

Е.С. Богданов

СУШКА ПИЛО- МАТЕРИАЛОВ



Москва
·Лесная промышленность·
1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сушка — обязательная часть технологического процесса выработки пиломатериалов. Непросушенные пиломатериалы не могут считаться готовой продукцией, подлежащей реализации, а технологический процесс их изготовления — законченным. Влажные пиломатериалы подвержены грибковым заболеваниям и непригодны для дальнейшей механической обработки и производства из них готовых изделий.

В рекомендациях Всесоюзной конференции «Актуальные направления развития сушки древесины» (1980 г., г. Архангельск) и научно-технического совещания (1985 г., г. Архангельск) при определении главной задачи по сушке древесины сказано, что проводить дальнейшее увеличение объемов камерной сушки пиломатериалов необходимо путем разработки, организации серийного производства и строительства новых лесосушильных камер, модернизации действующих устаревших конструкций и интенсификации работы камер, а также за счет упорядочения технологической дисциплины в лесосушильных цехах и реализации мероприятий по улучшению качества сушки.

За последние годы произошли значительные изменения в технике и технологии сушки, особенно массовой сушки товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Увеличились мощности камерной сушки пиломатериалов за счет строительства новых камер непрерывного действия как отечественных, так и импортных.

Машиностроительная промышленность стала выпускать сборные металлические камеры (СП-5КМ, УЛ-1, СПМ-2К, УЛ-2М). Разработаны новые средства автоматизации и механизации процессов сушки, тепловое и вентиляционное оборудование камер. Применяются новые конструкции строительных ограждений камер, способы их защиты от коррозии.

Разработаны и действуют в промышленности руководящие материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов, а также другие материалы, касающиеся отдельных вопросов сушки древесины. Разработаны и внедрены в промышленность стандарты по режимам сушки в камерах периодического и непрерывного действия.

В промышленности и строительстве расширяется использование изделий из древесины и древесных материалов, увеличивается комплексное использование древесины, это повышает значение сушки. Особенно развивается камерная сушка пило-

материалов, в том числе массовая сушка на лесопильных предприятиях. Если объем камерной сушки, млн. м³ в год, на предприятиях Минлесбумпрома СССР составлял в 1968 г. примерно 8, то в 1978 г. — 12,7, а в 1981 г. — до 14,5. К 1990 г. ставится задача обеспечить сушку 23,4 млн. м³ в год.

Камерная сушка на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях становится важнейшей частью технологического процесса подготовки пиломатериалов к отгрузке или дальнейшей переработке. В связи со специализацией лесозаводов и выпуском спецификационных материалов целевого назначения приобретают важное значение вопросы организации сушки до эксплуатационной влажности у производителя (одноэтапная сушка).

Современные лесосушильные камеры — сложный комплекс оборудования, требующий квалифицированного обслуживания. Уже появились на лесозаводах комплексные линии сушки (например, финской фирмы «Валмет»), включающие участки формирования штабелей, буферные склады со стороны загрузки и выгрузки пиломатериалов, транспортные средства, конвейерные линии возврата прокладок и подштабельных тележек. Подобные линии намечено выпускать и отечественной промышленностью.

Повышенные требования к качеству продукции, выпуску сухих пиломатериалов при минимальном техническом браке обуславливают необходимость соответствующих организации и технологии сушки, автоматизации процесса сушки, механизации транспортных работ, укладки и разборки штабелей.

В промышленности, исследовательских институтах накоплен определенный опыт эксплуатации современных камер и их оборудования, существуют рекомендации по улучшению технологии сушки. Книга содержит новое в технологии сушки, а также особенности проектирования, строительства и применения камер, их оборудования с учетом последних достижений зарубежного и отечественного опыта. Особое внимание уделено вопросам повышения качества сушки и эффективности работы сушильных установок и оборудования.

В книге не приводятся общеизвестные сведения о свойствах древесины, формах связи влаги с древесиной, характеристики сушильных агентов, так как эти вопросы подробно изложены в учебниках и справочниках по сушке древесины.

Все замечания и предложения читателей по содержанию книги просим направлять по адресу: 163061, г. Архангельск, набережная им. В. И. Ленина, 112, ЦНИИМОД.

СПОСОБЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ СУШКИ ТОВАРНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лесопильные предприятия состоят из ряда цехов и участков, как правило, территориально разделенных между собой. Типовые технологические схемы разработаны ЦНИИМОДом, Гипродревом. Они содержатся в «Системах машин и оборудования для лесопильных предприятий», утвержденных Минлеспромом СССР 30 декабря 1977 г. [3]. Пример структурной схемы лесопильно-деревообрабатывающего предприятия представлен на рис. 1.

Пиловочник со склада сырья подается на участок 1 подготовки сырья к распиловке. Участок включает окорочное отделение, бассейн для оттаивания сырья, линию сортировки бревен. С участка 1 бревна конвейером подаются в лесопильный цех 2 — участок формирования сечений пиломатериалов. На участке используют технологические линии на базе лесопильных рам и линии агрегатной переработки бревен или фрезерно-пильных станков, обрезные станки.

