевинных лучей и в небольшом количестве клетки древесной паренхимы.

Полости клеток, соединенные между собой порами (рисунок 2.4), образуют в древесине макрокапиллярную систему, что хорошо проницаема для жидкостей и газов в направлении вдоль волокон и гораздо меньше - поперек волокон.

Стенки клеток имеют волокнистое строение. Они формируются из отдельных микро-фибрилл, ориентированных вдоль оси или клетки под небольшим углом к ней. Микрофибриллы состоят из переплетенных между собой цепных молекул целлюлозы. Между микрофибриллами размещаются другие органические вещества — гемицеллюлоза и лигнин, а также имеются свободные соединенные пространства, заполненные воздухом и влагой, количество которой переменчиво. Следовательно, в стенках клеток присутствует своя капиллярная система, однако более тонкая, чем макрокапиллярная.

Содержание влаги в древесине, как и других веществах, характеризуют величиной отношения массы влаги в древесине к массе древесины. Это отношение, выраженное в процентах, называют влажностью. В технологии деревообра-

ботки принято рассчитывать влажность как отношение массы влаги, которая содержится в древесине, к ее массе в абсолютно сухом состоянии [16]. Влажность W (в %) определяют в этом случае согласно выражения:

$$W = \frac{m_{\text{вол}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 = \frac{m - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

где m — общая масса пробы, г;

$m_{\text{сух}}$ — масса пробы в абсолютно сухом состоянии, г;

$m_{\text{вол}}$ — масса влаги в пробе, г.

Влага в древесине может находиться как в полостях клеток, заполняя макрокапиллярную систему, так и в их стенках. Влагоу, которая находится в полостях клеток и в пространствах между клетками, называют свободной, а в клеточных стенках — связанной или гигроскопической.

Содержание связанной влаги в древесине ограничено. Состояние, при котором стенки клеток имеют максимальную влажность при столкновении их с жидкой влагой, называется пределом их насыщения. Влажность предела насыщения ($W_{\text{п.н.}}$) практически не зависит от породы и составляет в среднем 30%.

Если влажность древесины большая $W_{\text{п.н.}}$, то есть выше 30%, значит в древесине содержится свободная влага. Максимальное содержимое свободной влаги зависит от объема полостей клеток и колеблется для древесины разных пород от 60 до 250%.

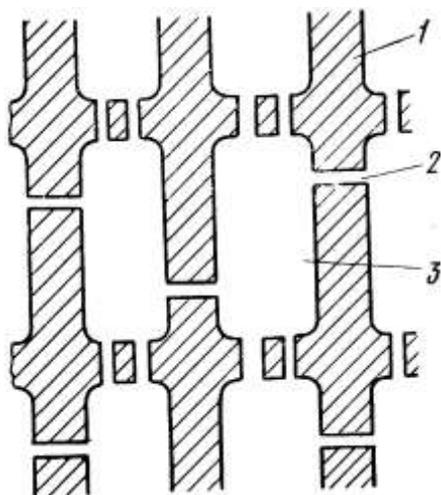


Рисунок 2.4 – Схема макрокапиллярной структуры древесины:

1 — стенка клетки, 2 — пора, 3 — полость клетки

Древесина растущего или свежесрубленного дерева всегда имеет влажность выше влажности предела насыщения, то есть она является сырой.

Влажность свежесрубленной древесины зависит от породы, места расположения в стволе (ядро или заболонь) и времени года. Она колеблется в очень широких пределах. Средние значения влажности свежесрубленной древесины приведены в таблице. 2.5.

У хвойных пород влажность ядра и спелой древесины значительно ниже влажности заболони. У лиственных пород расхождения во влажности по пересечению ствола практически не наблюдается [13].

Таблица 2.5 – Влажность свежесрубленной древесины

Порода	Влажность %		
	Ядра или спелой древесины	заболони	средняя
Сосна, ель	30—40	100—120	60—100
Лиственница	40—50	100—120	50—70
Береза	—	70—90	70—90
Дуб	50—80	70—80	60—80

2.4.1 Основные способы определения влажности древесины

Влажность древесины определяют разными способами. Наиболее распространенными в деревообработке являются весовой и электрический способы.

Весовой способ определения влажности, регламентированный ГОСТ 16588—71, основывается на взвешивании и высушивании проб (образцов), ко-

торые отбираются из контролируемой партии древесных сортиментов. От доски или заготовки на расстоянии 300 –500 мм от торца выпиливают поперечным перерезом пробу (рисунок 2.5) размером вдоль волокон около 10 мм. Эта проба называется секцией влажности. Секцию тщательным образом зачищают от заусенцев, после чего немедленно взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г. Полученное значение начальной массы регистрируют в специальном журнале. Потом секцию помещают в сушильную камеру и сушат при температуре $103\pm 2^{\circ}\text{C}$. Секцию периодически вынимают из камеры и взвешивают, отмечая каждый раз в журнале результаты взвешивания. Первое взвешивание выполняют через 6 часов, а следующие – через каждые 2 часа. Секцию выдерживают в сушильном шкафу до тех пор, пока ее вес не перестанет изменяться.

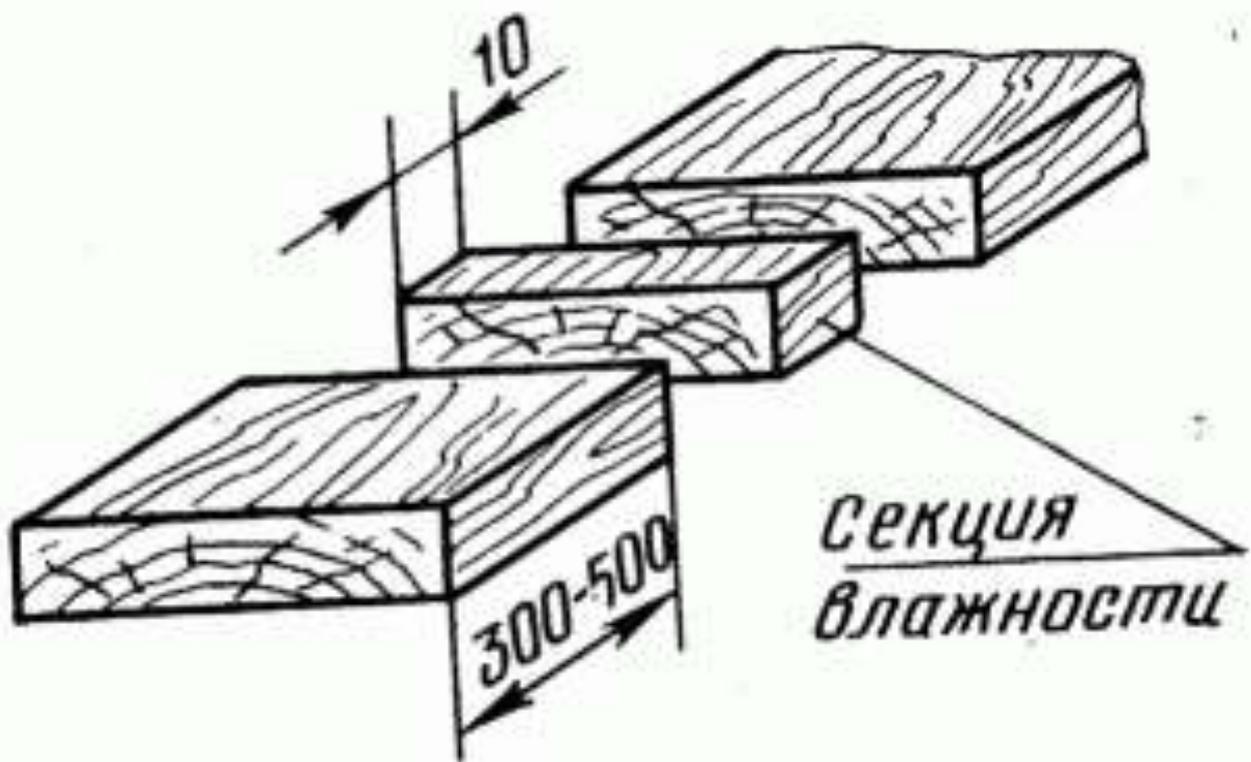


Рисунок 2.5 – Схема вырезки секции влажности из доски

Постоянную массу принимают равной ее массе в абсолютно сухом состоянии. Влажность (в %) рассчитывают согласно уравнения:

$$W = \frac{m_n - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Для определения влажности одной доски или заготовки необходимо выпилить из нее не менее двух секций. Количество контрольных досок зависит от величины контролируемой партии, а также необходимой точности и надежности контроля [5].

Электрический способ определения влажности основывается на зависимости показателей электрических свойств древесины от ее влажности. Для измерения влажности в этом случае используют приборы – электровлагомеры. Широкое распространение получили кондуктометрические влагомеры, принцип действия которых основан на зависимости электрического сопротивления древесины от ее влажности. Особенность работы этих электровлагомеров заключается в том, что они достаточно надежно измеряют влажность в диапазоне от 7 до 30%. Влажность выше 30% определяется с большой погрешностью.

При сушки пиломатериалов используют электровлагомеры ЦНИИМОД-2; ЭВ8-100; ЭВА-2; ЭВА-2М; ЭВА-2ДО.

Датчик электровлагомера представляет собой трехигольчатый зонд, оснащенный ручкой. При измерении влажности иглы датчика вводят в древесину на полную глубину в направлении вдоль волокон. Указывающий элемент измерительного устройства имеет шкалу, отградуированную в процентах влажности для древесины сосны при температуре 20° С. Также измеряется влажность древесины других пород и при другой температуре, то в показания прибора вводятся поправки, значение которых даны в прилагаемых к электровлагомеру таблицах.

Факторы, которые влияющие на результат измерения влажности с помощью игольчатого измерителя:

- температура измеряемого материала (при увеличении температуры на 5°С измеритель влажности показывает приблизительно на 0,5% высшее содержание влаги, наиболее точный результат измерения можно получить при температуре материала +20°С);
- температура окружающей среды;
- порода дерева, место и скорость роста (в сухой или болотистой местности, в северных или южных градусах широты, на опушке или в лесу);
- действительная плотность древесины;
- случайные смоляные гнезда в месте измерения, дефекты материала;
- случайная влажность на поверхности материала;
- градиент влажности в конце процесса сушения (материал около поверхности более сухой, чем в сердцевине, например при выходе из сушилки влажность поверхностного слоя 50 мм доски, высушенной до 8% влажности, приблизительно 6,5%, а в сердцевине приблизительно 11,5%);
- взаимодействие всех вышеупомянутых факторов.

2.5 Контроль за влажностью древесины и внутренними напряжениями в процессе сушки

Контроль влажности древесины в процессе сушки в настоящее время проводят способом контрольных образцов. Контрольный образец длиной 1—1,2 м отпиливают от доски, характерной для партии пиломатериалов, которая загружается в сушильную камеру. Одновременно выпиливают две смежных с образцом секции влажности (рисунок 2.6). Сразу же после распиловки секции очищают от опилок и заусенцев и взвешивают на технических весах. Потом определяют их влажность. Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям, принимают за начальную влажность (W_{II}) контрольного образца.

Контрольный образец нумеруют, торцы его очищают и покрывают густо-тертой масляной краской. После этого взвешивают на торговых весах с погреш-

ностью до 5 г. Начальную массу ($M_{П}$) записывают на образце и в журнале или карте сушки [5].

В каждый сушильный штабель закладывают два-три контрольных образцы в места интенсивного и замедленного сушения.

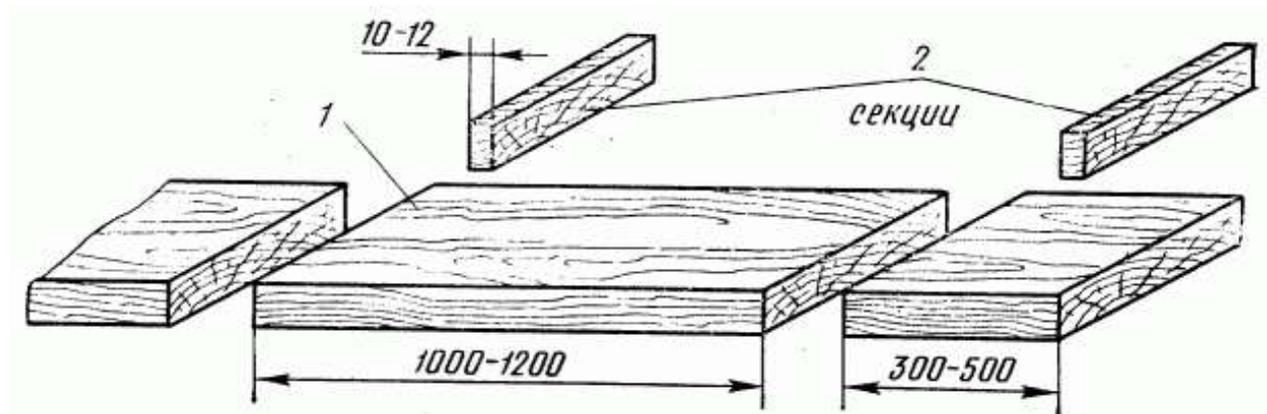


Рисунок 2.6 – Схема выпиловки контрольного образца:

1 — контрольный образец, 2— секций влажности

Образцы располагают рядом с торцом штабеля или немного глубже, но так, чтобы их легко можно было вынуть. Они должны лежать на прокладках, не сталкиваясь с плоскостью досок. Над образцами укладывают специальные прокладки с вырезом (рисунок 2.7).

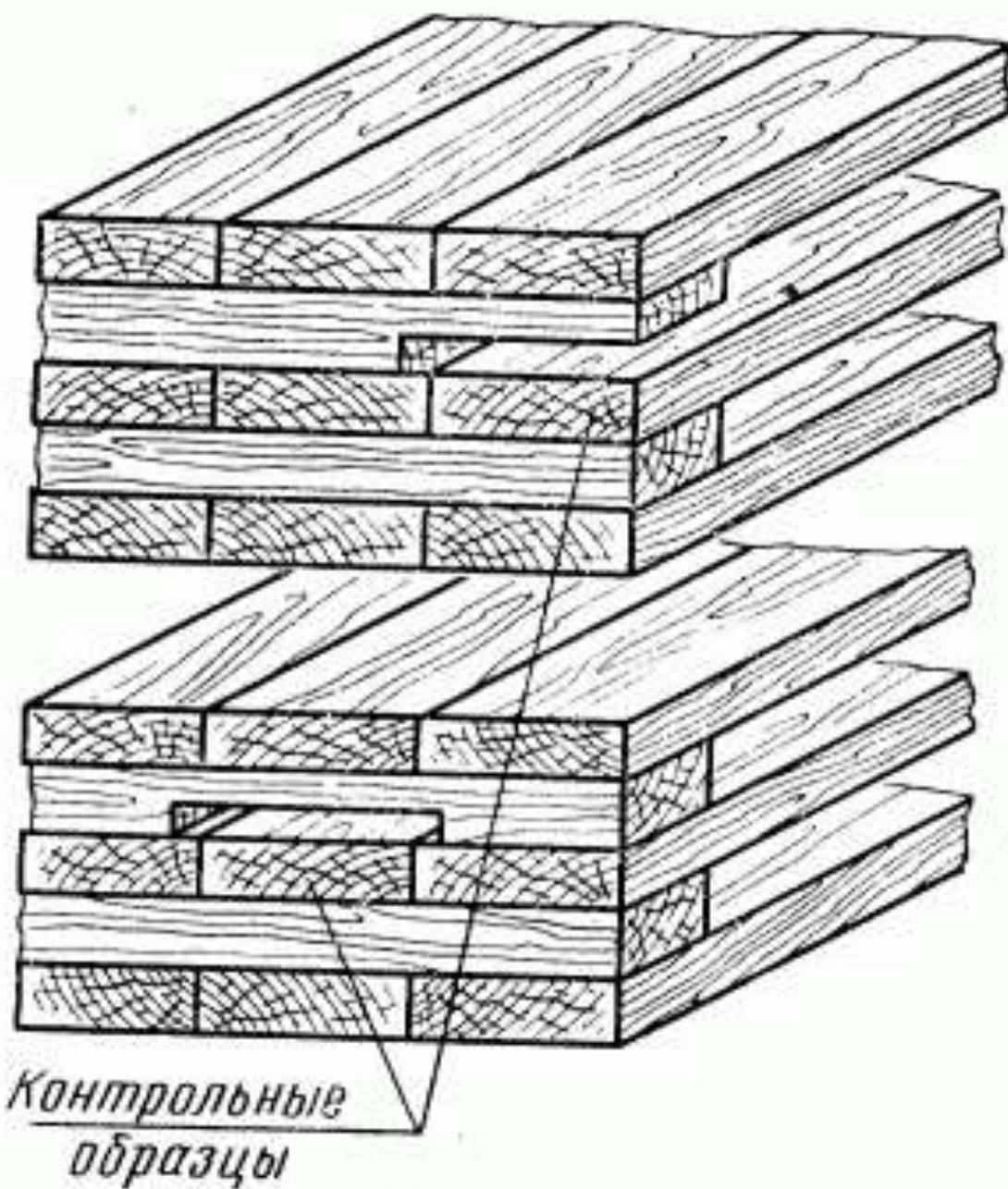


Рисунок 2.7 – Схемы размещения контрольного образца в штабеле

По известным величинам начальной влажности и начальной массы рассчитывают массу абсолютно сухого контрольного образца:

$$M_{\text{сух}} = \frac{M_{\text{п}} \cdot 100}{W_{\text{п}} + 100} \quad (2.3)$$

Таким образом, его вес в абсолютно сухом состоянии известен перед началом сушки.

В процессе сушения через определенные промежутки времени образцы вынимают из штабеля и взвешивают.

Текущую влажность W_T образцов находят по выражению:

$$W_T = \frac{M_T - M_{\text{сух}}}{M_{\text{сух}}} \cdot 100 \quad (2.4)$$

где M_T – масса образца в момент определения текущей влажности, г.

При сушки тонких пиломатериалов хвойных пород контроль влажности проводят в начальной стадии процесса через 8 часов, а в конечной – через 12 часов. Для пиломатериалов повышенной толщины или лиственных пород промежутки времени между взвешиваниями увеличивают в 1,5–2 раза.

За величиной текущей влажности судят о возможности перехода на следующую ступень режима или окончания процесса сушки.

Способ контрольных образцов имеет ряд недостатков. Требуются частые мероприятия операторов у камеры, которая нарушает в них режим сушки, имеются неудобства и даже опасность при применении форсированных режимов. Для контроля влажности высокотемпературной сушки пиломатериалов он непригоден. Кроме того, этот способ не обеспечивает высокую точность измерений [11].

2.6 Качество сушки пиломатериалов. Окончание процесса сушки

Качество сушки пиломатериалов характеризуется рядом показателей, основными из которых является:

- видимые дефекты сушки;
- средняя величина конечной влажности;
- равномерность конечной влажности;
- перепад влажности по толщине;

- остаточные напряжения.

Показатели качества сушки устанавливаются относительно определенной партии древесины. За такую партию обычно принимают штабель досок или заготовок.

Сначала рассмотрим первый показатель – видимые дефекты сушки. В высушенном материале независимо от его назначения видимые дефекты не допускаются.

К видимым дефектам древесины, которые могут появиться при ее сушке, относятся растрескивание и коробление. На практике встречается внешнее, внутреннее, торцевое и радиальное растрескивание.

Внешние трещины образуются в материале в начальный период сушки, когда действующие на поверхности растягивающие напряжения, превышают границу прочности. Причина образования внешних трещин – слишком жесткий режим сушки, а мера предупреждения – применение более рационального режима.

Внутренние трещины могут появиться в конце процесса, если в центре сортамента возникли излишне большие напряжения, которые растягивают. Чтобы предупредить их образование, необходимо придерживаться режима сушки и проводить промежуточную и конечную влаготеплообработки.

Влаготеплообработка состоит в том, что древесину обрабатывают воздухом повышенной температуры с высокой степенью насыщения. Она обычно проводится при окончании процесса сушки или несколько ранее, в момент смены напряжений. Увлажнение поверхностных слоев при влаготеплообработке вызывает их разбухание и, как следствие этого, возникновение дополнительных сжимающих напряжений на поверхности. При повышенной податливости древесины (влажной и нагретой) в поверхностном слое развиваются остаточные деформации укорочения, которые компенсируют ранее появившиеся остаточные деформации удлинения. Тем самым устраняется причина напряжений, возникающих в древесине к концу сушки.

Возникновение торцевых трещин предопределено более интенсивной сушкой торцов в сравнении со средней частью сортимента. Наиболее эффективное средство предупреждения этого дефекта – замазывание торцов влагонепроницаемой смесью. Из-за большой трудоемкости это мероприятие при массовой сушке не применяется.

Правильное расположение пиломатериалов в штабеле, в частности выравнивание торцов штабеля, размещения крайних прокладок ровно с торцами досок, формирования полногабаритного штабеля, значительно снижает торцевое растрескивание. Торцевые трещины в этом случае бывают неглубокими и при поперечном раскрое пиломатериалов потери будут незначительными.

Радиальные трещины возникают при сушке круглых лесоматериалов и пиломатериалов, которые содержат сердцевинную трубку. Причина их образования – разное усыхание в радиальном и тангенциальном направлениях. Предупредить их появление при камерной или атмосферной сушках невозможно даже при самом осторожном и медленном проведении процесса. Во избежание этого дефекта, при раскрое пиломатериалов стоит вырезать сердцевину или следить, чтобы она находилась на поверхности.

Коробление пиломатериалов, в процессе сушки, происходит также из-за разного усыхания в радиальном и тангенциальном направлениях. У досок тангенциальной распиловки независимо от режима сушки усадка внешнего пласта (относительно центра колоды) будет при сушке больше, чем усадка внутреннего пласта. Это приводит к изгибу (коробление) доски в поперечном направлении (рисунок 2.8). Доски радиальной распиловки не коробятся. Разница усушки древесины вдоль и поперек волокон вызывает продольное коробление. Для того, чтобы предотвратить поперечное и продольное коробление досок, их стоит сушить в зажатом состоянии, придерживаться правилами формирования штабеля (заключать в один ряд доски строго одинаковой толщины, применять стандартные строганные прокладки, каждый ряд которых должен находиться в одной вертикальной плоскости). В этом случае плоская форма досок в штабеле фикси-

руется массой самой древесины, за исключением верхних двух-трех рядов. В верхнем ряду стоит укладывать доски радиальной распиловки или материал не соответствующего назначения. Таким образом, коробление досок при сушке возникает только при неправильной и небрежной укладке, но не является следствием неправильно избранного режима сушки. Отклонение же от рационального режима может привести к образованию трещин [11].

Средняя величина конечной влажности контролируемой партии определяется таким способом: из штабеля в зонах быстрого и замедленного просыхания материала отбирают не менее девяти досок, из каждой доски выпиливают две секции влажности и определяют их влажность. Влажность партии W_{CP} вычисляют как среднее арифметическое из полученных значений влажности секций.

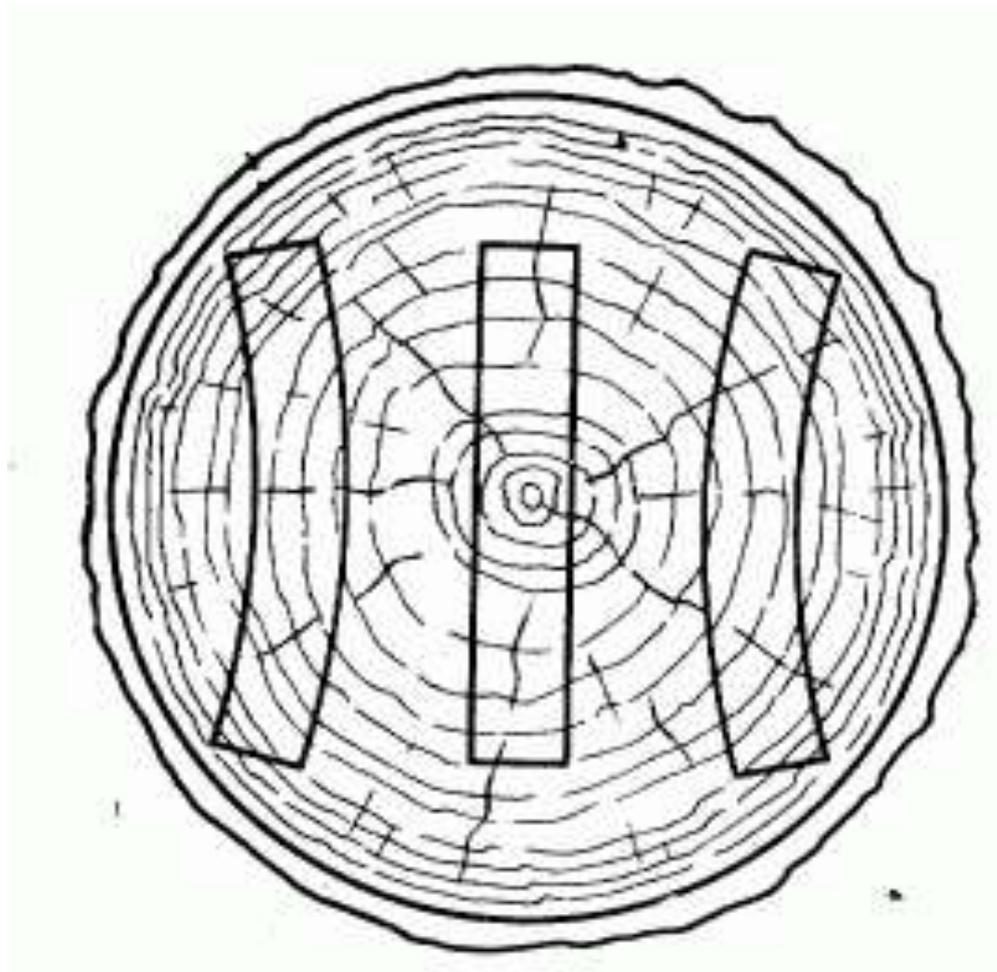
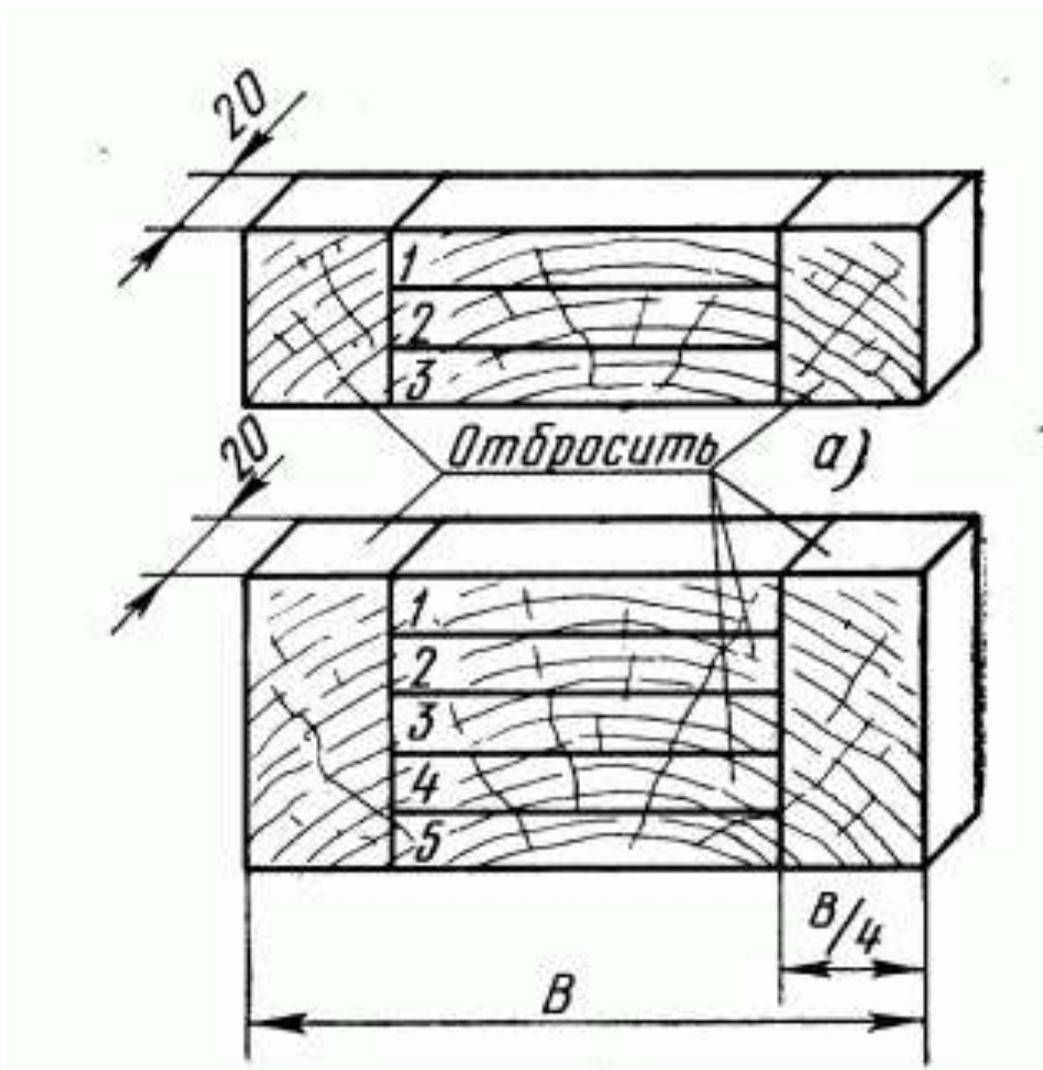


Рисунок 2.8 – Поперечное коробление пиломатериалов

- Рисунок 2.9 – Секции послойной влажности (В-ширина доски)



Равномерность конечной влажности. Показателем равномерности считают среднее квадратичное отклонение, которое вычисляется по формуле:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{CP})^2}}{n-1} \quad (2.5)$$

где W_i – влажность отдельной секции %;

W_{CP} – средняя влажность штабеля %;

n – число секций влажности.

Фактическая влажность отдельных досок штабеля с вероятностью 95% (в 95 случаях с 100) будет находиться в пределах $W_{\text{ср}}$.

Перепад влажности по толщине контролируют по секциям послойной влажности, которые выпиливают из отобранных досок рядом с секциями для определения общей влажности. Секции раскалывают по схемам, приведенным на рисунке 2.9: при толщине досок до 50 мм на рисунке 2.9 а, при толщине 50 мм и больше – на рисунке 2.9 б. Разница во влажности боковых (взвешиваемых вместе) и средних полосок показывает перепад влажности.

Остаточные напряжения в высушенном материале устанавливают по силовым секциям, которые выпиливаются рядом с секциями послойной влажности из каждой отобранной доски. Можно считать, что древесина практически свободна от остаточных напряжений, если относительное отклонение зубцов секции (в вершине) от нормального положения не превышает 1,5—2% длины зубца.

Высушенная древесина должна отвечать по качества сушения своему назначению. Назначение древесины разнообразно, и потому разные и требования, относительно качества сушки.

В зависимости от этих требований “Руководящими материалами по камерной сушки пиломатериалов” установлено четыре категории качества – I, II, III и 0 сушки материалов до средней эксплуатационной влажности готовых изделий, при этом они должны обеспечивать:

I категория – возможность механической обработки и сборки деталей по ГОСТ 6449.1-82 для высокоточных составных частей изделий (некоторые соединения механики клавишных инструментов, точное машиностроение, деревянные клееные несущие конструкции, производство моделей, лыж и т.п.);

II категория – механическую обработку и сборки деталей по ГОСТ 6449.1-82 для ответственных составных изделий (мебельное производство, футляры для радио- и телеаппаратуры, корпуса клавишных инструментов, столярно-строительные изделия, деревянные строительные конструкции, пассажирское вагоно- и автостроение и т.п.);

III категория – механическую обработку и сборки деталей по ГОСТ 6449.1-82 для менее ответственных составных частей изделий (погонажные столярно-строительные изделия, товарное вагоностроение, сельхозмашиностроение, рядовая тара и т.п.);

0 (нулевая) категория – предусматривается сушка пиломатериалов в том числе экспортных, до транспортной влажности.

Необходимая величина средней конечной влажности древесины после сушки колеблется для разных изделий в широких пределах и регламентируется стандартами и техническими условиями [11]. Например, для мебели она составляет 7–8%, для столярно-строительных изделий 10–12%, для тары 15–20%. Нормы требований к другим показателям качества регламентируются Руководящими материалами (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Нормы требований к качеству сушки пиломатериалов и заготовок

Показатели качества сушки	Категория качества			
	I	II	III	0
1	2	3	5	5
Средняя конечная влажность пиломатериалов или заготовок в штабеле, % при толщине, мм				
32 и менее	7–10**	7–10–15**	10–15**	16
38 – 50				18
свыше 50				20
Отклонение влажности отдельных досок (заготовок) от средней влажности штабеля*, % не более при толщине, мм				
32 и менее	±2	±3	±4	±6

38 – 50	±2	±3	±4	±4
свыше 50	±2	±3	±4	±2,5
Среднее квадратичное отклонение влажности пиломатериалов s, %				
32 и менее	±1	±1,5	±2	±3
38 – 50	±1	±1,5	±2	±2
свыше 50	±1	±1,5	±2	±2,5
Перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок), % при толщине, мм	не бо- лее	не более	не более	
13-22	1,5	2,0	2,5	
25-40	2,0	3,0	3,5	не кон- троли- руется
45-60	2,5	3,5	4,0	
70-90	3,0	4,0	5,0	
Условный показатель остаточных напряжений (относительная деформация зубцов силовой секции), %	не бо- лее 1,5	не более 2,0	не кон- троли- руется	
Примечание:				
* - Допустимые отклонения влажности отдельных досок (заготовок) от средней влажности штабеля пиломатериалов принимается равным ±2S.				
** - При сушке до эксплуатационной влажности средняя конечная влажность пиломатериалов в штабеле должна назначаться в зависимости от средних температур и относительной влажности воздуха в условиях эксплуатации изделий.				

В таблице 2.6 для каждой категории качества указан диапазон изменения средней влажности пиломатериалов. Конкретные значения этого показателя при сушке до эксплуатационной влажности назначаются в соответствии со стандар-

тами и техническими условиями на изделия и продукцию. Товарные пиломатериалы рекомендуется сушить до конечной влажности:

16% - при толщине до 32 мм;

18% - при толщине от 32 до 50 мм;

20% - при толщине свыше 50 мм.

Окончание процесса сушки. Для обеспечения необходимого качества пиломатериалов при окончании процесса сушки, необходимо провести таким способом.

После достижения материалом заданной конечной влажности (что устанавливают по контрольным образцам) назначают влаготеплообработку. По ее окончании закрывают увлажнительные трубы, в камере создают параметры сушильного агента по последней ступени режима и в течение 2–4 часов (в зависимости от толщины пиломатериалов) проводят подсушивание поверхностных слоев. Потом из штабеля отбирают пробы для определения показателей качества сушки.

В период выполнения контрольных операций в камере проводят кондиционирование. При выполнении этой операции температуру среды поддерживают на 5°С выше температуры последней ступени режима сушки (но не более 100°С), а степень насыщения устанавливают по величине равновесной влажности древесины, которая равняется конечной влажности, увеличенной на 1%. Если древесина отвечает предлагаемым требованиям, подачу пара в калориферы прекращают, камеру охлаждают до 30–40°С сначала при открытых вытяжных каналах, а затем при полуотворенных дверях, дальше штабели выкатывают и начинают готовить камеру к следующей загрузке. Если же установлено, что материал не отвечает необходимым требованиям, то должна быть назначена дополнительная влаготеплообработка (при наличии в материале остаточных напряжений) или продолжительное кондиционирование (при недопустимом диапазоне колебания конечной влажности).

При проведении камерной сушки пиломатериалов обязательно записываются все наблюдения и измерения. Записи подлежат:

- фактическое и рекомендованное режимом состояние среды в камере (запись проводят ежечасно);
- характеристика пиломатериалов и их количество;
- результаты контроля текущей влажности пиломатериалов;
- результаты анализа внутренних напряжений и остаточных деформаций;
- режимы и результаты промежуточной и конечной влаготеплообработок;
- результаты контроля качества сушки;
- причины простоя камеры и другие факты, которые относятся к проведению сушки.

Для записей целесообразно использовать специальные журналы и карты сушки, которые рекомендованы “Руководствующими материалами по камерной сушки пиломатериалов”.

2.7 Влияние сушки древесины на ее прочность

Прочность древесины зависит в основном от ее породы, температуры и влажности. При сушке влажность и температура древесины изменяются, потому ее прочность также не остается постоянной. Изменение прочности древесины наблюдается лишь в диапазоне влажности ниже зоны гигроскопичности, причем снижение влажности приводит к существенному увеличению прочности. Изменение влажности в диапазоне выше зоны гигроскопичности не влияет на прочность древесины.

Изменения прочности, связанные с влажностью, обратно, то есть при увлажнении сухой древесины снижается ее прочность, а при следующем высушивании предыдущие показатели полностью возобновляются.

Повышение температуры приводит к понижению прочности древесины. Кратковременное влияние не достаточно высокой температуры дает обратные

изменения прочности. С повышением температуры и длительности ее влияния в древесине происходят необратимые процессы, которые приводят к изменению ее показателей при следующей эксплуатации [14].

Поэтому различают прочность древесины в процессе обработки при том или другом состоянии и эксплуатационную прочность, которую имеет древесина после доведения ее влажности и температуры до эксплуатационных норм.

Прочность древесины в процессе обработки повышается с понижением температуры и влажности. Это хорошо иллюстрирует диаграмма (рисунок 2.9) границы прочности древесины березы при растягивании поперек волокон (тангенциальное направление). Так граница прочности холодной сухой древесины выше границ прочности горячей сырой древесины в 15-20 раз. Для других показателей механических свойств древесины и других пород характер изменения прочности и их соотношения могут колебаться в широких пределах.

На эксплуатационную прочность древесины осуществляют влияние ее породы, влажность и характер предыдущей сушки. В качестве эталона эксплуатационной прочности принято считать прочность древесины, которая не подвергалась влиянию повышенной температуры ниже 60°C не снижает ее эксплуатационную прочность независимо от длительности сушки. Влияние высокой температуры начинает появляться, если длительность сушки при $t=80^{\circ}\text{C}$ превышает 40-50 часов, а при $t = 120^{\circ}\text{C}$ – 2-3 часа.

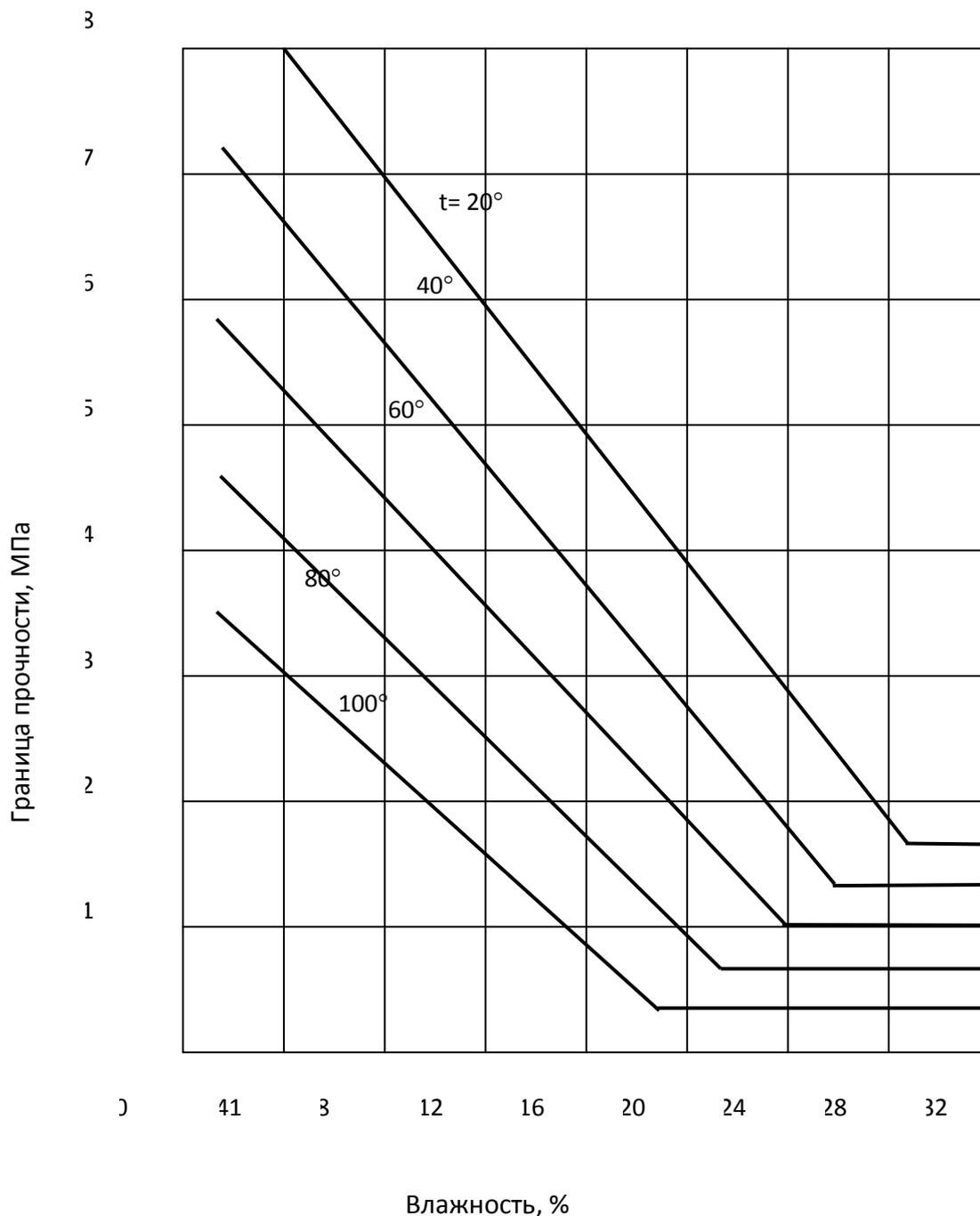


Рисунок 2.9 – Диаграмма границы прочности древесины березы при растягивании поперек волокон в тангенциальном направлении

Степень снижения прочности древесины зависит от породы, влажности, температуры и длительности сушки. Так, например, в высоко интенсивных процессах сушки, когда температура составляет 120-130°C при длительном влиянии

30-60 час., показатели механических свойств древесины понижаются: при растяжении, сжатии и статическом изгибе на 5-8%, а при скалывании и раскалывании – на 15-20% [11].

2.8 Особенности расчета производительности с учетом работы сушильных камер

Производительность сушильной камеры Π , в которой высушиваются пиломатериалы конкретной характеристики и определенного назначения, определяется в кубических метрах древесины за год выражением:

$$\Pi = \frac{335}{\tau_{об}} \cdot E \quad (2.6)$$

где 335— число суток работы камеры в году; $\tau_{об}$ – длительность одного оборота камеры при сушки фактического материала, суток; в камерах непрерывного действия она равняется длительности сушки, а в камерах периодического действия – длительности сушки, увеличенной на время загрузки и разгрузки камеры, которая составляет 0,1 суток; E — вместимость сушильной камеры, м³ древесины.

Вести учет работы сушильных камер, непосредственно используя выражение (2.6), достаточно сложно. Конкретное предприятие высушивает пиломатериалы разнообразной спецификации. Поэтому величины E нестабильные [5].

Вместимость камеры зависит от размеров материала, а длительность оборота от режима процесса и характеристики материала.

Учет и планирование работы сушильных камер принято вести в кубических метрах условного материала. Условному материалу эквивалентные сосновые обрезные доски толщиной 50 мм, шириной 160 мм, длиной более 1 м, II категории качества, которые высушиваются от начальной влажности 60% к конечной 12%.

Количество фактически просушенных пиломатериалов Φ переводится в количество условного материала $У$ по соотношению:

$$У = \Phi \cdot \frac{E_{ум} \tau_{\phi}}{E_{\phi} \tau_{ум}} \quad (2.7)$$

Следовательно, для перевода фактического объема древесины в объем условного материала необходимо установить вместимость камеры на условном ($E_{ум}$) и фактическом (E_{ϕ}) материале, а также длительность сушки условного ($\tau_{ум}$) и фактического (τ_{ϕ}) материала.

Вместимость камеры E (m^3 древесины) определяют по уравнению:

$$E = \Gamma \beta, \quad (2.8)$$

где Γ — объем штабелей, одновременно размещенных в камере;

β — коэффициент объемного заполнения штабеля.

В свою очередь:

$$\Gamma = lbhn, \quad (2.9)$$

где lbh — ширина, длина и высота; n — число штабелей в камере.

При определении величины β стоит иметь в виду, что различают два показателя вместимости камеры: по объему сырых пиломатериалов и по объему товарных пиломатериалов. Второй показатель меньше первого на величину объемной усушки древесины, при изменении ее влажности от предела насыщения к транспортной влажности. Учет работы камер ведут по товарным пиломатериалам.

С учетом этого обстоятельства коэффициент объемного заполнения штабеля рассчитывают по формуле:

$$\beta = \beta_{\partial} \beta_{ш} \beta_{в} \cdot 0,93, \quad (2.10)$$

где β_{∂} , $\beta_{ш}$, $\beta_{в}$ — коэффициенты заполнения штабеля по длине, ширине и высоте; 0,93 — коэффициент, который учитывает объемную усушку древесины.

Коэффициент заполнения штабеля по длине β_{∂} принимается равным: для нетореных пиломатериалов, а также пиломатериалов и заготовок, несортирован-

ных по длине, – 0,85; для материала одинаковой длины (например, заготовок) – 1.

Коэффициент заполнения штабеля по ширине определяют по табл.2.7.

Коэффициент заполнения штабеля по высоте при толщине прокладок 25 мм рассчитывают по отношению:

$$\beta_g = S/(S + 25), \quad (2.11)$$

где S – толщина пиломатериалов, мм

Таблица 2.7 – Значение коэффициента $\beta_{ш}$

Метод укладки	Пиломатериалы	
	обрезной	не обрезной
С пазами	0,65	0,43
Без пазов	0,9	0,6

Длительность сушки условного и фактического материала находят по таблицам. Учет высушенных пиломатериалов ведут параллельно в объеме фактического и объеме условного материала. В учетном журнале сушильного цеха регистрируют фактический объем и характеристику каждого выгруженного из сушильной камеры штабеля. Этот объем перечисляют в объем условного материала [5].

Количество высушенной в данный момент древесины (в том числе в объеме условного материала) подытоживают с объемом древесины, высушенной от начала отчетного периода (месяца, квартала). Количественная оценка работы сушильного цеха за месяц, квартал или год выполняется сравнением фактического выпуска с плановой производительностью камер в условном материале.

Плановую производительность камеры $\Pi_{ум}$ в м³ условного материала в год рассчитывают по формуле:

$$P_{ум} = \Gamma\beta_{ум} \cdot 335 / \tau_{об.ум} = \Gamma n_{ум}, \quad (2.12)$$

где $n_{ум}$ – удельная производительность камеры в год в условном материале, на 1 м³ объема штабеля. Значение $n_{ум}$ для камер основных типов приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Удельная производительность сушильных камер в условном материале

Принцип действия камер	Типы камер по циркуляции и транспортировке штабелей	Величина $n_{ум}, м^3/\text{год}$, при работе на режимах			
		мягких	нормальных	форсированных	Высокотемпературных
Периодического действия	С естественной циркуляцией	—	15	—	—
	С циркуляцией слабой интенсивности	—	24	—	—
	С циркуляцией средней интенсивности	19	31	39	—
	С реверсивной циркуляцией большой интенсивности	20	36	47	79
	С нереверсивной циркуляцией большой интенсивности	—	—	47	69
Непрерывного действия	С поперечной транспортировкой штабеля	18	40	47	—
	С зигзаговидной циркуляцией	17	38	44	—

	С прямолинейной циркуляцией и продольной транспортировкой	—	23	—	—
--	--	---	----	---	---

Сравнительные характеристики сушильных камер разных типов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Сравнительные характеристики сушильных камер

Тип сушильной камеры	Конвективные сушильные камеры (на отходах)	Аэродинамические сушильные камеры	Сушильные камеры СВЧ	Вакуумные сушильные камеры	Конденсационные сушильные камеры	Электрические сушильные камеры с калорифером
1	2	3	4	5	6	7
Способ нагрева, (энергоноситель)	Путем сжигания отходов осуществляется нагрев теплоносителя (вода, пар, воздух...)	Преобразование электрической энергии в тепловую посредством специальной конструкции мощного вентилятора	Преобразование электрической энергии в тепловую посредством генератора высокой частоты	Электрический разогрев или горячая вода, пар	Электрический разогрев или горячая вода, пар	Преобразование электрической энергии в тепловую посредством калориферной установки
КПД способа нагрева сушильной камеры	низкий	значительный	невысокий	высокий	высокий	высокий

Способ удаления влаги	Выброс пара и агента в окружающую среду - большие потери энергии	Выброс пара и агента в окружающую среду - большие потери энергии	Выброс пара и агента в окружающую среду - большие потери энергии	Удаление влаги посредством применения системы конденсации	Способ удаления влаги	Выброс пара и агента в окружающую среду - большие потери энергии
Система рекуперации или вторичного использования тепла	Система рекуперации и вторичного использования тепла отсутствует	Система рекуперации и вторичного использования тепла отсутствует	Система рекуперации и вторичного использования тепла отсутствует	Применяется система использования вторичного тепла	Применяется система использования вторичного тепла	Система рекуперации и вторичного использования тепла отсутствует
Техническое обслуживание и эксплуатационные характеристики	Требует регулярного контроля для обеспечения надежной работы котельного оборудования, насосов, вентиляторов, приводов, конвекторов, трубопроводов, системы	Периодический контроль технического состояния вентилятора и автоматики	Периодический контроль работоспособности системы нагрева и безопасности	Требуется постоянный контроль оператора за процессом сушки	Периодический контроль работоспособности системы	Периодический контроль работоспособности системы

	увлажнения, автоматике и т.д. Для обслуживания необходим специально подготовленный технический персонал.					
Численность обслуживающего персонала	оператор 1-2чел., истопник-кочегар 2-4чел., специалист по техническому обслуживанию 1-2чел	оператор 1чел., специалист по техническому обслуживанию 1чел	оператор 1-2чел., специалист по техническому обслуживанию 1чел.	оператор 1чел., специалист по техническому обслуживанию 1чел.	оператор 1чел., специалист по техническому обслуживанию	оператор 1чел., специалист по техническому обслуживанию 1чел.

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4	5	6	7
					1чел.	
Возможные показатели качества сушки пиломатериала	1,2,3,4-категории качества сушки пиломатериалов	2,3,4, ((1)) - категории качества сушки пиломатериалов	1,2,3,4-категории качества сушки пиломатериалов	1,2,3,4-категории качества сушки пиломатериала	1,2,3,4-категории качества сушки пи-	2,3,4, ((1)) - категории качества сушки пиломатериала

материалов				лов	ломатериалов	лов
Себестоимость сушки пиломатериалов	Низкий КПД по энергозатратам и большие расходы по техническому и эксплуатационному обеспечению	Высокие затраты. Значительные потери тепловой энергии при удалении влаги	Возможна высокая скорость досушки (сушки) пиломатериала при большой потребляемой мощности.	Высокое качество сушки пиломатериала при средних затратах	Хорошее качество при длительном сроке сушки	Высокие затраты за счет значительных потерь энергии
Соотношение Цена-Качество сушильной камеры	Большие начальные вложения, длительная окупаемость оборудования	Относительно невысокая цена	Высокая цена, большая потребляемая мощность	Высокая цена, быстрая окупаемость оборудования	Высокая цена, длительная окупаемость оборудования	Относительно невысокая цена
Экологические параметры и требования	По экологическим параметрам не соответствует отечественным требованиям	Повышенный шум и вибрация. При установке	Устанавливаются только в помещениях.	Допускается эксплуатация только при по-	Возможна установка внутри по-	Возможна установка внутри помещения

<p>бования по установке сушильной камеры</p>	<p>ниям, запрещены к применению внутри производственных помещений, где работают люди. При установке требуется проведение капитальных строительных работ</p>	<p>новке требуется фундамент</p>	<p>Предъявляются повышенные требования по технике безопасности к обслуживающему персоналу. Необходима хорошая система приточно-вытяжной вентиляции</p>	<p>ложительном интервале температур окружающей среды</p>	<p>мещения и на открытых площадях при выполнении соответствующих строительных работ</p>	<p>(требуется вентиляция) и на открытых площадях</p>
--	---	----------------------------------	--	--	---	--

2.9 Совершенствование процесса сушки

В настоящее время температура в большинстве камер измеряется ртутными термометрами, которые в силу своей моральной обветшалости неудобны в использовании. Влажность измеряется психометрическим способом, оператор снимает значение из влажного и сухого термометров и по психометрическим таблицам определяет влажность в камере. Этот процесс нуждается в определенном периоде времени, и имеет достаточно большую погрешность, обусловленную многими факторами, такими как погрешность термометров, погрешность параллаксу. Также использование данного метода дает возможность получения значения влажности лишь в определенной части сушильной камеры. Использование электронных датчиков влажности позволяет устранить ряд погрешностей, тем самым делает процесс измерения влажности быстрее и значительно более точным, отпадает потребность в использовании психометрических таблиц. Также в измерении температуры, после автоматизации значения температуры снимать цифровыми датчиками, значение которых обрабатывается микроконтроллером, который дает высокую скорость и точности обработки информации.

Для большей скорости и точности регулировки температуры в камере предложено установить электрокалорифер, работу которого контролирует КМС.

2.10 Рекомендации для проведения камерной сушки

Технология камерной сушки содержит в себе подготовку штабеля сырого и сохранение высушенного материала, проведения прогрева, кондиционирования и непосредственно сушки древесины.

В настоящее время существует достаточное количество режимов сушки древесины разных пород. Они отличаются уровнем температурно-влажностных параметров среды и числом изменений этих параметров в течение процесса, то есть количеством ступеней. Общим является принцип построения

режимов, основанный на безопасном для целостности древесины постепенном повышении температуры и снижении влажности агента сушки.

Режимы разработаны и могут непосредственно применяться в “идеальной камере”. В реальных камерах необходима доработка, привязка режимов с учетом конкретных конструктивных особенностей. Так тот же режим в разных камерах может привести к ускоренной сушки, которое приводит к нехватке, к замедленному с переувлажнением материалу и повышенной затратой теплоносителя. Поэтому основной задачей технолога является подбор оптимального режима индивидуально для каждой камеры.

При выборе режима сушки необходимо выходить из рационального соединения следующих факторов: необходимого качества материала, который высушивается, обусловленными нормами требований к качеству сушки; категории режимов сушки, которые обеспечивают необходимое качество сушки при заданной длительности процесса, и конструкции камер, способной высушивать материал по определенной категории качества, не превышая режимную длительность. Кроме технологических особенностей использования того или иного режима стоит учитывать и экономические аспекты – рентабельность применения режимов разной интенсивности [5].

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1 Лесосушильная камера как объект регуляции

Первоочередная задача автоматической регулировки процесса сушки – стабилизация режима сушки. Для этого устанавливаются регуляторы, которые должны обеспечить поддержание заданных, по режиму температуры и относительной влажности на определенном уровне. В большинстве случаев для этой цели используются стандартные регуляторы. Тип регулятора, уставку регулятора и параметры настройки выбирают с учетом статических и динамических свойств сушильных камер и требований, которые выдвигаются к системе регуляции.

Динамические характеристики определяют по дифференциальным уравнением объектов – уравнение связи между его входными и исходными величинами или экспериментально, когда эти уравнения получить трудно. Определять динамические характеристики опытным путем можно при автоматизации действующих установок.

При необходимости определить динамические параметры объектов регуляции в процессе их проектирования применяются только аналитические методы. Возможность определить динамические характеристики установки по ее технологическим и конструктивным параметрам позволяет не только решать задачи автоматической регулировки, но и в некоторых случаях влиять на конструкцию установки. При этом можно использовать полученные результаты для подобных объектов других типов. Совокупность аналитических и экспериментальных методов исследования динамических свойств объекта позволяет более достоверно определить его параметры [10].

Рассмотрим лесосушильную камеру как объект регуляции температуры агента сушки.

Количество тепла, которое передается от калорифера в камеру за время dt определяется уравнением теплового баланса:

$$Q = K_K F_K (Q_{\Pi} - Q_C) dt, \quad (3.1)$$

где K_K – коэффициент теплопередачи калориферу, $\text{ккал}/\text{м}^2\text{град}$, F_K – поверхность калорифера, м^2 , Q_{Π} и Q_C – температура пара в калорифере и агента сушки в камере, $^{\circ}\text{C}$.

Рассматривая динамику объекта по каналу «температура пара — температура агента сушки в камере», допускают, что температура агента сушки по объему одинаковая и отклонения температуры пара небольшие: $Q_{\Pi} = Q_{\Pi.0} \pm \Delta_{\Pi}$.

Тепло, переданное в камеру от калорифера за бесконечно малый промежуток времени dt , тратится на:

нагревание калорифера $c_M m_K dQ_K$;

металлу в камере $c_M m_M dQ_C$;

покрытие потерь $k_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (Q_K - Q_{\text{нар}}) dt$;

теплообмен с древесиной $\alpha F_D = (Q_K - Q_D) dt$.

Уравнение теплового баланса запишется:

$$k_K (Q_{\Pi.0} \pm \Delta Q_{\Pi} - Q_C) dt = c_M m_K dQ_K + c_M m_M dQ_C + k_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (Q_C - Q_{\text{нар}}) dt + \alpha F_D (Q_C - Q_D) dt \quad (3.2)$$

Перепишем уравнение (3.2) в виде:

$$k_K (Q_{\Pi.0} \pm \Delta Q_{\Pi} - Q_C) dt = c_M m_K (dQ_K) / dt + c_M m_M (dQ_C) / dt + k_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (Q_C - Q_{\text{нар}}) + \alpha F_D (Q_C - Q_D), \quad (3.3)$$

где c_M – теплоемкость металла; T_K – масса металла в камере, кг ; $F_{\text{ог}}$ – поверхность ограждений, м^2 ; $Q_{\text{нар}}$ — температура внешней среды $^{\circ}\text{C}$; $k_{\text{ог}}$ – средний коэффициент теплопередачи ограждений; α – коэффициент теплообмена древесины в процессе сушки; F_D – поверхность древесины, м^2 ; Q_D — температура древесины.

В установленном режиме, когда $dQ_K/dt=0$, уравнение (3.3) будет:

$$k_K F_K (Q_{\Pi.0} - Q_{\text{со}}) = k_{\text{ог}} F_{\text{ог}} (Q_{\text{со}} - Q_{\text{нар}}) + \alpha F_D (Q_{\text{со}} - Q_D) dt \quad (3.4)$$

$$\frac{c_M m_k}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \frac{d\Delta\theta_k}{dt} + \frac{c_M m_M}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \Delta\theta_C = \frac{k_k F_k}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} \theta_{II} \quad (3.5)$$

Если: $\frac{k_k F_k}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D} = k_0 \frac{\Delta\theta_C}{\Delta\theta_{II}}$, тогда при $\Delta Q_K = \Delta Q_{II}$ и $\frac{d\theta_k}{dt} = \frac{1}{k_0} \frac{d\Delta\theta_C}{dt}$

уравнение (3.5) примет вид:

$$T \frac{d\Delta\theta_C}{dt} + \Delta\theta_C = k_0 \Delta\theta_{II}; \quad T = \frac{c_M m_M}{k_k F_k} + \frac{c_M m_M}{k_k F_k + k_{o_2} + \alpha F_D}, \quad (3.6)$$

где T — постоянная времени.

Из уравнения (3.6) очевидно, что по каналу «температура пара — температура агента сушки» в камере объект является инерционным звеном.

Рассмотренная математическая модель не учитывает время запаздывания в реальных условиях. Поэтому модель можно записать в общем виде:

$$T \frac{d\Delta\theta_C(t)}{dt} + \Delta\theta_C(t) = k_0 \Delta\theta_{II}(t - \tau) \quad (3.7)$$

Таким образом, камера периодического действия может быть представлена последовательным включением апериодического звена и звена чистого запаздывания.

При выводе уравнений принимаем, что при малых изменениях температуры агента сушки в камере, за короткие промежутки времени, температура древесины остается постоянной. В этом случае теплоемкость не оказывает влияния на инерционность камеры [10].

3.2 Расчет контура регулирования температуры

Контур регулирования температуры включает в себе датчик температуры и позиционный регулятор.

Рассмотрим детальнее регулятор. Позиционные регуляторы работают по принципу “включено-выключено”. Их реализация осуществляется с помощью контактных и бесконтактных релейных элементов. Позиционные регуляторы бывают двух-, трех- и многопозиционные.

В системе регуляции выбираем двухпозиционный регулятор. Регулятор настраивается так, чтобы его статическая характеристика $\mu = f(\varepsilon)$ была размещена несимметрично относительно заданного прироста регулируемой величины, а значение μ и ε отчислялись в приростах от условного равновесия объекта регуляции, которая отвечает расчетным значением μ_0 и ε_0 , принятыми за начало отсчета.

Статическая характеристика двухпозиционного регулятора с зоной неоднозначности:

$$\begin{cases} \mu = \mu_1 & \text{при } \varepsilon \geq a; \\ \mu = \mu_1 & \text{при } -a < \varepsilon < a \text{ и } d\varepsilon/dt < 0; \\ \mu = -\mu_2 & \text{при } \varepsilon \leq -a; \\ \mu = -\mu_2 & \text{при } -a < \varepsilon < a \text{ и } d\varepsilon/dt > 0 \end{cases}, \quad (3.8)$$

Из предыдущего уравнения видно, что двухпозиционные регуляторы постоянно осуществляют на объект регуляции влияние, отличающееся от значения необходимого для равновесного состояния системы ($\varepsilon=0$). В результате этого автоматическая система с двухпозиционным регулятором работает в автоколебательном режиме в около положения ее равновесия. Статическая характеристика $\mu=f(\varepsilon)$ изображенная на рисунке 3.1.

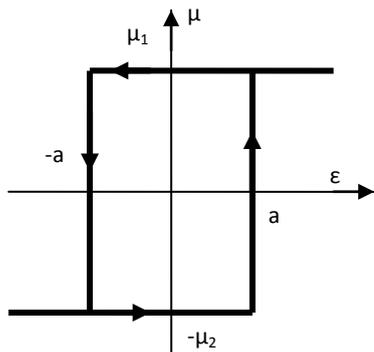


Рисунок 3.1 – Статическая характеристика двухпозиционного регулятора с зоной неоднозначности

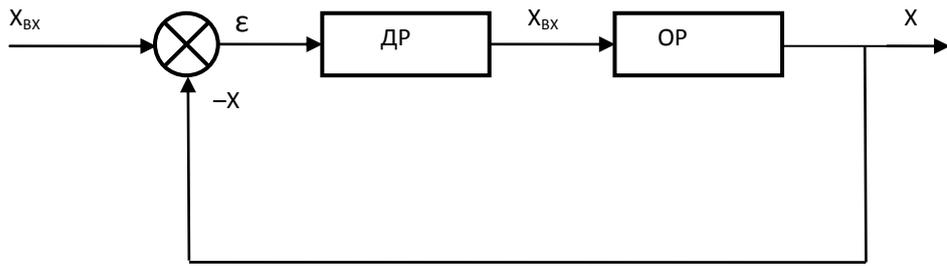


Рисунок 3.2 – Структурная схема автоматической системы с двухпозиционным регулятором

В первом приближении объект регуляции ОР (вакуумная камера) описывается передаточной функцией:

$$W_{об} = \frac{k_{об} \cdot e^{-\tau_0 p}}{T \cdot p + 1} \quad (3.9)$$

где $k_{об}$ – коэффициент передачи объекта регуляции;

τ_0 – опоздание объекта регуляции;

T – постоянная времени объекта регуляции.

Рассчитаем $k_{об}$, используя формулу (3.4):

$$k_{об} = \frac{k_k F_k}{k_k F_k + k_{oz} F_{oz} + \alpha F_d} = \frac{13 \cdot 12}{13 \cdot 12 + 2 \cdot 170 + 5,1 \cdot 80} = 0,0872 \quad (3.10)$$

где k_k – коэффициент теплопередачи калориферу, $k_k = 13$ ккал/м²град;
 F_k – поверхность калорифера, $F_k = 12$ м²; k_{oz} – средний коэффициент теплопередачи ограждений, $k_{oz} = 2$; α – коэффициент теплообмена древесины в процессе сушки, $\alpha = 5,1$ ккал/час·м²·град; F_d – поверхность древесины, $F_d = 80$ м².

Постоянная времени объекта будет равна:

$$T = \frac{c_m m_m}{k_k F_k} + \frac{c_m m_m}{k_k F_k + k_{oz} F_{oz} + \alpha F_d} = \frac{37,5 \cdot 120 \cdot 0,11}{13 \cdot 12} + \frac{1700 \cdot 0,11}{13 \cdot 12 + 2 \cdot 170 + 5,1 \cdot 80} = 3,37 \quad (3.11)$$

Согласно характеристик лесосушильной камеры отношение:

$$\tau_0 / T = 0,26, \text{ тогда } \tau_0 = 0,26 \cdot T = 0,879 \quad (3.12)$$

Параметры позиционного регулятора выбираем с помощью среды MATLAB. В среде MATLAB система регуляции имеет вид, показанный на рисунке 3.3.

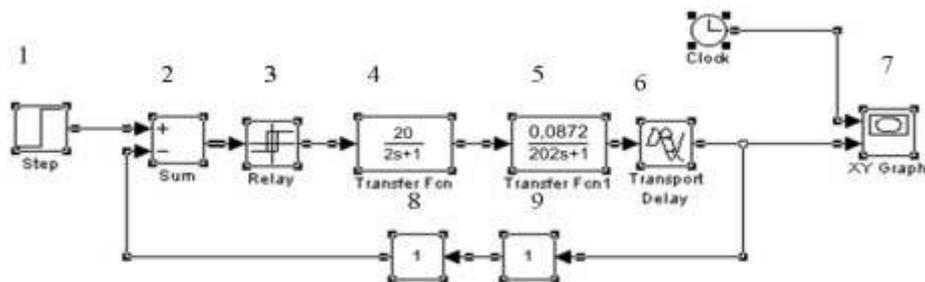
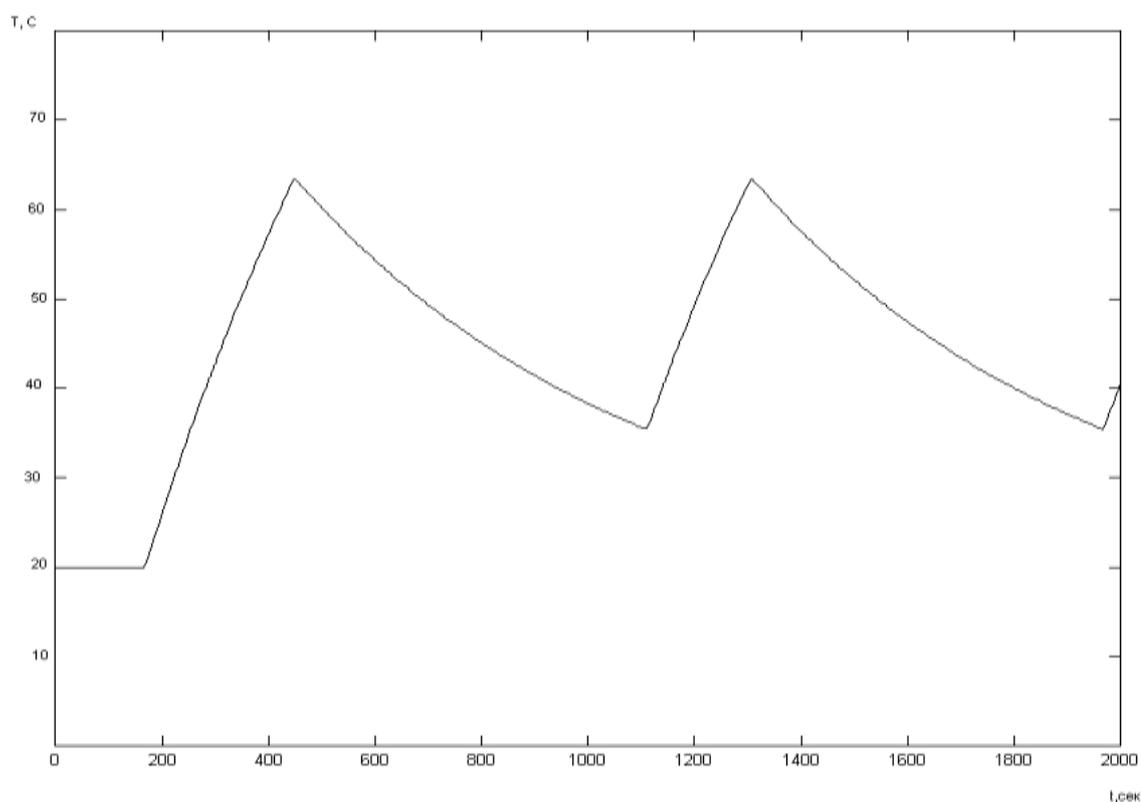


Рисунок 3.3 – Внешний вид системы регуляции в среде MATLAB

Опишем блоки, изображенные на рисунке:



- 1–генерирует одноступенчатую входную функцию (единичный прыжок);
- 2–сумматор;
- 3–блок, реализующий двухпозиционное реле с зоной неоднозначности;
- 4–блок, описывающий передаточную функцию исполнительного механизма;
- 5 и 6–блоки описывающие передаточную функцию объекта регуляции.
- 7–блок, реализующий графическое отображение результатов исследования;

8,9–блоки, которые, описывают передаточные функции преобразователя и датчиков.

Введя рассчитанные в уравнениях (3.10), (3.11) и (3.12) коэффициенты в соответствующие блоки получили переходную характеристику, изображенную на рисунке 3.4.

Рисунок 3.4 – Переходная характеристика вакуумной камеры построена с помощью моделирования в MATLAB

Проведем некоторые исследования системы на стойкость с помощью все той же программы MATLAB. Сначала проверим систему на стойкость за общим условием стойкости, для этого построим карту нулей и полюсов системы.

На основе общего условия стойкости и рисунке 3.5 можем сделать вывод, что система является стойкой, поскольку все корни характеристического уравнения (нули системы) находятся в левой части комплексной плоскости корней.

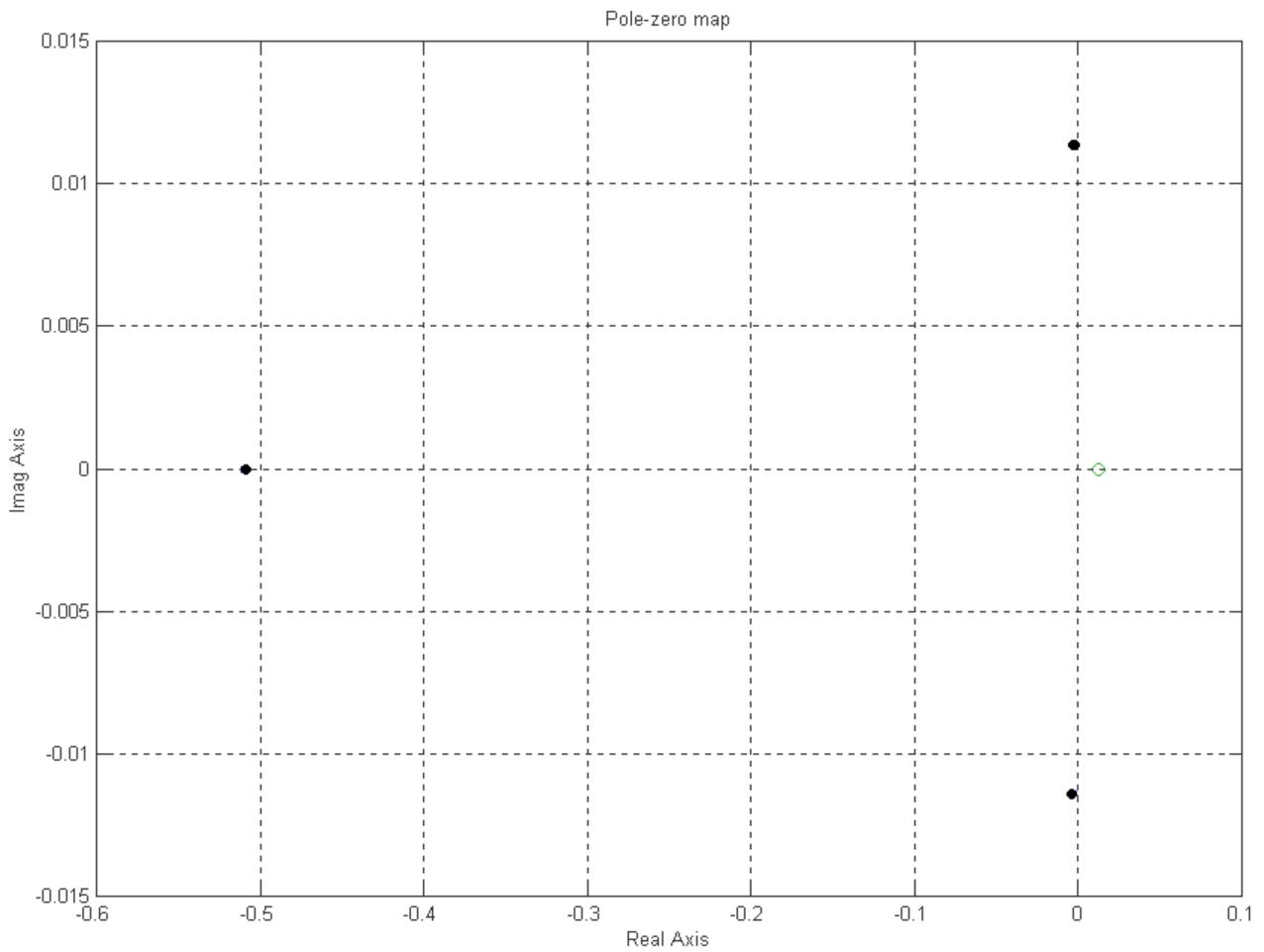


Рисунок 3.5 – Карта нулей и полюсов системы

Проведем более детальные исследования и определим запасы устойчивости системы по амплитуде и фазе. Для этого в среде MATLAB построим графику АЧХ и ФЧХ системы:

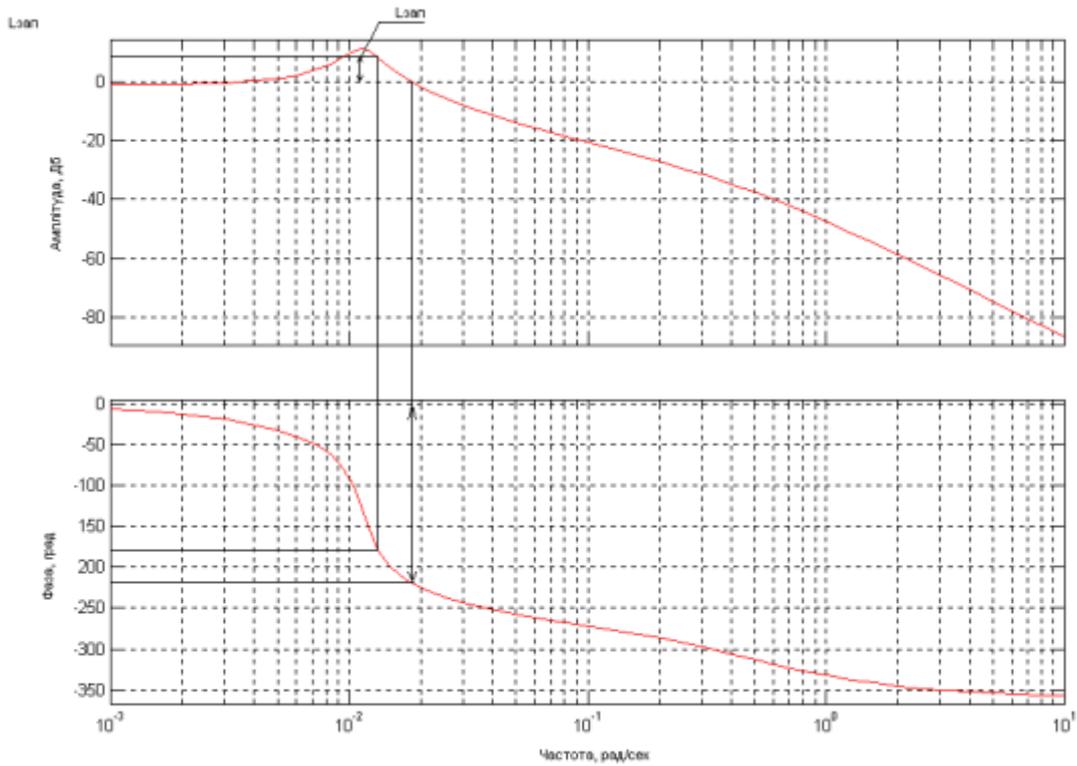


Рисунок 3.6 – АЧХ и ФЧХ системы

Из построенных графиков мы видим, что запас устойчивости по амплитуде составляет: $L_{зап}=10$ Дб, а запас устойчивости по фазе: $\varphi_{зап}=220$ градусов. Данные значения превышают минимально допустимые, а потому можно сказать, что система является устойчивой.

,

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

4.1 Выбор и обоснование структуры системы управления и ее описание

Камерная сушка древесины — сложный технологический процесс, для которого характерны следующие особенности: многочисленность параметров, их сложная взаимосвязь, наличие неконтролируемых внешних факторов. Модель такого сложного объекта можно характеризовать совокупностью следующих параметров:

1) группа входных параметров X_1 , что совмещает контролируемые, но не регулируемые технологические параметры процесса, например количество и вид материала, который высушивается (порода и размер пиломатериалов, их начальная влажность);

2) группа неконтролируемых входных параметров X_2 , которые характеризуют влияние таких факторов, как изменение окружающей среды, старения и износ оборудования, неоднородность материала и неравномерность распределения его по объекте регуляции и т.д.;

3) группа управляющих параметров Y , что характеризует регулирующие влияния, которые поддерживают заданный режим, сюда относятся количество тепла и скорость циркуляции агента сушки;

4) группа исходных параметров Q , которые характеризуют качество материала, который высушивается, например, задана конечная влажность при определенном перепаде влажности по пересечению пиломатериалов и величина остаточных внутренних напряжений;

5) группа исходных параметров E , что характеризует экономическую эффективность объекта регуляции, а именно: наименьшую длительность процесса

сушки при сохранении качества материала, который высушивается, и КПД сушильной установки.

При автоматизации процесса сушки нужно применять такую систему, которая бы обеспечила проведение сушки в режиме, близком к оптимальному, то есть должны быть получены заданные параметры Q при максимальных значениях параметров E . Эта задача может решаться при применении самонастраиваемых систем, которые выбирают такую комбинацию управляющих параметров V , что обеспечивают экстремальное значение параметра F .

На рисунке 4.1 показана структурная схема системы автоматической оптимизации (САО) процесса сушки.

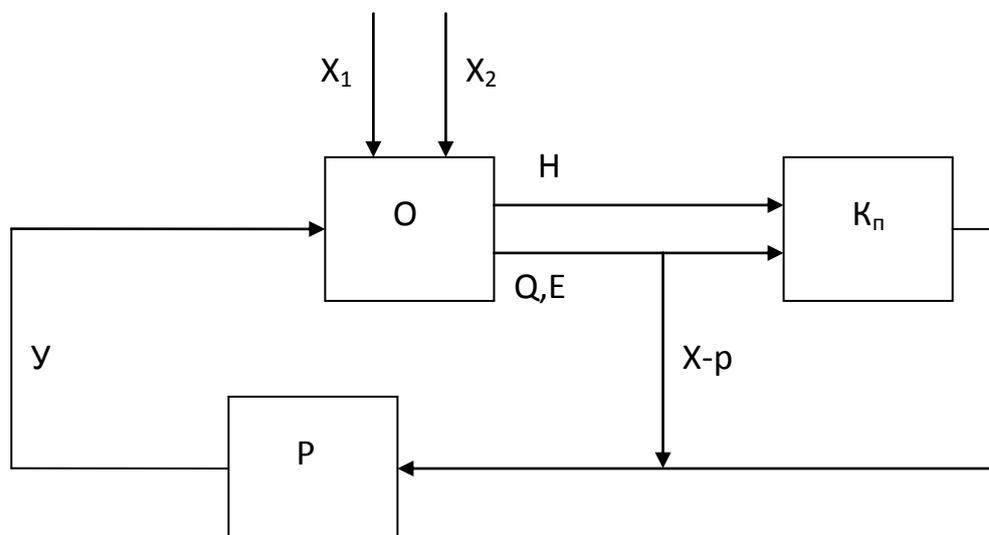


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы автоматической оптимизации: O – объект регуляции; P – регулятор; K_n – управляющее устройство, X_1 , X_2 — входные параметры; U — регулирующее влияние; Q , E — параметры объекта, которые характеризуют качество и экономичность; H — ограничение.

Кроме основных узлов обычной системы автоматической регулировки объекта O и автоматического регулятора P , в схему введено управляющее устройство K_n . Управляющее устройство анализирует и поддерживает на оптимальном уровне исходные величины объекта при соблюдении заданных ограничений H . Для поддержки оптимальных исходных параметров САО делает авто-

математический поиск, который сводится к изменению попытки входных параметров системы (входной величины X -р регулятора и регулирующих влияний Y), анализа результата этого изменения и определению направления последующего изменения для приведения системы к самому выгодному режиму сушки. За критерий оптимума процесса сушки выбирается один или несколько исходных параметров Q и E , при этом другие показатели задаются в САО в виде ограничений H . Например, за критерий оптимума выбирают интенсивность сушки, а как ограничение задают сохранения определенных показателей качества материала при сушки [23].

Для создания САО необходимы, кроме экстремальных регуляторов и обычных средств автоматики, некоторые специальные измерительные устройства:

а) для контроля качественных показателей материала в ходе сушки, например температуры и влажности древесины, перепаду влажности по толщине материала, внутренних напряжений в процессе сушки;

б) для измерения энергетических показателей процесса сушки, например расходы тепла на сушку или на 1 кг влаги, которая испаряется;

в) для измерения скорости сушки, например автоматический влагомер с устройством, которое дифференцирует, и так далее.

Отсутствие разработанных методов для подобного автоматического управления и технических средств для его осуществления не позволяет в настоящее время ориентироваться при автоматизации сушильного процесса на системы автоматической оптимизации [6].



Рисунок 4.2 – Схема системы управления на базе микропроцессора

Схема регулировки процесса сушки по температуре и влажности сушильного агента разомкнута по параметрам, что характеризует состояние древесины, которая сушится (температура T , влажность W , показатели качества Q). Информация об этих параметрах не подается на регуляторы температуры и влажности сушильного агента. Эта система регулировки не обеспечивает заданную конечную влажность и необходимое качество высушенного материала. Поэтому с целью предотвращения нехватки, параметры режима сушки устанавливают заниженные, что препятствует интенсификации процесса.

Однако системы автоматической регулировки по параметрам сушильного агента в настоящее время нашли применение в промышленности и оправдывают себя при эксплуатации.

4.2 Выбор комплекса технических средств

4.2.1 Датчики температуры

ТСN75 - программируемый температурный датчик с последовательным портом, который формирует сигнал на выходе INT/CMPTTR для контролера, когда окружающая температура превышает запрограммированную пользователем предел. Выход INT/CMPTTR может быть запрограммирован как выход компаратора для работы термостата или как выход запроса прерывания по температуре.

Напряжение питания датчика может колебаться в пределах от 2.7 V до 5.5 V.

Связь из ТСN75 осуществляется через двухстороннюю шину, которая совместима со стандартным протоколом I²S. Шина позволяет читать текущую температуру, программировать пределы и гистерезис. При включении питания ТСN75 восстанавливается в режим компенсатора с температурой 80°C и гистерезисом 5°C. Режим за умалчиванием позволяет датчику работать в автономных

термостатах. Режим малого энергопотребления может быть установлен передачей соответствующей команды через двухстороннюю шину [20].

Входы выбора адреса позволяют включать до восьми TCN75 на одну двухстороннюю шину для многозонного контроля. Все регистры датчика доступны для чтения, а выход INT/COMPTR — для программирования микроконтроллером. Датчик легко приспособливается к системе управления, потому что позволяет работать по опросу или прерыванию. Небольшие размеры, низкая стоимость и удобство использования делает TCN75 идеальным для построения сложных схем систем управления. Значение температуры превращается внутренним АЦП в 8 – разрядный двоичный код. Допуск АЦП — 1°C, номинальная скорость вращения - 8 об /сек.

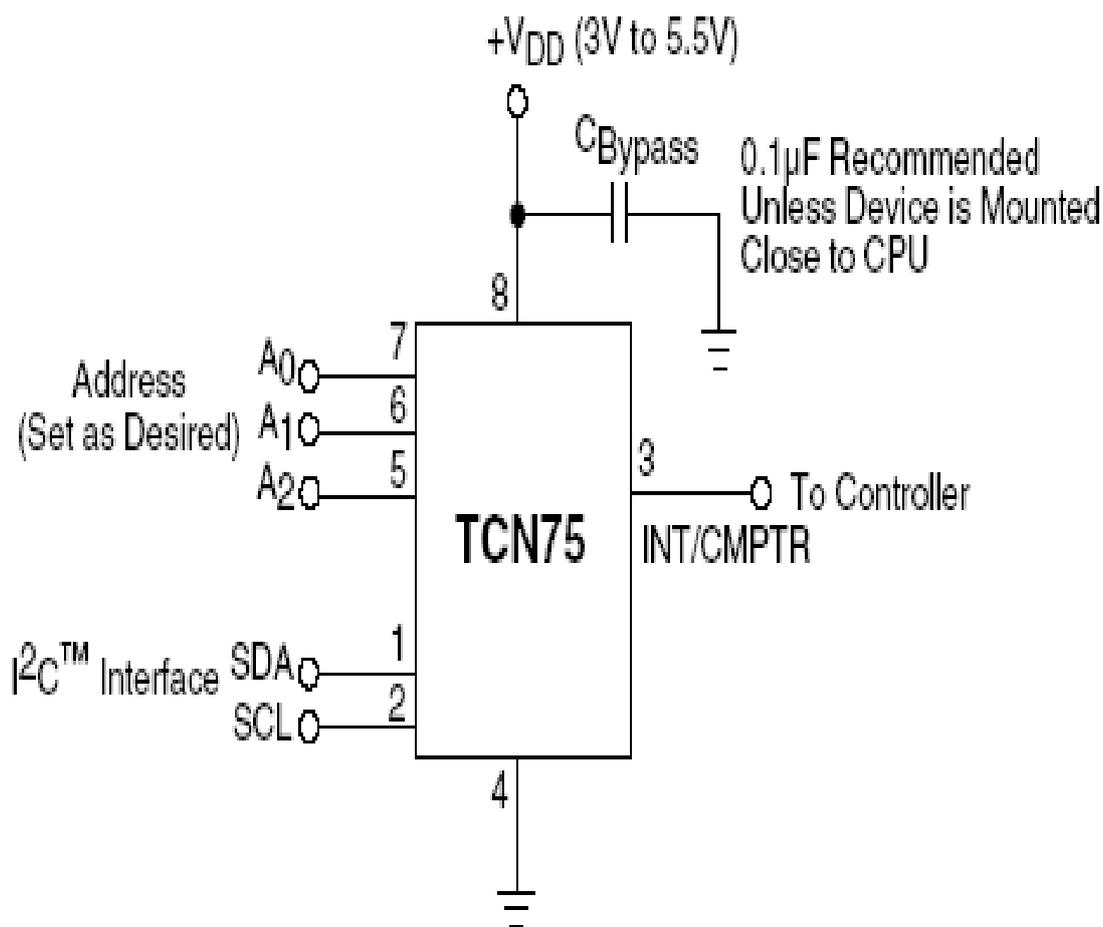


Рисунок 4.3 – Структурная диаграмма датчика

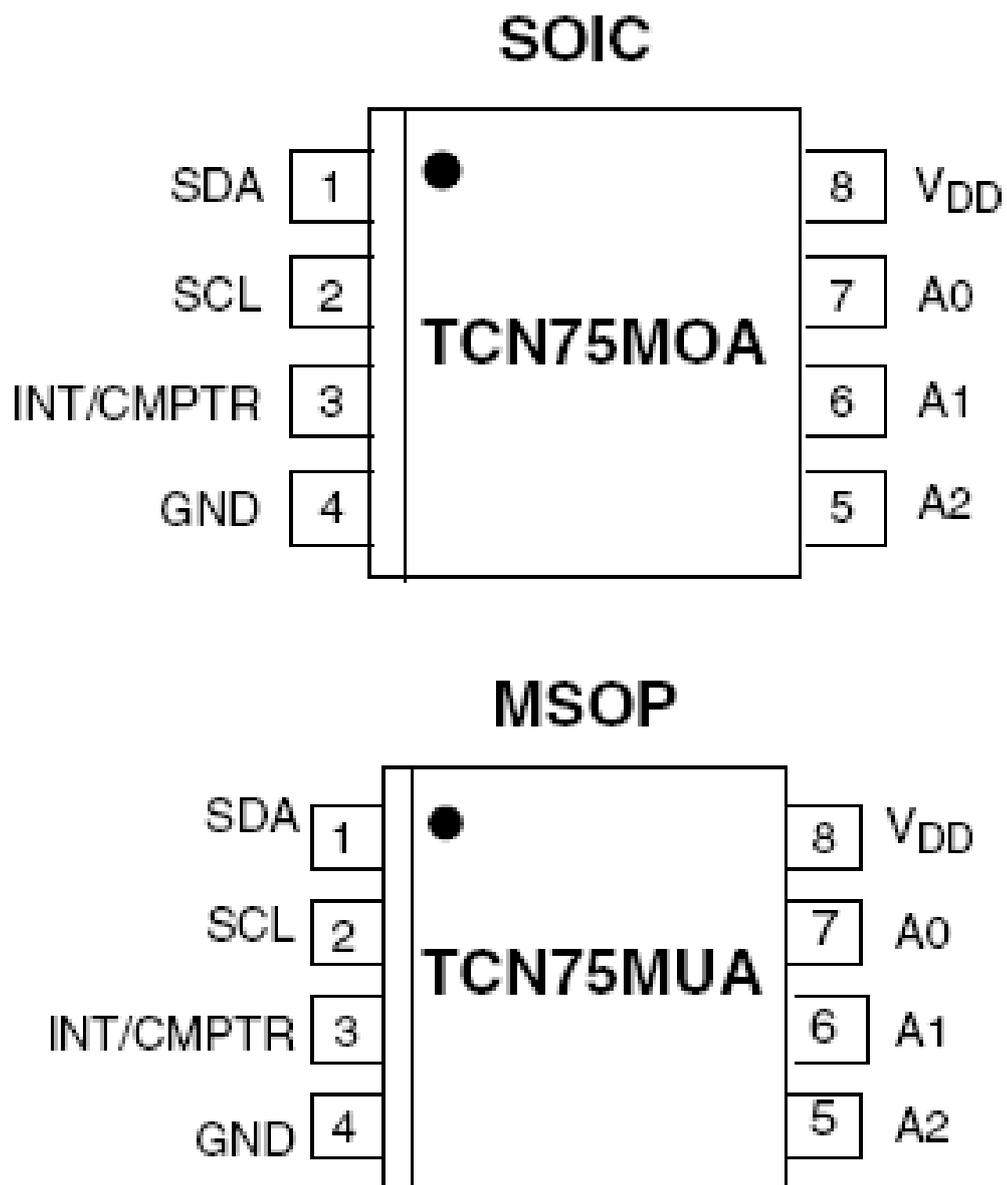


Рисунок 4.4 – Тип корпуса

Таблица 4.1 – Электрическая спецификация датчика

Сим-вол	Параметр	Min	Тур	Мах	Единица измерения	Условия тестирования
V_{DD}	Напряжение питания	2.7	-	5.5	V	
I_{DD}	Ток питания	- -	0.250 -	- 1.0	mA	* **
A_V	Средний уклон исходной току	-	1	-	μ A	*
V_{OL}	Исходное напряжение (low)	-	-	0.8	V	$I_{OL}=4$ mA
I_{OL}	Исходный ток	-	1	4	mA	
t_{TRIP}	Время отчетности	1	-	6	t_{CONV}	Задается программно

Примечание.

* - последовательный порт активирован.

** - последовательный порт неактивирован.

Таблица 4.2 – Температура/bit конвертор

Сим-вол	Параметр	Min	Тур	Мах	Единица измерения	Условия тестирования
ΔT	Чувствительность	-	± 3	-	$^{\circ}$ C	
t_{CONV}	Время конвертирования	-	55	\pm	мсек.	
$T_{SET(PU)}$	Значение температуры	-	80	-	$^{\circ}$ C	При включе-

	по умалчиванию					нии
$T_{HYST(PU)}$	Значение гистерезиса по умалчиванию	-	5	-	°C	При включении

Таблица 4.3 – Интерфейс двухпроводной шины

Символ	Параметр	Min	Тип	Мах	Единица измерения	Условия тестирования
V_{IH}	Высокий логический уровень (вход)	V_{DDX} 0.7	-	-	V	
V_{IL}	Низкий логический уровень (вход)	-	-	V_{DDX} 0.3	V	
V_{OL}	Низкий логический уровень (выход)	-	-	0,4	V	$I_{OL} = 3mA$
C_{IN}	Входная емкость	-	15	-	pF	
$I_{OL(SDA)}$	Ток внешнего круга	-	-	6	mA	

Связь из TC74 осуществляется через двухсторонней последовательный порт совместимый с SMBus/I²C. Этот же порт, может использоваться для управления режимом работы датчика. Бит «SHDN» в регистре состояния позволяет установить режим малого потребления. В этом режиме АЦП отключается, но последовательный порт продолжает функционировать. Ток потребления микросхемы 200 мкА (в режиме малого потребления — 5 мкА) [20].

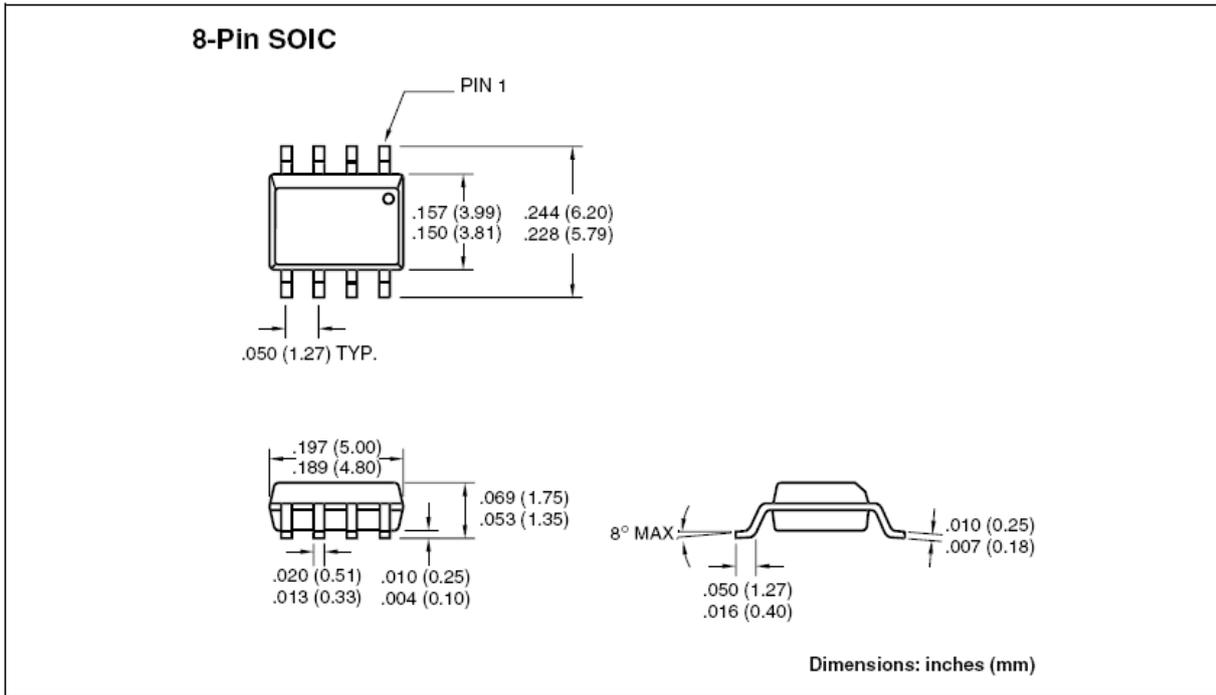


Рисунок 4.5 – Размеры корпуса датчика (размерность: дюймы (мм))

4.2.2 Сенсор относительной влажности

Общие сведения:

НН-3602 – сенсор относительной влажности в ТО-5 корпусе с гидрофобным фильтром из нержавеющей стали.

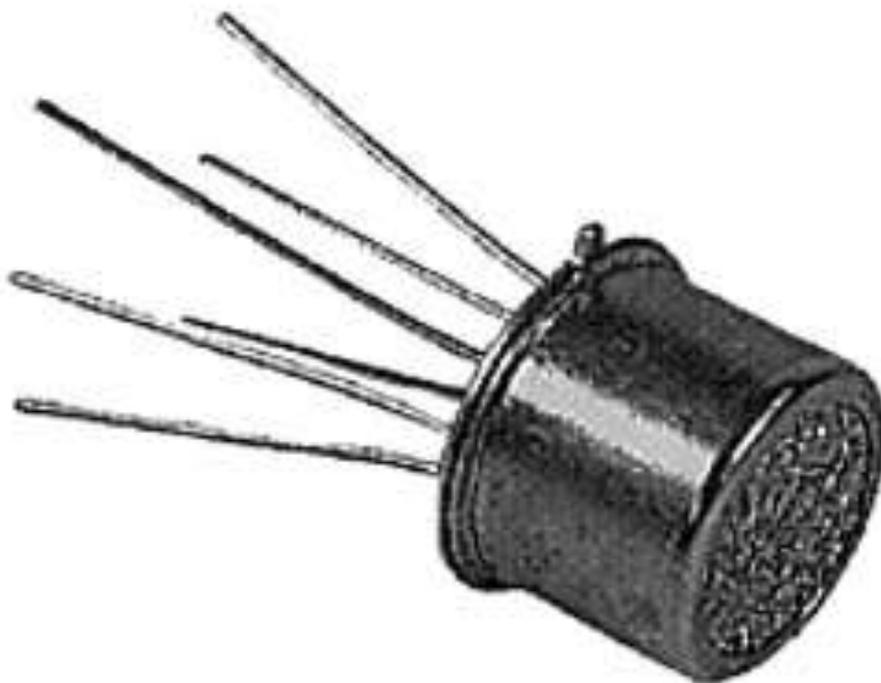


Рисунок 4.6 – Внешний вид датчика NIST калибрования

Каждый сенсор НИИ-3602 включает специфическое NIST калибрования и распечатывание данных.

Структура сенсора

Сенсор состоит из планарного конденсатора со вторым слоем полимера для защиты от грязи, пыли, жиров и других рисков.



Рисунок 4.7 – Внутреннее строение датчика

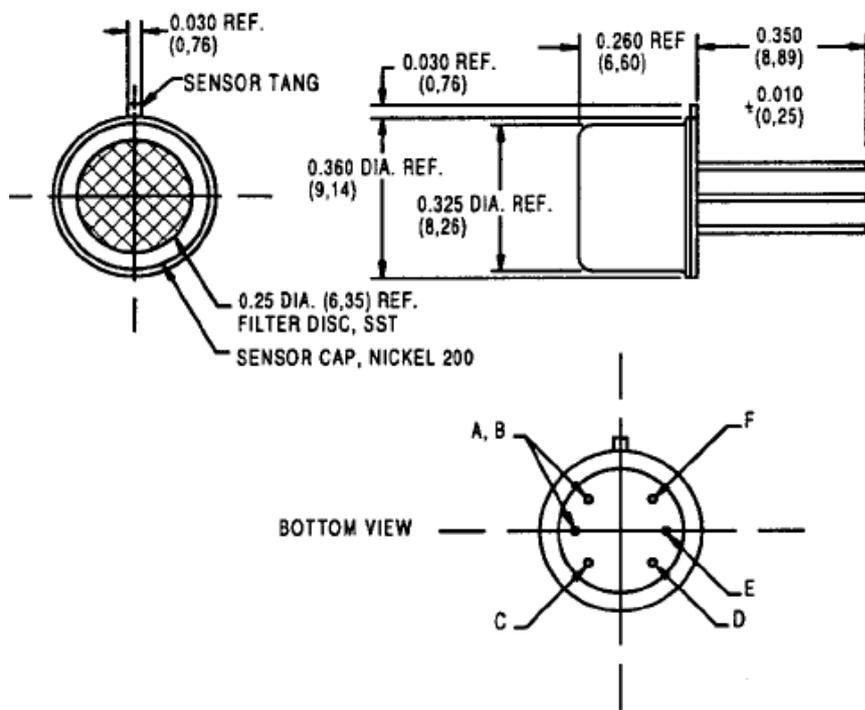


Рисунок 4.8 – Монтажные размеры

Таблица 4.4 – Внутреннее соединение выводов

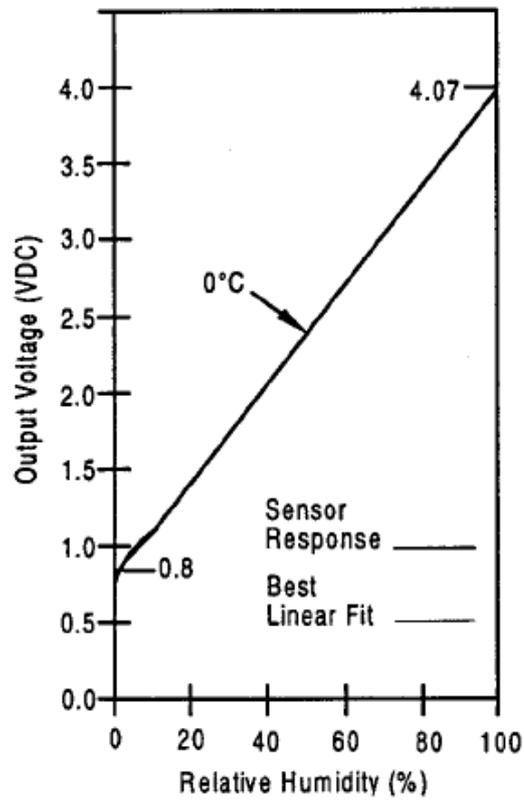
A,	Не используются
B	
C	+VDC питания
D	(-) питание или земля
E	VDC выход
F	Заземление корпуса

Таблица 4.5 – Спецификация выполнения

Погрешность RH	±2% RH, 0-100% RH неконденсирующий, 25 ⁰ С, Vsupply=5VDC
Взаимозаменяемость RH	±5% RH, 0-60% RH; ±8% RH при 90% RH
Линейность RH	±0,5% RH типичный

Гистерезис RH	±1,2% максимуму диапазона
Повторяемость RH	±0,5% RH
Время реакции RH	50 сек при медленном движении воздуха и при 25 ⁰ С
Стабильность RH	±1% RH типичный при 50% RH на протяжении 5 лет
Требования питания	
Напряжение	4...5,8 VDC, сенсор калибрует при 5VDC
Ток	200μА при 5VDC
Исходное напряжение	$V_{out}=V_{supply}(0.0062(\text{sensorRH}) + 0.16)$, типичная при 25 ⁰ С
При Vsupply=5VDC	
Температурная компенсация	$RH=(\text{sensorRH})/(1.093-0.012T)$ T в ⁰ F $RH=(\text{sensorRH})/(1.0546-0.00216T)$ T в ⁰ С
Результат при 0% RH	±0.007% RH/ ⁰ С
Результат при 100% RH	-0.22% RH/ ⁰ С
Диапазон влажности	
Рабочая	0...100% RH, неконденсирующий
Хранение	0...90% RH, неконденсирующий
Диапазон температур	
Рабочая	-40 ⁰ С...85 ⁰ С
Хранение	-40 ⁰ С...125 ⁰ С
Корпус	ТО-5 из 60μ гидрофобным фильтром из нержавеющей стали, стойким к конденсации
Поведение	Статический чувствительный диод защищает до

OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (at 0°C)



OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (at 0°C, 25°C, and 85°C)

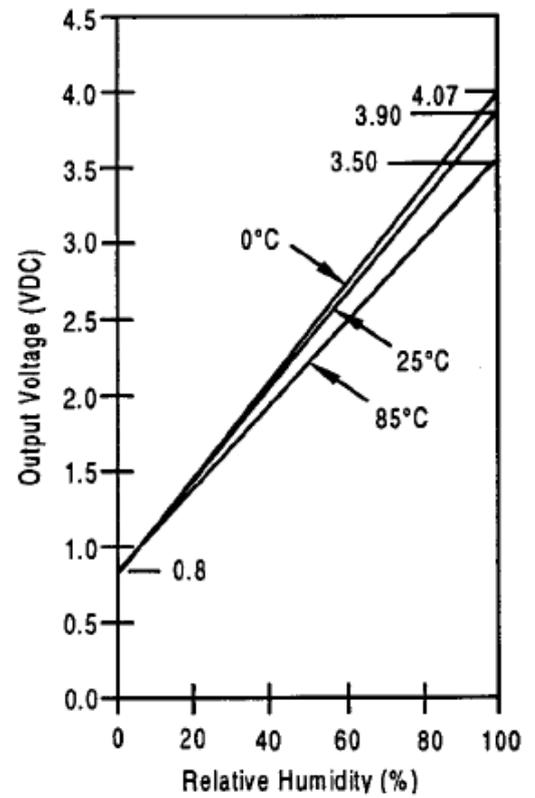


Рисунок 4.9 – Исходные характеристики

4.2.3 Центробежный вентилятор

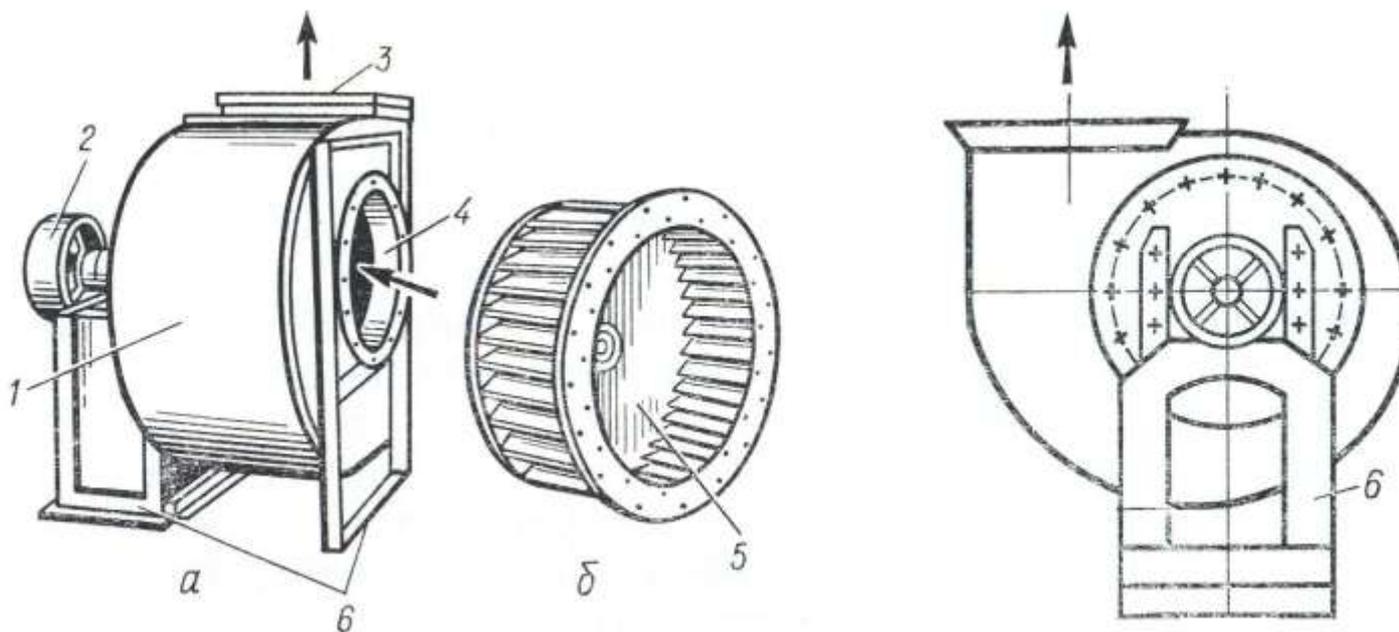


Рисунок 4.10 – Центробежный вентилятор

а – общий вид; б, в – колесо; в – вид со стороны; 1 – корпус; 2 – приводной шкив; 3 – выхлопное отверстие; 4 – всасывающее отверстие корпуса; 5 – всасывающее отверстие колеса; 6 – станина корпуса;

Вентиляторы представляют собой машины для перемещения воздуха. В центробежных вентиляторах воздух перемещается в колесе, что вращающийся в середине тулупа, в форме барабану с лопатками. Под действием центробежной силы воздух пытается переместиться по радиусу между лопатками внешнего колеса, попадает в корпус, а впоследствии по развороту его спирали нагнетается в примыкающий к нему воздухопровод [6].

На рисунке 4.10 показан центробежный вентилятор. Колесо оборачивается шкивом 2, вал которого проходит внутри корпуса. В центре бокового колеса есть цилиндрическое отверстие для крепления колеса на конец вала в середине корпуса. Оно должно вращаться только по развороту спирали корпуса. Воздух попадает в боковую часть корпуса, а выходит из корпуса под углом 90 градусов. В лесосушильной технике используются вентиляторы низкого давления – до 1000 Па.

Вентиляторы для сушильных камер выбирают по производительности V_B , м³/с, и давлению H_B , Па [2]:

$$V_B = \frac{V_{II}}{n}, \quad (4.1)$$

где n – число вентиляторов в камере.

Вентиляторы для сушильных камер подбирают по индивидуальным, групповым и безразмерным характеристикам. Характеристики — это графики, взаимосвязывающие основные аэродинамические параметры вентиляторов (H_B , V_B , U_B , n_B , η_B).

Характеристики составлены для так называемого «стандартного воздуха» при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, относительной влажности $\varphi = 0,5$ и плотности $\rho_{ст} = 1,2$ кг/м³. Если действительная плотность агента сушки ρ отличается от «стандартной», то вентилятор подбирается по так называемому характерному (приведенному) напору:

$$H_{хар} = H_B = \frac{1,2}{\rho}, \quad (4.2)$$

При выборе вентиляторов по безразмерным характеристикам определяется безразмерная производительность \bar{V} и безразмерный напор \bar{H}

$$\bar{V} = \frac{24,5V_B}{D_B^3 n_B}; \quad \bar{H} = \frac{3000H_{хар}}{D_B^2 n^2}, \quad (4.3, 4.4)$$

где D_B – диаметр ротора вентилятора, м (принимается предварительно); n_B – частота вращения ротора вентилятора, мин⁻¹ (принимается предварительно).

На рисунке 4.11 представлена групповая характеристика центробежных вентиляторов, с помощью которой производится выбор центробежных вентиляторов серий: Ц4-70 и ВЦ4-75. Выбирается вентилятор с наибольшим КПД, однако, это не единственный критерий. Обязательно учитывается схема привода в зависимости от частоты вращения ротора и вентилятора.

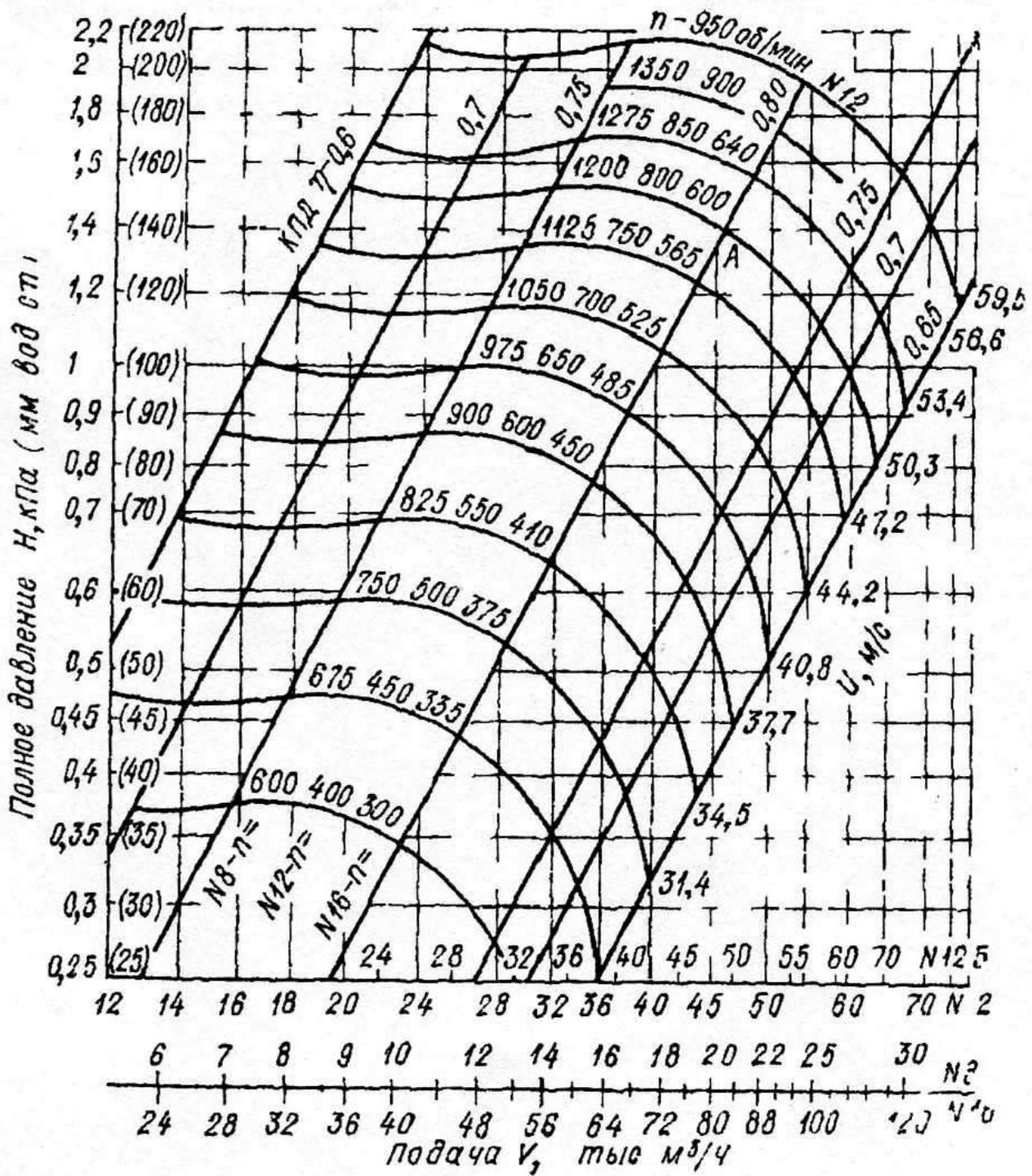


Рисунок 4.11 – Групповая характеристика центробежных вентиляторов (Ц4-70 и ВЦ4-75).

Максимальная теоретическая мощность вентилятора N_B , кВт, определяется в зависимости от его напора $H_{\text{хар}}$, Па, производительности V_B , $\text{м}^3/\text{с}$, и КПД:

$$N_B = \frac{H_{хар} V_B}{\eta_B} 10^{-3} \quad (4.5)$$

В современных лесосушильных камерах периодического действия используются 2- и 3-скоростные электродвигатели. Определение N_B и $H_{хар}$ на 1-й ступени режима гарантирует нормальную работу вентиляторной установки на холодном воздухе (при испытании камер, в начале сушки). При определении мощности вентилятора N_B на 2-й и 3-й ступени режима в формуле (4.5) следует подставлять V_B и H_B при скорости и плотности агента сушки на соответствующей ступени.

Мощность электродвигателя для привода вентиляторов определяется по формуле, кВт

$$N_{уст} = \frac{H_B k_3 k_t}{\eta_n}, \quad (4.6)$$

где k_3 – коэффициент запаса мощности на пусковой момент, таблица 4.6; k_t – коэффициент запаса, учитывающий влияние температуры среды, где расположен электродвигатель, таблица 4.7; η_n – КПД передачи: 1,0 – при непосредственной насадке ротора вентилятора на вал электродвигателя; 0,95 – при соединении вала вентилятора и электродвигателя с помощью муфты; 0,90 – при использовании передачи с клиновыми ремнями; 0,85 – с плоскими ремнями.

Подбор электродвигателя к вентилятору производится по каталогу, справочным данным [5] или таблице 4.8.

Таблица 4.6 – Значение коэффициента запаса k_3 для центробежных вентиляторов

Мощность электродвигателя, кВт	Коэффициента запаса k_3
До 0,5	1,50
От 0,5 до 1,0	1,30
От 1,0 до 2,0	1,20
От 2,0 до 5,0	1,15

Более 5,0	1,10
-----------	------

Таблица 4.7 – Значение коэффициента запаса k_t для центробежных вентиляторов

Температура среды, °С	36 – 40	41 – 45	46 – 50
P_t	1.1	1.2	1.25

Таблица 4.8 – Краткая характеристика асинхронных электродвигателей серии 4А (по ГОСТ 19523 – 81)

Мощность, кВт	Частота вращения ротора			Масса, кг
	1500 мин ⁻¹	1000 мин ⁻¹	750 мин ⁻¹	
2,2	4A90L4Y3	4A100L6Y3	4A112MA8Y3	20
3,0	4A100S4Y3	4A112MA6Y3	4A112MB8Y3	28,7
4,0	4A100L4Y3	4A112MB6Y3	4A132S8Y3	36
5,5	4A112M4Y3	4A132S6Y3	4A132M8Y3	42
7,5	4A132S4Y3	4A132M6Y3	4A160S8Y3	56
11,0	4A132M4Y3	4A160S6Y3	4A160M8Y3	93
15,0	4A160S4Y3	4A160M6Y3	4A180M8Y3	130
18,5	4A160M4Y3	4A180M6Y3	4A200M8Y3	145
22,0	4A180S4Y3	4A200M6Y3	4A200L8Y3	165

Выбираем центробежный вентилятор низкого давления марки ВЦ4-75-5К1, производительностью – 12,0 - 23,0 10³м³/ч, рабочим давлением 580 – 1000 Па и частотой вращения рабочего колеса – 960 мин⁻¹, с электродвигателем АИР132М6, мощностью 7,5 кВт.

4.2.4 Электрокалорифер

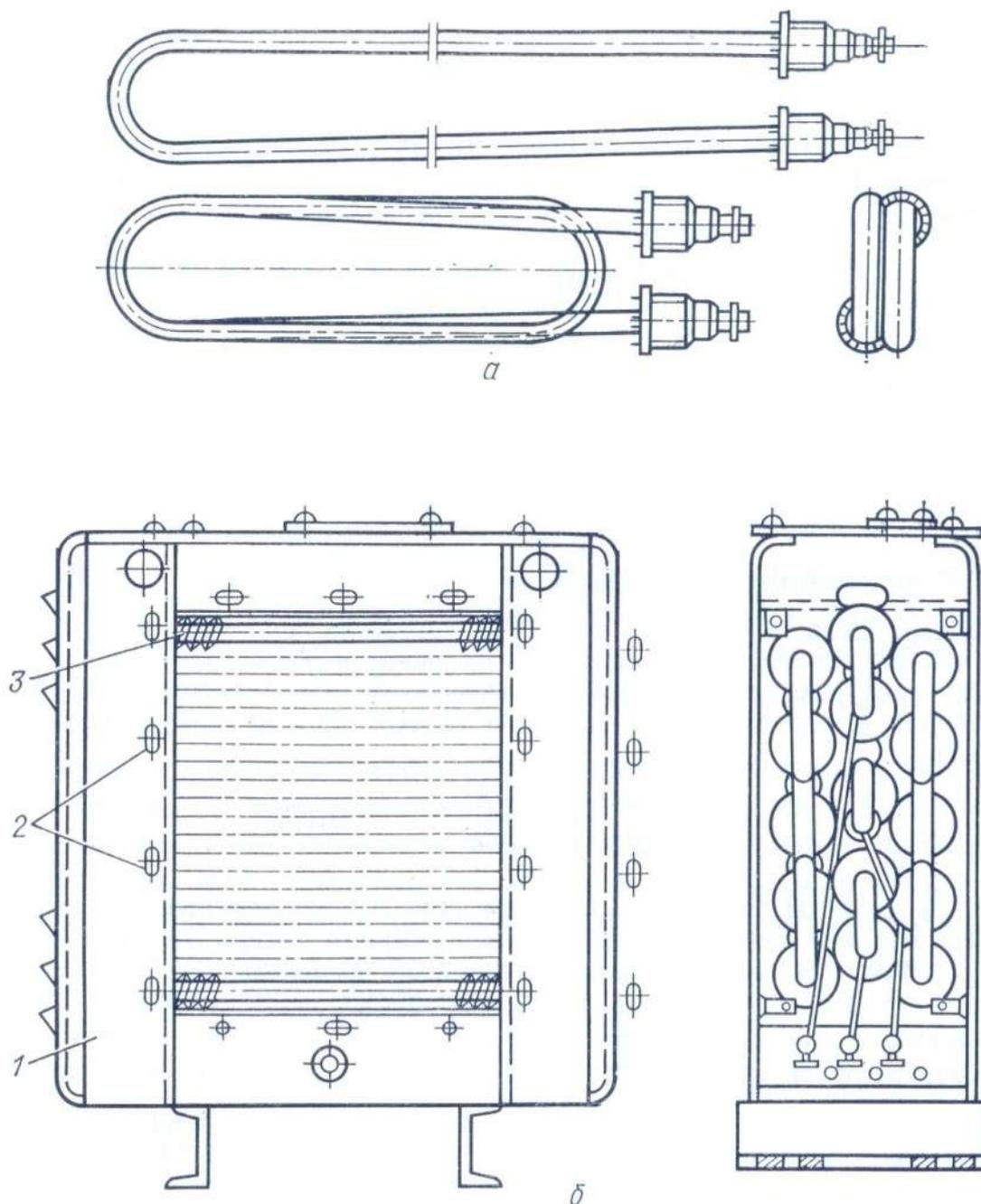


Рисунок 4.12 – Электрокалорифер

Нагреватель состоит из U-подобной, или более сложной согнутой трубки диаметром 10 – 16 мм. Длинной в развернутом состоянии 1 – 2,5 м, в слое элек-

троизоляции в которой запрессован греющий провод нихрома диаметром 0,3 – 0,5 мм и длиной 8 – 17 м. габаритные размеры ТЕН: длина 0,5 – 1 м, ширина 50 – 120 мм, толщина (в месте подсоединения к электросети) около 20 мм, масса 1 – 2,5 кг. Таким образом ТЕН – достаточно компактный нагревающий элемент. Температура его поверхности 300 – 350°C; она понижается с ускорением обдувки с сохранением постоянной теплоотдачи. Мощность ТЕН 0,4 – 5 кВт.

На основе ТЕН с ребрами и мощностью 4,8 кВт изготавливают компактные электрокалориферы, в частности ЭКО-5, ЭКО-10,....., ЭКО-160 , мощностью 4.8, 9.6,....., 157.5 кВт и напряжением питания 380В [6].

В лесосушильных камерах можно использовать отапливаемые электрокалориферы СФО (ПНЕ) мощностью 10 – 250 кВт, напряжением питания 380В предназначенные для нагрева воздуха до 100°C

Для данной сушильной камеры выбираем электрокалорифер ПНЕ-15, мощностью 15 кВт, производительностью 1200 м³/ч, аэродинамическое сопротивление по воздуху – 150 Па, число электрических секций– 2.

4.2.5 Циркуляционный насос

Циркуляционный насос - один из важнейших элементов системы водоснабжения. Для перекачки горячей воды, конденсата и пара в сушильных камерах целесообразно применять конденсатные насосы и консольные насосы типа К. Они вынуждают жидкость циркулировать в замкнутом контуре, который повышает теплоотдачу в системе отопления. Циркуляционный насос позволяет поддерживать постоянную температуру воды в системе горячего водоснабжения.

Насосы рассчитаны на производительность 10 – 360 м³/ч с напором в пределах 0,15 – 1,00 МПа. Частота вращения колеса 24,2 – 48,3 с⁻¹.

При перекачки горячих конденсатов центробежные насосы устанавливаются ниже емкости, из которой откачивают жидкость. Тогда обеспечивается нор-

мальная работа насоса, при которой давление конденсата в рабочем колесе будет выше давления упругих паров, выделяющихся из конденсата. Например, при температуре конденсата 110 °С насос должен работать с напором в 2 м и с давлением паровой подушки 0,15 МПа, если температура конденсата 140 °С – параметры будут соответствовать 6 м и 0,38 МПа.

Мощность, потребляемая двигателем, или номинальная мощность двигателя составит:

$$N = \frac{Q\rho gH}{1000\eta_n\eta_{ог}\eta_{п}} = \frac{Q\Delta P}{1000\eta_n\eta_{ог}\eta_{п}}, \quad (4.7)$$

где Q – объемный расход перекачиваемой жидкости, м³/с; ρ – плотность жидкости при параметрах перекачивания, кг/м³; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; H – напор, развиваемый насосом, в метрах столба перекачиваемой жидкости; ΔP – гидравлическое сопротивление сети для перекачки жидкости, Па; $\eta_n \approx 0,6 - 0,7$ – КПД насоса; $\eta_{дв} \approx 0,8 - 0,92$ – КПД электродвигателя (большие значения принимают для $N \approx 10 - 80$ кВт); $\eta_{п}$ – КПД передачи; если вал электродвигателя непосредственно соединен с валом насоса, $\eta_{п} = 1$.

Установочную мощность двигателя выбирают с учетом возможных перегрузок в момент пуска и отклонений условий эксплуатации от номинальных на 15 – 20 % выше расчетной.

$$N_{уст} = (1,2 \dots 1,1)N, \quad (4.8)$$

Насос выбирают таким образом, чтобы его напорная характеристика обеспечивала требуемую производительность Q при требуемом напоре H и при КПД η_n не менее $0,9\eta_{max}$.

Циркуляционные насосы Grundfos имеют простое электрическое подключение, низкий уровень шума, высококачественные материалы, низкое энергопотребление, защита электродвигателя не нужна, широкая номенклатура и широкий спектр использования.

Для циркуляции воды в водяном контуре обогрева камеры выбираем циркуляционный насос Grundfos UPS 25-60.

Таблица 4.9 – Технические параметры циркуляционного насоса

Тип продукта	Монтажная длина, мм	Трубное соединение	Класс защиты	Допустимая температура жидкости
UPS 25-60	180	G 1 1/2"	IP44	-25°C..+110°C



Рисунок 4.13 – Циркуляционный насос

Особенности и преимущества:

- Долговечные керамические подшипники

- Удобство монтажа
- Встроено тепловое реле
- Не нуждается в техническом обслуживании
- Низкий уровень шума
- Низкий уровень энергопотребления
- Широкий рабочий диапазон
- Продолжительный срок службы
- Однофазное выполнение имеет встроенный модуль защиты электродвигателя.

Технические данные:

- Электрическая мощность (1/2/3 скорость): 45/65/90 Вт;
- Производительность: 12 м³/ч;
- Напор до: 6 м;
- Температура перекачиваемой жидкости: от -25°С до +110°С;
- Макс. давление: 10 бар.

4.3 Выбор микроконтроллера

Для выполнения выставленных к системе автоматизации требований выбираем комплекс построенный на базе микроконтроллера PIC16F877 и средств измерения и индикации состояния системы автоматизации.

PIC16F877 однокристалльный 8-разрядный FLASH CMOS микроконтроллер компании Microchip Technology Incorporated. [13]

4.3.1 Характеристика микроконтроллера

Высокоскоростная RISC архитектура 35 инструкций все команды выполняются за один цикл, кроме инструкций переходов, выполняемых за два цикла. Основные характеристики микроконтроллера PIC16F877 приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.10 – Основные характеристики

Параметр	Описание, характеристика
Тактовая частота	DC - 20МГц
Сброс (задержка сброса)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH память программ (14-разрядных слов)	8К
Память данных (байт)	368
EEPROM память данных (байт)	256
Прерываний	14
Порты ввода/вывода	Порты А,В,С,D,Е
Таймеры	3
Модуль захвату/сравнение/ШИМ	2
Модули последовательного интерфейса	MSSP, USART
Модули параллельного интерфейса	PSP
Модуль 10-разрядного АЦП	8 каналов
Инструкций	35

- Прямой, непрямой и относительный режим адресации;
 - Сброс по включению питания (POR);
 - Таймер сброса (PWRT) и таймер ожидания запуска генератора (OST) после включения питания
- Сторожевой таймер WDT с собственным RC генератором;
- Программируемая защита памяти программ;
 - Режим энергосбережения SLEEP;
 - Выбор параметров тактового генератора;
 - Высокоскоростная, энергосберегающая CMOS FLASH/EEPROM технология;
 - Полностью статическая архитектура;
 - Программирование в готовом устройстве (используется два вывода микроконтроллера). Низковольтный режим программирования;
 - Режим внутрисхемного налаживания (используется два вывода микроконтроллера);
 - Широкий диапазон напряжений питания от 2.0В до 5.5В;
 - Повышена нагружающая способность портов ввода/вывода (25ма)

- Малое энергопотребление:

- < 0.6 мА, 3.0V, 4.0 МГц

- 20мкА, 3.0V, 32 КГц

- < 1 мкА в режиме энергосбережения.

Характеристика периферийных модулей:

Таймер 0: 8-разрядный таймер/счетчик с 8-разрядным программируемым делителем.

Таймер 1: 16-разрядный таймер/счетчик с возможностью подключения внешнего резонатора.

Таймер 2: 8-разрядный таймер/счетчик из 8-разрядным программируемым делителем и исходным делителем.

Два модуля сравнение/захвату/ШИМ (ССР):

- 16-разрядный захват (максимальная разрешающая способность 12.5нс)

- 16-разрядный сравнение (максимальная разрешающая способность 200нс)

- 10-разрядный ШИМ

Многоканальное 10-разрядное АЦП

Последовательный синхронный порт MSSP

- ведущий/ведомый режим SPI

- ведущий/ведомый режим I2C

Последовательный синхронно асинхронный приемопередатчик USART с поддержкой адреса.

Ведущий 8-разрядный параллельный порт PSP с поддержкой внешних сигналов -RD , -WR , -CS

Детектор сниженного напряжения (BOD) для сброса по снижению напряжения питания (BOR) [20]

4.3.1.1 Электротехнические характеристики

- Предельная рабочая температура от -55°C к $+125^{\circ}\text{C}$
- Температура хранения от -65°C к $+150^{\circ}\text{C}$ Напряжение V_{dd} относительно V_{ss} от -0.3В до $+7.5\text{В}$.
- Напряжение $-MCLR$ относительно V_{ss} от 0В к $+14\text{В}$.
- Напряжение $RA4$ относительно V_{ss} от 0В к $+8.5\text{В}$.
- Напряжение на других выводах относительно V_{ss} от -0.3В к $V_o+0.3\text{В}$.
- Максимальный ток V_{ss} 300мА.
- Максимальный ток V_{dd} 250мА.
- Входной запирающий ток I_{ik} ($V_i < 0$ или $V_i > V_{\text{dd}}$) $\pm 20\text{мА}$
- Исходный запирающий ток I_{ok} ($V_o < 0$ или $V_o > V_{\text{dd}}$) $\pm 20\text{мА}$
- Максимальный исходный ток стока канала ввода/вывода 25мА
- Максимальный исходный ток источника канала ввода/вывода 25мА
- Максимальный исходный ток стока портов ввода /вывода PORTA, PORTB и PORTE 200мА
- Максимальный исходный ток источника портов вводу /выводу PORTA, PORTB и PORTE 200мА
- Максимальный исходный ток стока портов вводу /выводу PORTC и PORTD 200мА
- Максимальный исходный ток источника портов вводу /выводу PORTC и PORTD 200мА
- Микроконтроллер PIC16F874/877 выпускаются в 40-выводном корпусе
- Тип корпуса: PDIP40 - 600т

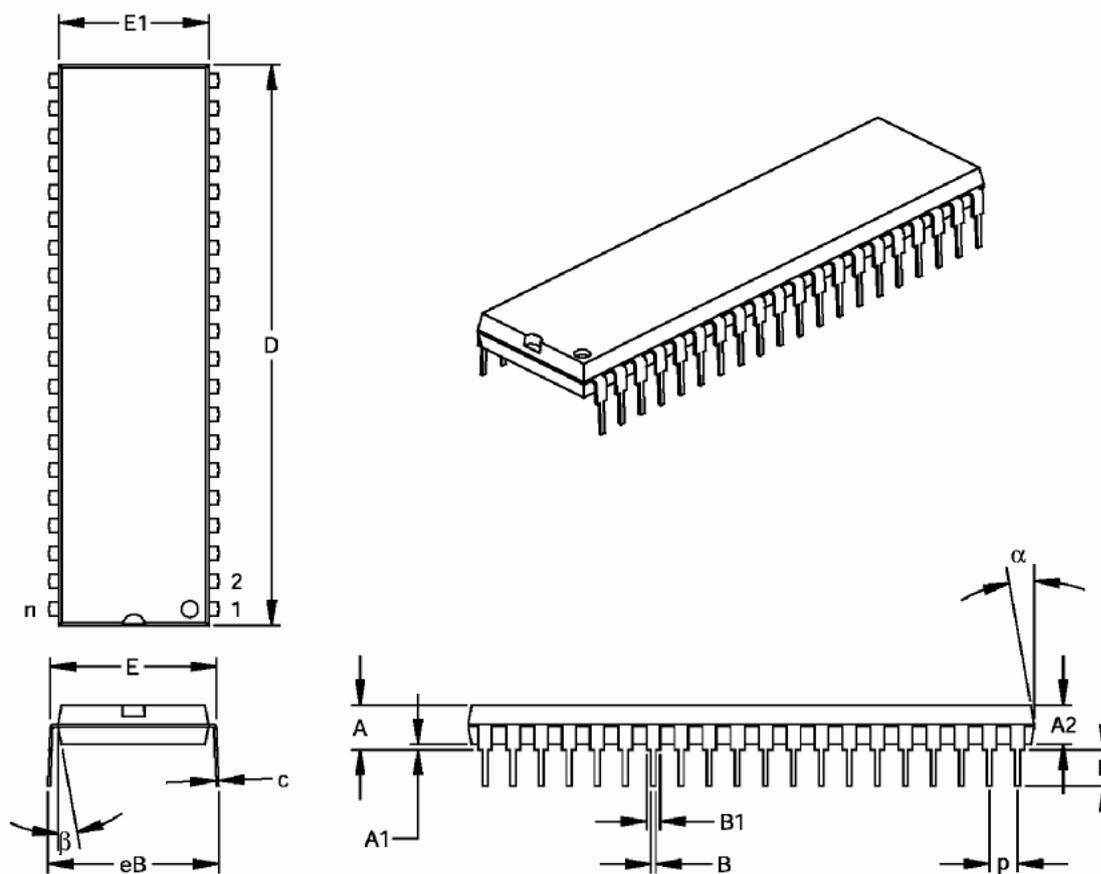


Рисунок 4.14 – Технологические размеры микроконтроллера PIC16F874/877

Таблица 4.11 – Технологические размеры

Единицы измерения		Миллиметры		
		Мин.	Ном.	Макс.
Пределы размеров				
Число выводов	n		40	
Расстояние между выводами	P		2.54	
Высота корпуса	A	4.06	4.45	4.83
Толщина корпуса	A2	3.56	3.81	4.06
Расстояние между корпусом и платой	A1	0.38		
Ширина корпуса с выводами	E	15.11	15.24	15.88

Ширина корпуса	E1	13.46	13.84	14.22
Длина корпуса	D	51.94	52.26	52.45
Длина нижней части вывода	L	3.05	3.30	3.43
Толщина вывода	c	0.20	0.29	0.38
Ширина верхней части вывода	B1	0.76	1.27	1.78
Ширина нижней части вывода	B	0.36	0.46	0.56
Полная ширина корпуса с выводами	eB	15.75	16.51	17.27
Угол фаски верхней части корпуса	a	5	10	15
Угол фаски нижней части корпуса	b	5	10	15

Детальное описание выводов микроконтроллера PIC16F877 приведено в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Назначение выводов микроконтроллера PIC16F877

Обозначение вывода	№	Тип И/О/Р	Тип буфера	Описание
1	2	3	4	5
OSC1/CLKIN	13	И	ST/CMOS(3)	Вход генератора / вход внешнего тактового сигнала
OSC2/CLKOUT	14	О	-	Выход генератора. Подключается кварцевый или керамический резонатор. В RC режиме тактового генератора на выходе OSC2 есть тактовый сигнал CLKOUT, равный $F_{osc}/4$.
-MCLR/VPP	1	И/Р	ST	Вход сброса микроконтроллера или вход напряжения программирования. Сброс микроконтроллера происходит при низ-

				ком логическом уровне сигнала на входе.
RAO/ANO	2	I/O	TTL	<p>Двухнаправленный порт ввода/вывода PORTA.</p> <p>RAO может быть настроен как аналоговый канал 0</p> <p>RA1 может быть настроен как аналоговый канал 1</p> <p>RA2 может быть настроен как аналоговый канал 2 или вход отрицательного опорного напряжения</p> <p>RA3 может быть настроен, как аналоговый</p>
RA1/AN1	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VRE	4	I/O	TTL	
F-				
RA3/AN3/VRE	5	I/O	TTL	
F+				

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	4	5
RA4/ТОСКИ	6	I/O	ST	<p>канал 3 или вход положительного опорного напряжения</p> <p>RA4 может использоваться в качестве вход внешнего тактового сигнала для TMRO. Выход с открытым стоком.</p> <p>RA5 может быть настроен как аналоговый канал 1 или вход выбора микросхемы в режиме известного SPI</p>
RA5/-SS/AN4	7	I/O	TTL	
RBO/INT	33	I/O	TTL/ST(1)	<p>Двухнаправленный порт ввод/выход PORTB.</p> <p>PORTB имеет программно подключаемые подтягивающие резисторы на входах.</p>
RB1	34	I/O	TTL	
RB2	35	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	I/O	TTL	

RB4	37	I/O	TTL	RBO может использоваться в качестве вход внешних прерываний.
RB5	38	I/O	TTL	RB3 может использоваться в качестве
RB6/PGC	39	I/O	TTL/ST(2)	вход для режима низковольтного программирования.
RB7/PGD	40	I/O	TTL/ST(2)	Прерывание по изменению уровня входного сигнала. Прерывание по изменению уровня входного сигнала. Прерывание по изменению уровня входного сигнала или вывод для режима внутрисхемного налаживания ICD. Тактовый вход в режиме программирования. Прерывание по изменению уровня входного сигнала или вывод для режима внутрисхемного налаживания ICD. Вывод данных в режиме программирования.
RCO/T1OSO /T1CKI	15	I/O	ST	Двухнаправленный порт ввода/вывода PORTC. RCO может использоваться в качестве выход генератора TMR1 или входу внешнего тактового сигнала для TMR1.
RC1/T1OSI /CCP2	16	I/O	ST	RC1 может использоваться в качестве вход генератора для TMR1 или вывода модуля PCP2.
RC2/CCP1	17	I/O	ST	RC2 может использоваться в качестве

				вывод модуля PCP1.
RC3/SCK/SCL	18	I/O	ST	RC3 может использоваться в качестве вход/выход тактового сигнала в режиме SPI и I2C.
RC4/SDI/SDA	23	I/O	ST	RC4 может использоваться в качестве вход данных в режиме SPI или вход/выход данных в режиме I2C.
RC5/SDO	24	I/O	ST	RC5 может использоваться в качестве выход данных в режиме SPI.
RC6/TX/CK	25	I/O	ST	RC6 может использоваться в качестве вывод передатчика USART в асинхронном режиме или вывода синхронизации USART в синхронном режиме.
RC7/RX/DT	26	I/O	ST	RC7 может использоваться в качестве вывод

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	4	5
				приемника USART в асинхронном режиме или вывода данных USART в синхронном режиме.
RDO/PSP0	19	I/O	ST/TTL(3)	Двухнаправленный порт ввода/вывода
RD1/PSP1	20	I/O	ST/TTL(3)	PORTD или ведущий параллельный порт
RD2/PSP2	21	I/O	ST/TTL(3)	для подключения к шине микропроцессора....
RD3/PSP3	22	I/O	ST/TTL(3)	
RD4/PSP4	27	I/O	ST/TTL(3)	
RD5/PSP5	28	I/O	ST/TTL(3)	
RD6/PSP6	29	I/O	ST/TTL(3)	

RD7/PSP7	30	I/O	ST/TTL(3)	
RE0/D/AN5	8	I/O	ST/TTL(3)	Двунаправленный порт ввода/вывода PORTE. RE0 может использоваться в качестве управляющего входа чтения PSP или аналогового канала 5
RE1/WR/AN6	9	I/O	ST/TTL(3)	RE1 может использоваться для управляющего входа записи PSP или аналогового канала 6
RE2/CS/AN7	10	I/O	ST/TTL(3)	RE2 может использоваться в качестве управляющего входа выбора PSP или аналогового канала 7
Vss	12,3 1	P	-	Общий вывод для внутренней логики и портов вход/выход
Vdd	11,3 2	P	-	Позитивное напряжение питания для внутренней логики и портов вход/выход
NC	-	-	-	Эти выводы в середине микросхемы не подключены.

Обозначение: I – вход, O – выход, I/O – вход/выход, P – питание, - – не используется, TTL – входной буфер TTL, ST – вход с триггером Шмидта.

EEPROM память данных и FLASH память программ

Данные из EEPROM памяти и FLASH памяти программ могут быть прочитанные/перезаписанные в нормальном режиме работы микроконтроллера во всем диапазоне напряжения питания V_{dd} . Операции выполняются с одним байтом для EEPROM памяти данных и одним словом для FLASH памяти программ. Запись выполняется по принципу "стирания - запись" для каждого байта или слова. Сформирована кодом программы операция стирания не может выполненная при включенной защите записи.

Доступ к памяти программ позволяет выполнить вычисление контрольной суммы. Данные, записанные в памяти программ, могут использоваться в виде: 14-разрядных чисел, калибрующей информации, серийных номеров, упакованных 7-разрядных символов ASCII и так далее в случае выявления недействительной команды в памяти программ, выполняется пустой цикл NOP.

Число циклов стирания/записи для FLASH памяти программ значительно ниже по сравнению с EEPROM памятью данных, потому EEPROM память данных должна использоваться для сохранения часто изменяемых данных. Время записи данных руководствуется внутренним таймером, он зависит от напряжения питания, температуры и имеет небольшой технологический "разброс". [13]

При записи байта или слова автоматически стирается соответствующая ячейка, а затем выполняется запись. Запись в EEPROM память программ не влияет на выполнение программы, а при записи в FLASH память программ выполнения программы останавливается на время записи. Нельзя обратиться к памяти программ во время цикла записи. В течение операции записи тактовый генератор продолжает работать, периферийные модули включены и генерируют прерывания, которые "относятся в очередь" до завершения цикла записи. После завершения записи выполняется загруженная команда (через конвейерную обработку) и происходит переход по вектору прерываний, если прерывание разрешено и условие прерывания происходило во время записи.

Доступ к функциям записи/чтения EEPROM памяти данных и FLASH памяти программ выполняется через шесть регистров специального назначения:

EEDATA;

EEATH;

EEADR;

EEADRH;

EECON1;

EECON2.

Операции чтения/записи EEPROM памяти данных не прекращают выполнения программы. В регистре EEADR сохраняется адрес ячейки EEPROM памяти данных. Данные сохраняются/читаются из регистра EEDATA. Старший бит адреса в регистре EEADR всегда должен равняться нулю, потому что не поддерживается циклическая адресация (то есть ячейка с адресом 0x80 не отображается на 0x00). В PIC16F877 объем EEPROM памяти данных 256 байт (используются все 8-разрядов регистра EEADR).

Чтение FLASH памяти программ не влияет на выполнение программы, а во время операции записи выполнения программы прекращено. В спаренных регистрах EEADRH:EEADR сохраняется 13-разрядная адресация хранилища памяти программ, к которому необходимо сделать обращение. Спаренные регистры EEADRH:EEADR содержат 14-разрядные данные для записи или отображают значение из памяти программ при чтении.

4.3.2 Особенности микроконтроллеров PIC16F87X

В настоящее время, устройства работающие в режиме реального времени часто содержат микроконтроллер как основной элемент схемы. PIC16F87X имеют много усовершенствований, повышенную надежность системы, которые снижают стоимость устройства и число внешних компонентов. Микроконтроллеры PIC16F87X имеют режимы энергосбережения и возможность защиты кода программы.

Основные преимущества:

Выбор тактового генератора

Сброс:

- сброс по включению питания (POR);
- таймер включения питания (PWRT);
- таймер запуска генератора (OSC);
- сброс по снижению напряжения питания (BOR).

Прерывание

Сторожевой таймер (WDT)

Режим энергосбережения (SLEEP)

Защита кода программы

Область памяти для идентификатора

Внутрисхемное программирование по последовательному порту (ICSP)

Режим низковольтного последовательного программирования

Режим внутрисхемного налаживания (ICD)

В микроконтроллеры PIC16F87X встроен сторожевой таймер WDT, который может быть исключен только в битах конфигурации микроконтроллера. Для повышения надежности сторожевой таймер WDT имеет собственный RC генератор.

Дополнительных два таймера выполняют задержку старта работы микроконтроллера. Первый, таймер запуска генератора (OST), удерживает микроконтроллер в состоянии сброса, пока не стабилизируется частота тактового генератора. Второй, таймер включения питания (PWRT), срабатывает после включения питания и удерживает микроконтроллер в состоянии сброса в течение 72мс (типичное значение), пока не стабилизируется напряжение питания. В большинстве дополнений эти функции микроконтроллера позволяют исключить внешние схемы сброса.

Режим SLEEP предназначен для обеспечения сверхнизкого энергопотребления. Микроконтроллер может выйти из режима SLEEP по сигналу внешнего сброса, по прерыванию сторожевого таймера или при возникновении прерываний.

Выбор режима работы тактового генератора позволяет использовать микроконтроллеры в разных дополнениях. Режим тактового генератора RC позволяет уменьшить стоимость устройства, а режим LP снизить энергопотребление. Биты конфигурации микроконтроллера используются для указания режима его работы. [13]

4.3.3 Система команд микроконтроллера

Каждая команда микроконтроллеров PIC16F87X состоит из одного 14-разрядного слова, разделенного на код операции (OPCODE), которая определяет тип команды и один или несколько операндов, что определяют операцию команды. Команды разделены на следующие группы: байт ориентированные команды, бит ориентированные команды, команды управления и операций с константами.

Для байт ориентированных команд “f” является указателем регистра, а “d” указателем адресата результата. Указатель регистра определяет, какой регистр должен использоваться в команде. Указатель адресата определяет, где будет сохранен результат. Если 'd'=0, результат сохраняется в регистре W. Если 'd'=1, результат сохраняется в регистре, который используется в команде.

В бит ориентированных командах “b” определяет номер бита задействованного в операции, а “f” - указатель регистра, который содержит этот бит.

В командах управления или операциях с константами 'k' представляет восемь или одиннадцать бит константы или значения литер.

Система команд аккумуляторного типа, ортогональная и разделенная на три основных группы:

Байт ориентированные команды;

Бит ориентированные команды;

Команды управления и операций с константами.

Все команды выполняются за один машинный цикл, кроме команд условия, в которых получено искренний результат и инструкций значения счетчика команд PC. В случае выполнения команды за два машинных цикла, во втором цикле выполняется инструкция NOP. Один машинный цикл состоит из четырех тактов генератора. Для тактового генератора с частотой 4 МГц все команды выполняются за 1 мкс, если условие истина или изменяется счетчик команд PC, команда выполняется за 2 мкс.

Таблица 4.13 – Список команд микроконтроллеров PIC16F87X

Мнемоника команды	Описание	Цикл	14-разрядный код		флаг	Прим .	
			Бит 13	Бит 0			
Байт ориентированные команды							
ADDWF	f,d	Составление W и f	1	000 0111	dfff ffff	C,DC, Z	1,2
ANDWF	f,d	Побитове 'И' W и f	1	000 0101	dfff ffff	z	1,2
CLRF	f	Очистить f	1	000 0001	1fff ffff	z	2
CLRW		Очистить W	1	000 0001	0xxx xxxx	z	
COMF	f,d	Инвертировать f	1	000 1001	dfff ffff	z	1,2
DECf	f,d	Вычитать 1 из f	1	00 0011	dfff ffff	z	1,2
DECFSZ	f,d	Вычитать 1 из f и пропустить если 0	1 ⁽²⁾	00 1011	dfff ffff		1,2,3
INCf	f,d	Прибавить 1 к f	1	00 1010	dfff ffff	z	1,2
INCFSZ	f,d	Прибавить 1 к f и пропустить если 0	1 ⁽²⁾	00 1111	dfff ffff		1,2,3
IORWF	f,d	Побитовые 'ИЛИ' W и f	1	00 0100	dfff ffff	z	1,2
MOVF	f,d	Переслать f	1	00 1000	dfff ffff	z	1,2
MOVWF	f	Переслать W в f	1	00 0000	1fff ffff		
NOP		Нет операции	1	00 0000	0xx0 0000		
RLF	f,d	Циклический сдвиг f влево через перенос	1	00 1101	dfff ffff	c	1,2
RRF	f,d	Циклический сдвиг f вправо через перенос	1	00 1100	dfff ffff	c	1,2
SUBWF	f,d	Вычитать W из f	1	00 0010	dfff ffff	C,DC, Z	1,2
SWAPF	f,d	Поменять местами по-	1	00 1110	dfff ffff		1,2

		любайты в регистре f					
XORWF	f,d	Побитовое 'включение ИЛИ' W и f	1	00 0110	dfff ffff	z	1,2
Бит0 ориентированные команды							
BCF	f,b	Очистить Бит0 b в регистре f	1	01 00bb	bfff ffff		1,2
BSF	f,b	Установить Бит0 b в регистре f	1	01 01bb	bfff ffff		1,2
BTFSC	f,b	Проверить Бит0 b в регистре f, пропустить если 0	1 ⁽²⁾	01 10bb	bfff ffff		3
BTFSS	f,b	Проверить Бит0 b в регистре f, пропустить если 1	1 ⁽²⁾	01 11bb	bfff ffff		3
Команды управления и операции с константами							
ADDLW	к	Составить константу из W	1	11 111x	kkkk kkkk	C,DC, Z	
ANDLW	к	Побитные 'И' константы и W	1	11 1001	kkkk kkkk	Z	
CALL	к	Вызов подпрограммы	2	10 0kkk	kkkk kkkk		
CLRWDТ		Очистить WDT	1	00 0000	0110 0100	-TO.- PD	
GOTO	к	Безусловный переход	2	10 1kkk	kkkk kkkk		
IORLW	к	Побитные 'ИЛИ' константы и W	1	11 1000	kkkk kkkk	Z	
MOVLW	к	Переслать константу в W	1	11 00xx	kkkk kkkk		
RETFIE		Возвращение из под-	2	00 0000	0000 1001		

	программы с разрешением прерываний					
RETLW	к	Возвращение из подпрограммы с записью константы в W	2	11 01xx	kkkk kkkk	
RETURN		Повторно из подпрограммы	2	00 0000	0000 1000	
SLEEP		Перейти в режим SLEEP	1	00 0000	0110 0011	-TO.- PD
SUBLW	к	Вивахувати W из константы	1	11 110x	kkkk kkkk	C,DC, Z
XORLW	к	Побитное 'выключение ИЛИ' константы W	1	11 1010	kkkk kkkk	Z

Примечание:

При выполнении операции "чтения - модификация - запись" с портом входа/выхода начальные значения считываются с выводов порта, а не из выходных. Например, если в исходной было записано '1', а на соответствующем выходе низкий уровень сигнала, то будет записано значение '0'.

При выполнении записи в TMR0 (и d=1) TMR0 обнуляется, если он подключен к модулю TMRO.

Если условие истина или изменяется значение счетчика команд PC, то инструкция выполняется за два цикла. Во втором цикле выполняется команда NOP. [13]

4.4 Структура и метрологические характеристики каналов контроля и регуляции

Система автоматизации имеет в своем составе каналы ввода/вывода. Все исходные каналы имеют дискретный (логический) характер и предназначенные для управления устройствами автоматизации.

Таблица 4.14 – Карта сигналов

N п/п	Название параметру	Вид сигнала	Единица измерения	Номинальное значение
1	Температура в камере, точка 1	Цифровой	$^{\circ}\text{C}$	0.90
2	Температура в камере, точка 2	Цифровой	$^{\circ}\text{C}$	0.90
3	Температура в камере, точка 3	Цифровой	$^{\circ}\text{C}$	0.90
4	Температура в камере, точка 4	Цифровой	$^{\circ}\text{C}$	0.90
5	Управление двигателем центробежного вентилятора	Дискретный	В	“0” – +0..1 “1” – +2,5..5
6	Влажность в камере, точка 1	Аналоговый	%	0.100
7	Влажность в камере, точка 2	Аналоговый	%	0.100
8	Вентиляция в сушильной камере	Дискретный	В	“0” – +0..1 “1” – +2,5..5
9	Управление циркуляционным насосом	Дискретный	В	“0” – +0..1 “1” – +2,5..5
10	Управление вентиляторами вен-	Дискрет-	В	“0” – +0..1

	тиляционной камеры	ный		“1” – +2,5..5
11	Регулирование температуры в камере	Дискретный	В	“0” – +0..1 “1” – +2,5..5
12	Влажность доски в точке 1	Аналоговый	%	5.100
13	Влажность доски в точке 2	Аналоговый	%	5.100

5 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Функциональная схема автоматизации является основным документом, который определяет функционально блочную организацию структуры управления. Для процесса вакуумной сушки древесины функциональная схема приведена в графической части проекта (приложение 6). Система состоит из лесосушильной камеры, вентиляторов, насосов и микропроцессорного комплекса. Комплекс построен на базе микроконтроллера PIC16F877 и периферийных датчиков сбора технических параметров системы.

Опишем работу системы. В начальный момент времени, когда еще не начат процесс сушки система находится в состоянии готовности. После загрузки древесины и ее стартового прогрева, оператор дает команду на начало процесса. Оператор вводит значение желаемых влажностей для каждой ступени сушки пиломатериалов, и значения температур и влажности в камере для трех степеней сушки. Значения подбираются в зависимости от породы пиломатериалов и их геометрических размеров. Последующая работа сушильной установки идет в соответствии с введенными оператором данных. Включается нагрев котлов. Горячая вода поступает в систему теплообменников. Теплый воздух накачивается в сушильную камеру. Микроконтроллер PIC16F877 получает, от датчиков, значение влажности и температуры в лесосушильной камере, влажности доски. Также на каналы дискретного ввода PIC16F877 получает информацию из электродных датчиков о состоянии заслонки через которую осуществляется вентиляция камеры. Полученные значения PIC16F877 перерабатывает.

При значениях влажности доски $W_d > W_{d.c.1}$ установка работает в режиме за которым процесс сушки пиломатериалов происходит на первой ступени сушки. При приближении температуры в камере до предельного максимального уровня характерного для текущей ступени сушки контролер дает команду на отключение нагрева котла, при значениях влажности в камере $W_k > W_{k.c. (*)}$ происходит выключение вентилятора вытяжки сушильной камеры и открытия заслон-

ки вентиляции камеры. Данный процесс повторяется циклический в пределах заданной ступени сушки до тех пор пока выполняется условие для перехода на следующую ступень сушки. Данная система предусматривает два вида регулировки температуры в сушильной камере: «грубая» и «точная». Для установления и поддержания нужной температуры «грубым» путем применяют жидкостный и воздушный контур обогрева камеры, для контроля температуры «точным» путем используется электрокалорифер управления которым осуществляется с помощью микроконтроллера. На панель выводится текущее значение влажности доски, температуры и влажности в камере.

При значении влажности в камере меньше заданного происходит остановка вытяжного вентилятора и закрывается вентиляционная заслонка. Это необходимо для предотвращения возникновения внутренних напряжений в древесине и ее коробления.

При окончании ступени сушки (при достижении необходимого значения влажности материала, что сушится в камере, которое поступает на канал аналогового ввода) контролер сигнализирует об окончании данной ступени сушки и ожидает команды от оператора о переходе на следующую ступень сушки, при достижении конечного значения влажности доски процесс останавливается и контролер извещает по окончании процесса.

5.1 Алгоритм работы системы

Исследование поставленной задачи показало, что для детального понимания процесса, нужно прежде всего понять технологию сушки древесины трехступенчатым камерным режимом сушки. В процессе разработки проекта автоматизации были проанализированы возможные состояния системы, и факторы что вызывают изменения. Охватывая весь технологический процесс и учитывая приоритеты факторов влияния на состояние системы был разработан алгоритм

работы трехступенчатой камерной сушилки. Блок схема алгоритма работы системы изображена на листе формата А1 (приложение 6).

Следовательно, в результате влияния факторов, которые изменяют, состояние системы микроконтроллера система формирует на каналах вывода дискретные значения, высокого и низкого уровней, тем самым руководя протекание процесса.

В момент загрузки пиломатериалов система находится в состоянии „полной остановки процесса сушки”. В этом состоянии не работают воздушный и жидкостный контур обогрева, электрокалорифер выключен, не осуществляется вентилирование в камере также закрытый клапан вентилирования, не включен вытяжной вентилятор. Потом происходит прогрев камеры с пиломатериалами, он длится из расчета 1 час. на 1см. древесины.

Следующим этапом является старт микроконтроллерной системы (в дальнейшем МКС) с устройствами сбора информации.

МКС формирует запрос на желаемые значения влажности для каждого из трех ступеней сушки. Также выполняется запрос на значение влажности и температуры в камере для трех ступеней сушки соответственно.

После ввода оператором значения дается команда на начало процесса сушения.

МКС считывает значение влажности загруженных пиломатериалов и на основе полученной информации установка переходит в режим сушки по первой из трех ступеней.

Сушка в пределах определенной ступени выполняется до тех пор, пока выполняется условие ($W_d < W_{d.c.*}$) достаточная для перехода на следующую ступень.

Где: W_d – влажность доски в момент сбора информации

$W_{d.c.*}$ - желаемая влажность доски для данной ступени сушки (вводится оператором в начале процесса сушки).

Теперь детальнее опишем алгоритм работы установки в пределах степени сушки.

МКС получает от датчиков текущие значения температуры в камере и влажности в камере (T_k , W_k). Данные значения температуры и влажности сравниваются с теми, которые отвечают значением, что нужно достичь для данной степени сушки. В результате сравнения МКС формирует управляющие сигналы на устройстве что регулируют температуру и осуществляют вентиляцию камеры тем самым уменьшают влажность воздуха в камере. При выполнении условия $T_k < T_{k.c.}(*)$ включается электрокалорифер, в противоположном случае МКС дает сигнал на отключение. Открытие клапана вентиляции и включения вентилятора вытяжки происходит при выполнении условия $W_k < W_{k.c.}(*).$

Где: T_k – текущее значение температуры в камере.

$T_{k.c.}(*)$ – предельное значение температуры в камере для данной степени сушки.

W_k – текущее значение влажности в камере

$W_{k.c.}(*)$ – предельное значение влажности в камере для данной степени сушки.

В зависимости от стадии сухости пиломатериалов изменяется цикличность изменения состояний системы и длительность пребывания в определенном состоянии.

Предложенный алгоритм работы трехступенчатой сушильной камеры пиломатериалов, позволяет осуществлять сушку в автоматическом режиме, и адаптировать его к аппаратным средствам сбора технических параметров, также позволяет создать простую программу, которая минимально тратит ресурсы микроконтроллера.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

6.1 Общие положения

В соответствии со статьей 209 Трудового Кодекса Российской Федерации безопасные условия труда – условия труда, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо когда уровни их воздействия не превышают установленных нормативов. Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса; оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [3].

Реализация основных направлений государственной политики в области охраны труда обеспечивается согласованными действиями органов государственной власти РФ, органов государственной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления, работодателей, объединений работодателей, а также профессиональных союзов, их объединений и иных уполномоченных работниками представительных органов по вопросам охраны труда.

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Охрана труда базируется на анатомо-психофизиологических особенностях организма человека, взаимодействующего в процессе производства с предметами труда, средствами труда и окружающей средой.

Сложность поведения человека при угрозе его жизни и здоровья, а также благополучный выход из тяжелых ситуаций обусловлены: своевременностью обнаружения опасности; правильностью ее диагностирования; выбором способа адекватного реагирования на опасность.

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного электрическо-

го тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Исход поражения электрическим током зависит от следующих факторов [3]:

- индивидуальные особенности организма человека.
- сопротивление тела человека;
- сила тока протекающего через тело пострадавшего;
- времени действия тока;
- пути протекания, частоты и рода тока.

Основной поражающий фактор электрического тока – сила тока, проходящая через тело человека в зависимости от условий.

6.2 Анализ состояния охраны труда на ОАО «Алеусский лес»

6.2.1 Состояние организационной работы

ОАО «Алеусский лес» занимается: валкой леса, доставкой, распиловкой, сушкой и продажей древесины и изделий из древесины.

Приказом директора по предприятию, ответственным за электробезопасность на предприятии назначен главный энергетик.

Текущее обслуживание электрооборудования на ОАО «Алеусский лес» осуществляется электромонтерами, имеющими IV группу допуска по электробезопасности, и допущенными к самостоятельной работе в электроустановке, распорядительным документом по предприятию. Обязанности электромонтера определяются действующими инструкциями. На ОАО «Алеусский лес» инструкции по охране труда и эксплуатации электротехнического и электротехнологического оборудования разработаны на основе ПУЭ, ПОТ, ПТЭ, ППБ и других нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, утверждены техническим руководителем предприятия и доведены до персонала электро-

цеха. Все инструктажи проводятся своевременно с записью в журнале регистрации инструктажа с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

Допуск к работе оформляется распоряжением или перечнем работ в порядке текущей эксплуатации, а также по нарядам, утверждённым лицом ответственным за электрохозяйство [15].

Периодический контроль проверки знаний ПОТ, ПТЭ, ППБ, ПУЭ и должностных инструкций у электротехнического и электротехнологического персонала проводится 1 раз в год в Госэнергонадзоре. По результатам проверки продлевается или заменяется удостоверение о «проверке норм и правил по электробезопасности».

Медицинские осмотры проводятся работникам при приёме на работу и периодически, в соответствии с приказом Минздрава и соц. развития РФ от 16.09.04г. №83 «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные периодические м/о (обследования), и порядка проведения этих осмотров (обследований)», и приказом Минздрава и медицинской промышленности РФ от 14.03.96г. №90 «О порядке проведения предварительных и периодических м/о работников и медицинских регламентах допуска к профессии».

Лица, не достигшие 21 года, проходят периодический м/о ежегодно.

Электромонтеры по обслуживанию электрооборудования – 1 раз в 2 года.

Обеспеченность спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты (СИЗ) на ОАО «Алеусский лес» производится в соответствии с:

- «Типовыми нормами бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и др. СИЗ работникам сквозных профессий и должностей всех отраслей экономики» (Приложение «К» к «Постановлению Минтруда и соцразвития РФ от 16.12.1997г №69»)

- согласно «Правил обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и др. СИЗ» (Постановление Минтруда и соцразвития РФ от 18.12.1998г №51»)

Управление охраной труда на предприятии ОАО «Алеусский лес» в целом осуществляет директор (главный инженер), в цехах, на производственных участках и в службах – руководители соответствующих подразделений и служб.

Организационно методическую работу по управлению охраной труда, подготовку управленческих решений и контроль за их реализацией осуществляет инженер по охране труда, непосредственно подчиняясь директору (главному инженеру). Нормативной основой является трудовой кодекс, система стандартов безопасности труда, нормы, правила, положение, указания, инструкции по вопросам охраны труда. К основным организационным документам из охраны труда в организации принадлежит Положение об организации работы по охране труда на предприятии; Положение об отделе, в котором должны быть отражены вопросы охраны труда, за которые несет ответственность данный отдел; Должностные инструкции руководящих и инженерно-технических работников; Инструкции из охраны труда для рабочих по профессиям; Приказы, постановления и распоряжение из охраны труда и другие информационные материалы. Охрана труда предусматривает комплексное решение вопросов из охраны труда на предприятии, активное участие в этой работе всех инженерно-технических и хозяйственных служб, коллективную ответственность за создание безопасных условий труда на каждом рабочем месте [3].

Руководящие и инженерно-технические работники предприятия обязаны не реже одного раза в три года (или одного раза в год, в зависимости от занимаемой должности) сдавать экзамены по правилам и нормам охраны труда.

Инструктаж по охране труда бывает: вводный, первичный, повторный, внеплановый, целевой.

Вводный инструктаж по охране труда проводит инженер по технике безопасности предприятия, в оборудованном кабинете по технике безопасности по специальной программе с обязательной записью в журнал, утвержденной

главным инженером предприятия. Во время вводного инструктажа разъясняют общие положения законодательства о труде, правила внутреннего распорядка предприятия, правила поведения работников на территории предприятия, в производственных цехах, требования к рабочему месту, спецодежде и спецобуви, основные требования личной и производственной гигиены, правила предоставления первой помощи при несчастных случаях и заболеваниях.

Первичный инструктаж проводят перед началом работы со всеми вновь прибывшими на предприятие, а также с рабочими, переведенными из одной работы на другую или из одного вида оборудования на другой. Инструктаж проводит непосредственно руководитель работ, исполнитель работ, мастер, под руководством которого находится данный рабочий. Во время инструктажа на рабочем месте рабочего знакомят с основными безопасными приемами труда на данном участке. [4]

Повторный инструктаж проводит непосредственный руководитель работ каждый квартал со всеми рабочими независимо от их квалификации и стажа работы из данной профессии, по программе инструкций на рабочем месте.

Внеплановый инструктаж рабочих проводят в случае изменения технологического процесса, замены оборудования, которое обслуживается, и механизмов, в результате чего изменяются условия безопасности работы или если на предприятии произошли несчастные случаи и профессиональные заболевания.

Все виды инструктажа фиксируются в журнале регистраций инструктажей с подписями сторон.

6.2.2 Состояние производственной санитарии

Состояние производственной санитарии влияет на условия труда. Производственная санитария характеризуется: микроклиматом (температурой воздуха

в помещении, относительной влажностью, скоростью движения воздуха в помещении), освещенностью, запыленностью, загазованностью, шумом.

В 2008 году проводилась аттестация рабочих мест. На основании документов по аттестации рабочих мест по условиям труда можно сделать вывод что, недостаточна освещена территория центральной усадьбы в ночное время, уровень освещенности и загазованности в производственных цехах соответствует требованиям СНиП 23-05-95 и гигиенических норм, шум в цехах соответствует санитарным нормам только при использовании специальных наушников (17 дБ).

6.2.3 Состояние противопожарной защиты

В каждом цехе имеется оборудованный пожарный щит, укомплектованный первичными противопожарными средствами и металлические ящики с песком. По территории хозяйства установлено 7 гидрантов. В случае пожара предусмотрена быстрая эвакуация людей из всех помещений, согласно имеющимся планам эвакуации при пожаре.

Согласно межотраслевым правилам по охране труда в электроустановках применяются углекислотные огнетушители для тушения электрооборудования до 1000 вольт.

Назначены ответственные лица за пожарную безопасность на производственных участках.

Каждый работник четко знает и выполняет требования правил пожарной безопасности, не допускает действий, которые, впоследствии, могут привести к пожару или возгоранию.

6.3 Мероприятия по улучшению охраны труда на ОАО «Алеусский лес»

На основании проведенного анализа было установлено, что недостаточно освещена территория, и дежурный персонал в ночное время пользуется фонариком при обходах и осмотрах технологического оборудования, что может привести к травмам из-за плохой видимости при авариях и технологических нарушениях работы с оборудованием. В некоторых цехах выцветшие планы эвакуации при пожаре и стенды по безопасной работе на станках. На дежурном посту отсутствует телефон, связь только по рации. Для снижения шума, в производственных цехах, требуются специальные наушники.

Предлагаю установить уличное освещение, обновить стенды и плакаты там, где это необходимо, на дежурном посту установить телефон для экстренного вызова милиции, пожарных и скорой помощи, в производственные цеха приобрести специальные наушники.

6.4 Требования охраны труда при транспортных работах в сушильных цехах

К грузотранспортным работам в сушильных цехах допускаются лица, которые обучены правилам эксплуатации подъемно-транспортных механизмов и которые прошли инструктаж по охране труда.

Основные правила техники безопасности при формировании штабелей и их транспортировке в цехе сводятся к следующему.

При формировании штабелей:

Запрещается складировать и разбирать штабели внутри сушильной камеры.

Допускается ручная закладка штабелей на высоту до 1,5 м от уровня пола; верхнюю часть в этом случае необходимо формировать, используя эстакады, штабелеры и другие механизмы;

Необходимо обязательно проверять правильность укладки штабеля по высоте и ширине габаритным шаблоном;

При работе на вертикальном подъемнике нельзя находиться в непосредственной близости от штабеля при подъеме или опускании (при разборке) платформы; не допускать попадания предметов (досок, прокладок) в зазор между поверхностями штабеля и стенками котлована; принимать меры по удалению предметов что попали в котлован подъемника [3].

Работа на неисправных механизмах и при отсутствии или неисправности защитных ограждений и приспособлений категорически запрещается. Нельзя касаться подвижных тросов, стоять возле штабеля при его движении, находиться под пакетом пиломатериалов или другого груза при подъеме и перемещении.

Для остановки подвижного штабеля необходимо применять специальные башмаки, которые устанавливаются на рельсы. В конце рельсового пути должны быть установлены упоры, которые препятствуют сходу штабеля с рельс.

Необходимо следить за тем, чтобы постоянные проходы содержались в чистоте, а их ширина была не меньше одного метра.

6.5 Охрана труда при обслуживании сушильных камер и противопожарные мероприятия

До работы по обслуживанию сушильных камер допускаются лица, которые знают их устройство и правила технической эксплуатации. Основную опасность представляют мероприятия обслуживающего персонала в камере по снятию замеров температуры и влажности. Их количество должно быть максимально сокращено, для чего необходимо применять стационарные или дистанционные психрометры, приспособление для закладки и выемки, контрольных образцов из коридора управления.

При проведении различных мероприятий в камере оператор сушильной установки обязан надевать брезентовый костюм с плотными застежками около воротника и ладоней рук, перчатки, шлем и противогазовую маску с воздухоохладителем. Полы помещения камер, особенно которые имеют подвал, должны

находиться в исправном состоянии. Камеры должны быть оборудованы электрическим освещением напряжением 12 — 36 В. Если оно отсутствует, необходимо пользоваться аккумуляторными фонарями или переносными низковольтными лампами с сеткой и бронированным шнуром.

Двери в камеру должны иметь внешние и внутренние ручки. При входе в камеру необходимо следить за тем, чтобы двери случайно не закрыли. Если оператору нужно зайти в горячую камеру, у ее дверей должен находиться дежурный.

Паропроводы необходимо теплоизолировать, фланцы соединений паропроводов и калориферов закрыть защитными экранами. Все подвижные части оборудования, сушильных камер должны быть закрыты ограждениями.

С работниками занятыми в сушильном цехе необходимо периодически проводить учебу по правилам охраны. В цеху должен быть оборудован санитарный пост и стенды с наглядными пособиями по технике безопасности.

Зольное помещение топки должно быть оборудовано вентиляцией и иметь двери, которые ведут наружу. Перед топочным отверстием должны быть установленные экраны, которые охраняют рабочих от влияния теплового излучения. Положения заслонок должно надежно фиксироваться запирающими устройствами. Категорически запрещается ходить по своду топки во время ее работы.

Необходимо выполнять следующие противопожарные требования:

- регулярно убирать помещение камер, цеха и других вспомогательных помещений, не допуская скопления отходов и мусора;
- в помещении сушильного цеха не применять открытый огонь (свечи, керосиновые и паяльные лампы) и не курить; сварочные работы проводить с разрешения представителей пожарной охраны;
- вовремя подавать смазку в подшипники вентиляторов и электродвигателей, не допуская их перегрева.
- не допускать прогары топки и подачи больших масс топлива, опасных в

отношении взрыва;

- золу из зольного помещения вывозить не раньше, чем через 5 суток после ее удаления из топки.

Пожары составляют особую опасность, потому что связанные с большими материальными потерями. Как известно пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников огня. Горючими компонентами являются: строительные материалы для акустической и эстетичной обработки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др. [4].

Противопожарная безопасность - это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение ее распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Источниками возгорания могут быть электронные схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате разных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызывать загорание горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости один от одного располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирование воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

К средствам тушения пожара, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и тому подобное.

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. По виду используемого вещества огнетушители подразделяются на следующие основные группы:

- Пенные огнетушители, применяются для тушения горящих жидкостей, разных материалов, конструктивных элементов и оборудования, кроме электрооборудования, которое находится под напряжением [4].
- Газовые огнетушители применяются для тушения жидких и твердых веществ, а также электроустановок до 1000 В, которые находятся под напряжением.

В помещениях, где присутствующие ЭВМ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара, сохранность электронного оборудования, диэлектрические свойства углекислого газа, что позволяет использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удастся обесточить электроустановку сразу.

Для выявления начальной стадии возгорания и оповещения службы пожарной охраны используют системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно пускать в ход установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров.

6.6 Инженерные расчеты по охране труда

6.6.1 Расчет защитного заземления

Защитное заземление – это соединение с землей частей оборудования, которые не находятся под напряжением в нормальных условиях эксплуатации, но которые могут оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции электроустановки

В данном разделе дипломного проекта рассчитываем заземляющее устройство для заземления электродвигателя при следующих исходных данных:

почва – суглинок с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 100$ Ом*м;

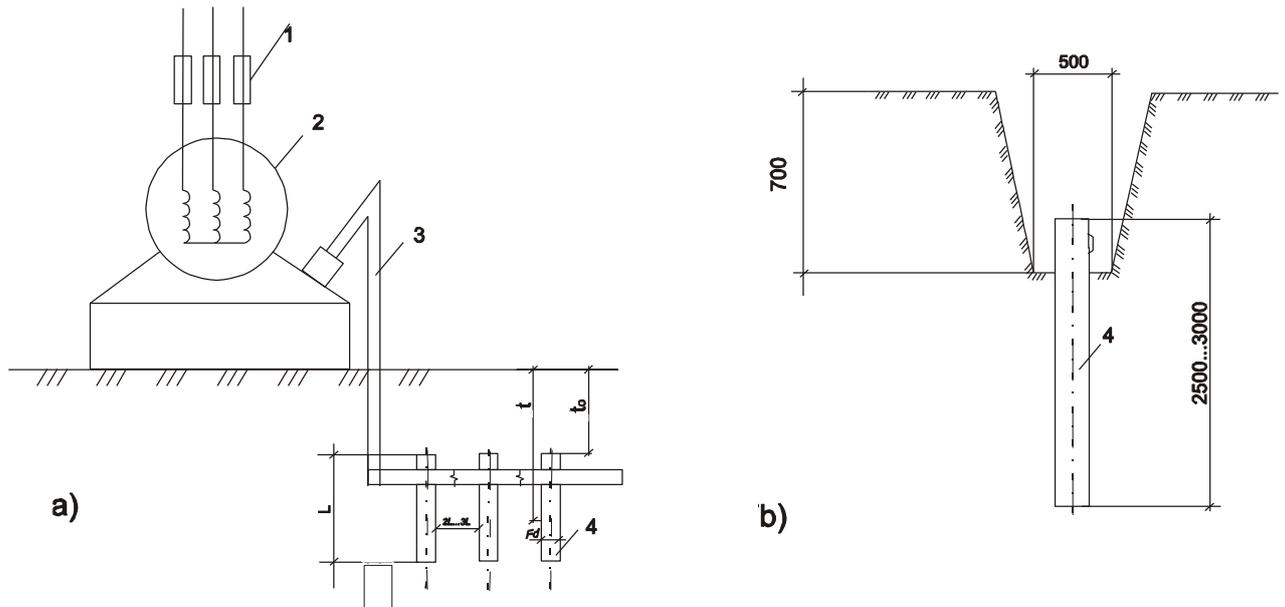


Рисунок 6.1 – Устройство заземления

а) – схема заземляющего устройства; б) – размещение одиночного заземления; 1-плавкие вставки; 2 – электродвигатель; 3- соединительная штаба; 4- трубчатое заземление

в качестве заземлений приняты стальные трубы диаметром $d = 0.08$ м и длиной $L = 2.5$ м, размещенные вертикально и соединенные сваркой стальной полоской 40X4 мм;

мощность электродвигателя $U=1,5$ кВт, $n = 3000$ об/мин;

мощность трансформатора 170 кВ*А, допустимое по нормам сопротивление заземления $[r_3] \leq 4$ Ом.

Расчет:

Определяем сопротивление одиночного вертикального заземления R_B , по формуле:

$$R_B = \frac{\rho_{расч}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (6.1)$$

где t – расстояние от середины заземления к поверхности почвы, м;

l, d – длина и диаметр стержневого заземления, м.

Расчетное удельное сопротивление почвы

$$\rho_{расч} = \rho \cdot \psi, \quad (6.2)$$

где ψ – коэффициент сезонности, который учитывает возможность повышения сопротивления почвы в течение года.

Принимаем $\psi = 1.7$, для третьей климатической зоны, тогда:

$$\rho_{расч} = \rho \cdot \psi = 100 \cdot 1.7 = 170 \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{170}{2\pi \cdot 2.5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.08} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5} \right) = 48 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление стальной полоски, которая соединяет стержневые заземления:

$$R_n = \left(\frac{\rho_{расч}}{2\pi \cdot l} \right) \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d} \right), \quad (6.3)$$

где l – длина полоски, м;

$d = 0.5b$ (b – ширина полоски, равная 0.08 м).

Определяем расчетное удельное сопротивление почвы $\rho_{розн}$ при использовании соединительной шины в виде горизонтального электрода длиной 50 м.

При длине полоски 50 м, $\psi' = 5.9$

$$\rho'_{расч} = \rho \psi = 100 \cdot 5.9 = 590 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$R_{II} = \frac{590}{2\pi \cdot 50} \ln \frac{50^2}{0.04 \cdot 0.8} = 21 \text{ Ом}$$

Определяем ориентировочное число n одиночных стержневых заземлений по формуле

$$n = \frac{R_B}{[r3] \cdot \eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 1} = 12 \text{ шт}, \quad (6.4)$$

где $[r3]$ – допустимое по нормам сопротивление заземляющего устройства

η_B – коэффициент использования вертикальных заземлений (примем его равным 1).

Принимаем размещение вертикальных заземлений по контуру с расстоянием между смежными заземлениями равной 21. По таблице [16] найдем действительные значения коэффициентов использования η_B и η_T , $\eta_B = 0.66$, $\eta_T = 0.39$. исходя из принятой схемы размещения вертикальных заземлений.

Определяем необходимое число вертикальных заземлений

$$n = \frac{R_B}{[r3]\eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 0.66} = 18шт$$

Определяем общее расчетное сопротивление заземляющего устройства R с учетом соединительной штабы:

$$R = \frac{R_B \cdot R_T}{R_T \eta_T + R_T \eta_T n} = \frac{48 \cdot 21}{48 \cdot 0.39 + 21 \cdot 0.66 \cdot 18} = 3.76 Ом$$

Правильно рассчитанное заземляющее устройство должно отвечать условию $R \leq [r3]$. Расчет выполнен верно, так как $3.7 < 4$.

6.6.2 Расчет молниезащиты

Молниезащита - это комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, защиты домов и сооружений, оборудования и материалов от ударов молнии.

Выбор защиты зависит от назначения дома или сооружения, интенсивности грозовой деятельности в данном районе и ожидаемого числа поражений объекта молнией в год.

Дома защищаются от прямых ударов молнии молниеотводами. Молниеотводы состоят из громоотвода и заземлений. Они могут быть отдельно стоячими или устанавливаться непосредственно на доме или сооружении. По типу громоотводов подразделяют на стержневые, тросовые и комбинированные. В зависимости от числа действующих на одном сооружении молниеотводов, их подразделяют на одиночные, двойные и многоразовые [17]. В данном разделе рас-

считан одиночный стержневой молниеотвод, который имеет зону защиты в виде конуса.

Наибольшая высота h молниеотвода не должна превышать 150м. Соотношение размеров зоны защиты типа “Б” следующее:

- $h_0 = 0.92h$
- $R_0 = 1.5h$
- $R_x = 1.5[h - (h_x/0.92)]$

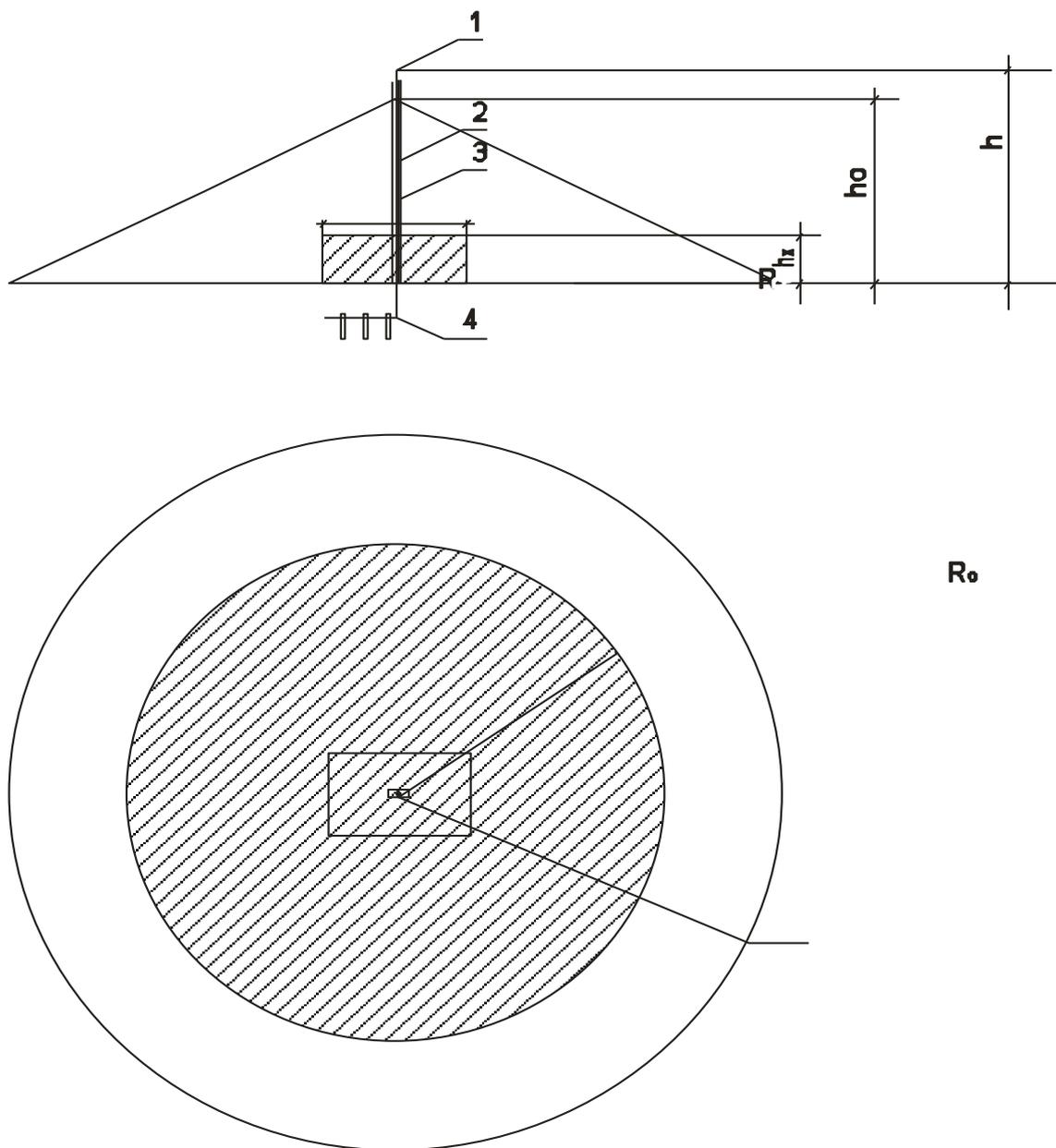


Рисунок 6.2 – Схема молниезащиты

1 – мачта; 2 – деревянный брус; 3 – молниеотводы; 4 – заземляющее устройство.

При известной высоте объекта, который защищается, – h_x (она равна 4 метра) рассчитывается радиус зоны защиты на этой высоте R_x по закону подобия треугольников:

$$\frac{h_x}{R_x} = \frac{h_0}{R_0}, \quad (6.5)$$

подставляя в данное выражение соответствующие значения получим:

$$\frac{4}{R_x} = \frac{0.92h}{1.5h}$$

выходит, что $R_x = 6,5$ м. Тогда полная высота мачты для зоны “Б” будет равняться:

$$h = (R_x + 1,63h_x)/1,5 = (6,5 + 1,63*4)/1,5 = 8,7 \text{ (м)}$$

Исходя из размеров помещения и камеры для сушки, нам необходимо разместить по одному молниеотводу на крыше дома и на камере.

7 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ В ОАО «АЛЕУССКИЙ ЛЕС»

7.1 Характеристики сушильной камеры КСК – 100

**Таблица 7.1 – Технические характеристики сушильной камеры КСК
– 100**

Наименование параметра	Количество	Единица измерения
Тепловая нагрузка на 1 м ³ древесины при нагреве	1,0 – 4,0	кВт
при выходе на режим	0,7 – 0,9	
Электрическая нагрузка потребляемая мощность	36	кВт
установленная мощность	36	
Скорость сушки от влажности 50% и более для твердых пород (усредненная)	1 – 2	мм/сут
Диапазон рабочих температур	35 – 70	°С
Электропитание оборудования сушильной ка- меры	380/50	В/Гц
Габаритные размеры сушильной камеры (внутренние)	8,2	м
длина	13,2	
ширина	4,8/5	
высота		
Разовая загрузка древесины	100	м ³
Стоимость сушильной камеры с вентилятора-	1 585 000	руб.

ми SIEMENS с автоматикой SCNIDER		
----------------------------------	--	--

7.2 Определение капитальных вложений

Капитальные затраты в систему электроснабжения включают следующее составные элементы :

$$K = K_{\text{обор}} + K_{\text{дост}} + K_{\text{обуч}} + K_{\text{сбор}} \quad (7.1)$$

$$K = 1585000 + 317000 + 31700 + 396250 = 2329950 \text{ руб.}$$

где $K_{\text{обор}}$ – капиталовложения на покупку оборудования; $K_{\text{дост}}$ – капиталовложения на доставку 20% от стоимости оборудования, $K_{\text{обуч}}$ – капиталовложения на обучение персонала 2 % от стоимости оборудования, $K_{\text{сбор}}$ – капиталовложения на сборку оборудования 25 % от стоимости оборудования [24]. Результаты расчета капитальных вложений приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты расчета капиталовложений.

Наименование параметра	Руб.
Капиталовложения на покупку оборудования	1585000
Капиталовложения на доставку	317000
Капиталовложения на обучение персонала	31700
Капиталовложения на сборку оборудования	396250
ИТОГО	2329950

7.3 Годовые эксплуатационные затраты сушки

Годовые эксплуатационные затраты сушки (береза, осина, сосна), начальная влажность 50-60%, конечная 12-15%) 1 м³ пиломатериала в камере при разовой загрузке камеры составляет 100 м³:

$$З = З_{д} + А + Р + З_{эл} + З_{зп} + З_{от} + З_{проч}, \quad (7.2)$$

где $З_{д}$ – затраты на пиломатериал; $А$ – затраты на амортизацию; $Р$ – затраты на ремонт; $З_{эл}$ – затраты на электроэнергию; $З_{зп}$ – затраты на заработную плату; $З_{от}$ – затраты на охрану труда; $З_{проч}$ – прочие затраты [24].

7.3.1 Ежегодные амортизационные отчисления

Ежегодные амортизационные отчисления от капитальных затрат A :

$$A = \frac{P_a \cdot K}{100}, \quad (7.3)$$

где P_a – норма отчислений на амортизацию, $P_a=12,6\%$,

$$A = \frac{12,6 \cdot 2329950}{100} = 293573 \text{ руб.}$$

7.3.2 Ежегодные отчисления на ремонт

Ежегодные отчисления на ремонт P :

$$P = \frac{K \cdot N_p}{100}, \quad (7.4)$$

где N_p – отчисления на ремонт и Т.О., $N_p=5,1\%$,

$$P = \frac{5,1 \cdot 2329950}{100} = 118827 \text{ руб.}$$

7.3.3 Ежегодные затраты на пиломатериал

Ежегодные затраты на пиломатериал Z_d :

$$Z_d = O \cdot CC_{пил}, \quad (7.5)$$

где $CC_{пил}$ – себестоимость пиломатериала, $CC_{пил} = 3500$ руб. (доска обрезная 1 сорт, цена на продажу 4900 руб.).

Рассчитаем объем продукции, которую позволяет выпустить сушильная камера:

$$O = nE, \quad (7.6)$$

где n – количество оборотов камеры в течение года, $n = 48$ оборотов сушки камеры в год;

E – вместимость камеры, m^3 .

Вместимость камеры определяют по уравнению:

$$E = \Gamma\beta, \quad (7.7)$$

где Γ – объем штабелей, одновременно размещенных в камере; β – коэффициент объемного заполнения штабеля $\beta = 0,9$ для обрезной доски.

В свою очередь: $\Gamma = 100$ (m^3), тогда :

$$E = \Gamma\beta = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ (м}^3\text{)}$$

Объем продукции станет равный $O = nE = 48 \cdot 90 = 4320$ (m^3 /год).

$$Z_d = 4320 \cdot 3500 = 15150000 \text{ руб.}$$

7.3.4 Затраты на электроэнергию

Рассчитаем затраты на электроэнергию согласно выражения:

$$Z_{эл} = P_{ус} \cdot t_{раб} \cdot T_{эл}, \quad (7.8)$$

$P_{ус}$ – установленная мощность, $P_{ус} = 36$ кВт; $t_{раб}$ – длительность работы сушильной камеры на протяжении года, $T_{эл}$ – тариф на электроэнергию, $T_{эл} = 3$ руб./кВт-час (в нашем регионе).

Расчетная длительность работы сушильной камеры на протяжении года определяется согласно уравнения:

$$t_{\text{раб}} = [365 - B] \cdot t_{\text{сут}} - t_{\text{заг}} - t_{\text{ох}}, \quad (7.9)$$

где B – вынужденные дни простоя камеры, кроме того включающие и профилактический ремонт, $B = 30$ суток.

Время погрузочно-разгрузочных работ определяем по формуле:

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{п}} \cdot n = 8 \cdot 48 = 384 \text{ (час)}, \quad (7.10)$$

где $t_{\text{п}}$ – время погрузки-разгрузки камеры, $t_{\text{п}} = 8$ час, предполагая, что загрузка производится на рельсовых тележках, $n = 48$ – число оборотов сушки камеры в год.

Время, которое необходимо для охлаждения древесины после высушивания принимается 1 час на 1 см доски

$$t_{\text{ох}} = 1 \cdot 3,0 \cdot 48 = 144 \text{ (час)}, \quad (7.11)$$

Тогда реальная длительность работы сушильной камеры будет:

$$t_{\text{рем}} = [365 - 30] \cdot 24 - 384 - 144 = 7512 \text{ (час)}$$

Тогда ежегодные затраты на электроэнергию составят:

$$З_{\text{эл}} = 36 \cdot 7512 \cdot 3,0 = 811296 \text{ (руб.)}$$

7.3.5 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату составляют:

$$З_{\text{зп}} = \Phi_{\text{опл}} + \Phi_{\text{отч}}, \quad (7.12)$$

где $\Phi_{\text{опл}}$ – фонд оплаты труда, $\Phi_{\text{отч}}$ – отчисления в ФСС, ПФР, ФОМС и др.

$$\Phi_{\text{опл}} = (ЗП_{\text{опер}} + ЗП_{\text{рас}} + ЗП_{\text{слес}})K, \quad (7.13)$$

где $ЗП_{\text{опер}}$ – заработная плата операторов, $ЗП_{\text{рас}}$ – заработная плата раскладчиков, $ЗП_{\text{слес}}$ – заработная плата слесаря-электрика, K – районный коэффициент $K = 20 \%$.

Заработная плата оператора сушильной установки – оклад 11000 руб. Рабочий график: сутки через двое, для непрерывного процесса сушильного комплекса необходимо 3 оператора.

$$З_{\text{опер}} = 3 \cdot 11000 \cdot 12 = 396000 \text{ руб.} \quad (7.14)$$

Заработная плата слесаря-электрика сушильной установки – оклад 9500 руб.

$$З_{\text{слес}} = 9500 \cdot 12 = 114000 \text{ руб.} \quad (7.15)$$

Заработная плата раскладчика – сдельная 15 руб. за 1м^3 . Для загрузки – разгрузки камер нам необходимо 2 раскладчика.

$$З_{\text{рас}} = 15 \cdot 2 \cdot 4320 \cdot 2 = 259200 \text{ руб.} \quad (7.16)$$

$$\Phi_{\text{опл}} = (396000 + 114000 + 259200) \cdot 1,2 = 923040 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{отч}} = \Phi_{\text{опл}} \cdot K_{\text{отч}} = 92304 \cdot 0,262 = 241836 \text{ руб.}, \quad (7.17)$$

где $K_{\text{отч}}$ – коэффициент отчислений, $K_{\text{отч}} = 26,2 \%$.

$$З_{\text{зп}} = 923040 + 241836 = 1164876 \text{ руб.}$$

7.3.6 Затраты на охрану труда

Затраты на охрану труда, спецодежду, инвентарь составляют 33% от годового фонда заработной платы [10]:

$$З_{\text{от}} = \Phi_{\text{опл}} K_{\text{от}}, \quad (7.18)$$

$$З_{\text{от}} = 1164876 \cdot 3,3 \% = 38441 \text{ руб.}$$

7.3.7 Прочие затраты

Прочие расходы считать в размере 5,5% от годового фонда основной заработной платы [10]:

$$З_{\text{проч}} = \Phi_{\text{опл}} K_{\text{проч}}, \quad (7.19)$$

$$З_{\text{проч}} = 1164876 \cdot 5,5 \% = 64068 \text{ руб.}$$

Следовательно, годовые эксплуатационные затраты сушки древесины:

$$Z_1 = 15150000 + 293573 + 118827 + 811296 + 1164876 + 38441 + 64068 = 17641081 \text{ руб.}$$

7.4 Определение цены

$$Ц_0 = C \cdot (1 + P_{\text{п}}), \quad (7.20)$$

где $Ц_0$ - цена 1 м³;

C - себестоимость 1 м³;

$$C_1 = \frac{Z_1}{O_1} = \frac{17641081}{4320} = 4083 \text{ руб./м}^3 \quad (7.21)$$

$P_{\text{п}}$ - планируемая рентабельность, принимаем равной 25 % ;

$$Ц_0 = 4083 \cdot (1 + 0,25) = 5104 \text{ руб./м}^3$$

7.5 Определение балансовой прибыли

$$П_6 = (Ц_0 - C) \cdot O, \quad (7.22)$$

где $П_6$ - балансовая прибыль, руб.;

O - объем продукции, руб.;

$$П_{61} = (5104 - 4083) \cdot 4320 = 4410720 \text{ руб.}$$

7.6 Эксплуатационные затраты на сушку с учетом автоматизации

Дополнительные капиталовложения на автоматизацию сушильной камеры составят: $\Delta K = 137000$ руб.

По формуле (7.2) определяем эксплуатационные затраты с учетом автоматизации.

После проведения автоматизации затраты на амортизацию по формуле (7.3) составят: 310835 руб.

Затраты на ремонт по формуле (7.4) после проведения автоматизации составят: 125814 руб.

Затраты на электроэнергию уменьшатся на 15% и составят 689602 руб. [6].

Количество оборотов камеры в течение года возрастет на 10 % , $n = 53$. Следовательно объем продукции выпускаемой сушильной камерой в течении года возрастет до 4770 м^3 . И затраты на пиломатериал по формуле (7.5) составят: 16695000 руб.

Следовательно, годовые эксплуатационные затраты сушки древесины после проведения автоматизации сушильной камеры составят:

$Z_2 = 16695000 + 310835 + 125814 + 689602 + 1164876 + 38441 + 64068 = 19050195$ руб.

7.7 Определение стоимости 1 м^3 высушенного пиломатериала и балансовой прибыли с учетом автоматизации процесса сушки

$$C_2 = \frac{Z_2}{O_2} = \frac{19050195}{4770} = 3994 \text{ руб./м}^3.$$

$$\Pi_{62} = (C_0 - C_2) \cdot O_2 = (5104 - 3994) \cdot 4770 = 5294700 \text{ руб.}$$

7.8 Определение экономического эффекта

$$\Delta\Pi = \Pi_{62} - \Pi_{61}, \tag{7.23}$$

где $\Delta\Pi$ – прирост прибыли (коммерческий эффект).

$$\Delta\Pi = 5294700 - 4410720 = 883980 \text{ руб.}$$

Уровень рентабельности производства:

$$УР = \frac{\Pi_{\sigma}}{C \cdot O} \cdot 100 \quad (7.24)$$

$$УР_1 = \frac{\Pi_{\sigma_1}}{C_1 \cdot O_1} \cdot 100 = \frac{4410720}{4083 \cdot 4320} \cdot 100 = 25,0\%$$

$$УР_2 = \frac{\Pi_{\sigma_2}}{C_2 \cdot O_2} \cdot 100 = \frac{5294700}{3994 \cdot 4770} \cdot 100 = 27,8\%$$

7.9 Срок окупаемости капиталовложений в проектном варианте и коэффициент экономической эффективности капиталовложений

$$T_{\Delta K} = \frac{K_2}{\Delta\Pi}, \quad (7.25)$$

где $T_{\Delta K}$ – срок окупаемости капиталовложений, K_2 – капиталовложения с учетом автоматизации $K_2 = 2466950$ руб.

$$T_{\Delta K} = \frac{2466950}{883980} = 2,8 \text{ года,}$$

$$E_{\Phi} = \frac{\Delta\Pi}{K_2} = \frac{1}{T_K} = \frac{1}{2,8} = 0,36 > E_H = 0,20, \quad (7.26)$$

где E_{Φ} – коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

7.10 Сравнительный экономический эффект и среднегодовой экономический эффект

$$\Theta_T = \frac{\Delta\Pi - \Delta K \cdot E_H}{E_H + R_t} = \frac{\Delta\Pi - (K_2 - K_1) \cdot E_H}{E_H + R_t}, \quad (7.27)$$

где R_t – коэффициент реновации технических средств с учетом фактора времени $R_t = 0,105$, Θ_T – сравнительный экономический эффект.

$$\mathcal{E}_T = \frac{883980 - 137000 \cdot 0,2}{0,2 + 0,105} = 2808459 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{CP} = \frac{\mathcal{E}_T}{T_p}, \tag{7.28}$$

где T_p – расчетный период $T_p = 7$ лет, \mathcal{E}_{CP} – среднегодовой экономический эффект.

$$\mathcal{E}_{CP} = \frac{2808459}{7} = 401208 \text{ руб.}$$

Все полученные при расчете данные заносим в возведенную таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Техничко-экономические показатели проекта

Наименование показателей	Обо- значе- ния	Базовый вариант	Проектный вариант	Измене- ния(+, -)
1 Капитальные вложения, руб.	К	2329950	2466950	+ 137000
2 Объем продукции, выпускаемый за год после сушки, м ³	О	4320	4770	+ 450
3 Эксплуатационные затраты, всего, руб. в том числе:	З	17641081	19050195	+ 1409114
3.1 амортизационные отчисления.	А	293573	310835	+ 17262
3.2 заработная плата.	З _{зп}	1164876	1164876	-
3.3 отчисления.	Ф _{отч}	241836	241836	-
3.4 затраты на пиломатериал.	З _д	15150000	16695000	+ 1545000
3.5 затраты на ремонт и тех.обслуживание.	Р	118827	125814	+ 6987
3.6 затраты на охрану труда.	З _{от}	38441	38441	-
3.7 затраты на электроэнергию	З _{эл}	811296	689602	- 121964
3.8 прочие затраты.	З _{проч}	64068	64068	-
4 Себестоимость 1 м ³ после сушки, руб.	С	4083	3994	- 89
5 Цена 1 м ³ реализуемого пиломатериала, руб.	Ц _о	5104	5104	-
6 Балансовая прибыль, руб.	П _б	4410720	5294700	+ 883980
7 Рентабельность, %	Р _р	25	27,8	+ 2,8
8 Срок окупаемости, год.	Т _о	-	2,8	-

9 Экономическая эффективность	E_{ϕ}	-	0,36	-
10 Сравнительный экономический эффект, руб.	\mathcal{E}_T	-	2808459	-
11 Среднегодовой экономический эффект, руб.	\mathcal{E}_{CP}	-	401208	-

Вывод:

На основании произведенных расчетов, делаем следующие выводы:

повышение автоматизации производственных процессов по камерной сушке древесины в ОАО «Алеусский лес», позволяет повысить качество отпускаемой высушенной древесины, повысить рентабельность производства на 2,8 % и увеличить объем выпускаемой продукции на 450 м³ в год, снизить себестоимость сушки на 89 руб. за 1 м³, уменьшить затраты на электроэнергию на 122 тыс. руб., не повышая цену на реализуемый пиломатериал. При этом среднегодовой экономический эффект составит более 400 тыс. руб., коммерческий эффект – 883 тыс. руб. Срок окупаемости проекта составит 2,8 года. Проект целесообразен к внедрению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте на основе разработок Богданова Е.С. и Акиншенкова С.И. была разработана автоматизированная система управления процессом сушки древесины в ОАО „Алеусский лес” с использованием микроконтроллерных средств.

Также в данном дипломном проекте были рассмотрены типы сушки древесины и изучена технологическая схема процесса, проведен расчет и исследование одноконтурной АСР температуры.

Разработаны и спроектированы схемы: функциональная, схема внешних соединений, принципиальная электрическая схема, схема монтажа электрокомпонентов, печатная плата.

Запроектирована система микроконтроля на базе современного микроконтроллера PIC16f877, что осуществляет сбор всех основных показателей работы сушилки и регуляции протекания процесса по заранее заданной программе. Для автоматической регулировки процесса сушки применен принцип двухпозиционной регуляции.

Для качественного сбора технологических параметров использованы современные датчики температуры и влажности в камере, влажности пиломатериалов. Что дает возможность точнее, и главное быстрее реагировать на смену состояния объекта автоматизации. Также произошли изменения в измерении температуры: после автоматизации значения температуры снимаются цифровыми датчиками, значение которых обрабатывается микроконтроллером, который дает высокую скорость и точности обработки информации.

Система микроконтроля, вместе с комплексом дат сбора технологических параметров, позволит проводить сушку разных пород древесины по определенным программам, которые вносятся оператором, и имеют высокую степень гибкости. Также не исключена возможность адаптации программ в зависимости от потребностей, что возникают при сушке разных пород древесины.

Следует также заметить, что при разработке системы автоматизации были применены датчики, которые позволяют осуществлять измерение значений параметров в широких пределах и с высокой точностью, которые обеспечивают качественное управление процессом и высокое качество получаемой продукции, что фактически невозможно осуществить с помощью устаревших аналоговых приборов и влияния на процесс оператором вручную.

Автоматизация процесса сушки позволяет достигать стабильно высокого качества высушиваемого пиломатериала и снижает роль «человеческого фактора» на получаемые результаты.

Принцип построения автоматики сушильных камер не отличается от систем управления процессами в других сферах промышленности. Основой автоматики является логический блок, в котором происходит сравнение измеряемых датчиками параметров со значениями, заложенными в прибор в виде программ. По результатам сравнения измеренных параметров с исходными, логическим блоком формируется командный сигнал, который направляется на исполнительные механизмы. Процесс считывания информации с датчиков может быть непрерывный или периодичный. Технологический процесс сушки древесины не является процессом, который требует ежесекундного вмешательства, т.е. при сушке не происходит резкого изменения параметров, что позволяет применять опрос датчиков логическим блоком с определенной периодичностью. От исполнительных механизмов, соответственно, также не требуется быстроедействие.

Основные требования к автоматике сушильных камер:

Надежность и долговечность;

Возможность ввода собственных программ;

Простота освоения и эксплуатации;

Цена.

Отказ от ручного управления и использование автоматизации сушильного процесса с помощью микропроцессорных программных контроллеров позволит сократить расход тепла и электроэнергии на (10...20)%.

Автоматика сушильных камер – автоматические системы управления процессом сушки обеспечивают качественную сушку пиломатериалов в автоматическом режиме путем воздействия на исполнительные механизмы сушильной камеры согласно заданной программе.

Режим или программа сушки выбирается оператором в зависимости от породы древесины пиломатериалов, их толщины, начальной и конечной влажности. Управление процессом сушки заключается в создании и поддержании в течение определенного времени заданного режима сушки (температуры и влажности сушильного агента).

Системы автоматизации нескольких сушильных камер могут быть объединены в единую сеть и подключены к персональному компьютеру. Оператор с монитора компьютера имеет возможность:

- начинать и завершать процесс сушки по выбранной программе;
- корректировать программы сушки;
- наблюдать за параметрами сушки и состоянием механизмов в камерах;
- просматривать и распечатывать графики технологических процессов сушки.

В разделе “Безопасность труда” произведены расчеты искусственного освещения, заземления и приведены мероприятия по технике безопасности сушильной камеры.

Также проведен расчет технико–экономических показателей проекта, приведена сравнительная таблица и рассчитан экономический эффект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Учебные пособия и справочники

1. Адабашьян А.К., Алексеев К.А., Ключев А.С. Монтаж приборов и средств автоматизации. Справочник. – М.: Энергия, 1972. -504 с.
2. Акиншенков С.И., Корнеев В.И. Проектирование лесосушильных камер и цехов. Учебное пособие. 3-е изд. перераб. и доп. – С.П.: Санкт-Петербургская лесотехническая академия, 1992. -88с.
3. Арустамов Э.А. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. 10-е изд., переработанное и доп. – М.: Дашков и К^о, 2006. -474 с.
4. Арустамов Э.А. Охрана труда. Справочник. – М.: Дашков и К^о, 2006. -474 с.
5. Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. Справочник по сушке древесины. – М.: Лесная промышленность, 1981. -191с.
6. Богданов Е.С., Мелехов В.И., Кунтыш В.Б. и др. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. Под ред. Е.С. Богданова. – М.: Экология, 1993. -685 с.
7. Водяников В.Т. Практикум по организации и управлению производством на сельскохозяйственных предприятиях. – М.: Колос, 2005. -448 с.
8. Водяников В.Т. Организация и управление производством на сельскохозяйственных предприятиях. – М.: Колос, 2006. -506 с.
9. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. Справочник. – Киев.: Техника, 1990. -280 с.
10. Емельянов А.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -399 с.
11. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины. – М.: Лесная промышленность, 1987. -372 с.

12. Лебедев П.Д., Щукин А.А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий (Курсовое проектирование). – М.: Энергия, 1970. -408 с.
13. Однокристалльные 8-розрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании Microchip. Перевод ООО “Микро-Чип”.М, 2002. -184с.
14. Пейч Н.Н., Царев Б.С. Сушка древесины. Учебник. 2—изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1997. -220 с.
15. ПОТ Р М-016-2001 Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
16. Расев А.И. Сушка древесины: Учебное пособие. Изд. 4-е. – М.: МГУЛ, 2000. -178 с.
17. Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов. – Архангельск.: ЦНИИМОД, 1985.
18. Рузняев Е.С., Скляров Н.Е., Волков В.В. Электробезопасность. Учебное пособие. – Пенза.: Издательство ПГУ, 2004. -215 с.
19. Соколов П.В., Харитонов Г.Н., Добрынин С.В. Лесосушильные камеры. – М.: Лесная промышленность, 1987. -210 с.
20. Техническая документация DS30292C компании Microchip Technology Incorporated, USA. 2002.
21. Техническая документация DS21490B компании Microchip Technology Incorporated, USA. 2002.
22. Техническая документация HT1621 компании Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. 2001.
23. Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. – М.: Инфа-Инженерия, 2008. -928 с.
24. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – Л.: Энергия, 1969. -386 с.

Методические пособия

25. Болтенков А.А., Жуков М.В. Методические указания по выполнению экономического раздела дипломного проекта по направлению «Агроинженерия». – Барнаул.: АГАУ, 2007. -155 с.

26. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование. 3-е. изд. перераб. и доп. – М: Из-во Агропромиздат, 1990. -352 с.

27. Федоренко И.Я. Дипломное проектирование: методические указания для студентов агроинженерных специальностей / И.Я. Федоренко, С.А. Белокурченко, СВ. Золотарев, Н.Т. Кривочуров, А.Л. Смышляев; под общей редакцией И.Я. Федоренко. 2-е изд., перераб. и доп. – Барнаул.: АГАУ, 2007. -130 с.

Интернет-ресурсы

28. www.sushkam.ru
29. www.kami-altay.ru
30. www.adaptika.ru
31. www.dry-wood.ru
32. www.yasen.ru
33. www.lesopilka.narod.ru
34. www.xiron.ru
35. www.wood.ru
36. www.prioritet-stroy.ru