После лесопильного цеха пиломатериалы проходят предварительную обработку на участке 3, где производят формирование предварительной длины досок, сортировку сырых пиломатериалов по сечениям и формирование внутризаводского транспортного пакета. Далее пиломатериалы при необходимости антисептируют на участке 4, укладывают в сушильные пакеты на пакетформирующей линии 5 и отправляют на склад атмосферной сушки 6 или в сушильные камеры 7.

После камерной сушки штабеля пиломатериалов выдерживаются и накапливаются на промежуточном складе сухих пиломатериалов 8, а затем поступают на участок 9 окончательной обработки пиломатериалов и формирования транспортных пакетов. На этом участке производят оценку качества досок, их окончательную торцовку, сортировку досок по длинам и обвязку пакетов. Затем транспортные пакеты отправляются на склад готовой продукции 10.

Если предприятие имеет цех деревообработки, то часть пиломатериалов после камерной сушки (до эксплуатационной влажности) подается непосредственно в этот цех 11.

Схема на рис. 1 дана в упрощенном виде, так как лесопильные предприятия имеют ряд вспомогательных помещений

и служб, не показанных на схеме. Она отражает движение пиломатериалов по основным участкам производства до выхода готовой продукции — транспортных пакетов высушенных пиломатериалов. Из схемы видно, что сушка является обязательной технологической операцией.

На современных предприятиях, выпускающих товарные пиломатериалы, применяют прогрессивную технологию с однократной торцовкой пиломатериалов после сушки. При этом, как указано в работе [13], примерно 50 % всех трудозатрат на производство пиломатериалов приходится на вторую половину

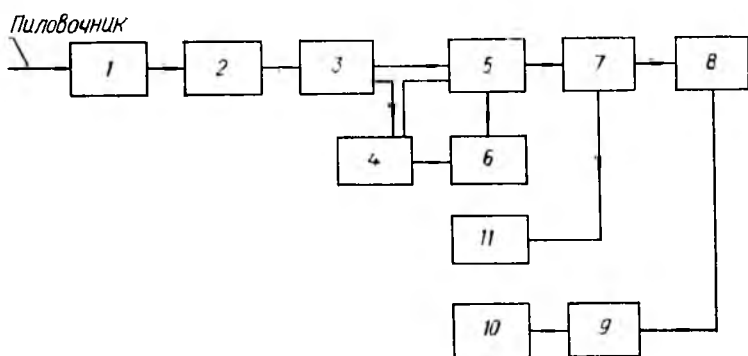


Рис. 1. Схема лесопильно-деревообрабатывающего предприятия

производственного процесса, связанную с сушкой и обработкой сухих пиломатериалов. Это и определяет важную роль сушки в современном технологическом процессе лесопильного производства.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ МАССОВОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Как отмечено выше, в ближайшие годы и в перспективе необходимо увеличить объемы сушки до 23 млн. м³ в год, или примерно до 70 % от объема вырабатываемых пиломатериалов, причем более эффективно развивать сушку на местах производства пилопродукции, т. е. на лесопильных предприятиях. В настоящее время применяется в основном двухэтапная сушка: I этап сушки — на лесозаводах до транспортной влажности 18...20 %, что предохраняет древесину при хранении и транспортировке от грибковых заболеваний, II этап — у потребителя до эксплуатационной влажности.

Преимущества сушки на лесопильных предприятиях очевидны и заключаются в следующем: применение камер непрерывного действия большой производительности, что значительно снижает себестоимость сушки; возможность механизации трудоемких погрузочно-разгрузочных и транспортных работ (в деревообработке, особенно при небольших объемах сушки,

формирование и разборку штабеля, как правило, осуществляют вручную); снижение плотности древесины, что уменьшает стоимость ее перевозки; предохранение от синевы и плесени при хранении и транспортировке.

На лесопильных предприятиях применяют три способа сушки: атмосферную, камерную и комбинированную атмосферно-камерную.

Атмосферная сушка. На лесопильных предприятиях, вырабатывающих товарные пиломатериалы, атмосферная сушка была основным способом примерно до середины 1960-х гг., когда начала широко развиваться камерная сушка.

Капитальные затраты при атмосферной сушке значительно ниже, чем при камерной. Но атмосферная сушка требует значительного запаса пиломатериалов (иногда полугодового), что сокращает поставки пиломатериалов промышленности. Кроме того, при атмосферной сушке, особенно на севере и северо-западе страны, появляется опасность поражения пиломатериалов грибковыми заболеваниями, а в южных районах — повышенного растрескивания. Атмосферная сушка практически неуправляема, и древесину нельзя высушить до влажности ниже 18...20 % (в умеренном климате).

Атмосферная сушка эффективна только на тех предприятиях, где осуществляется сезонная отгрузка пиломатериалов (например, в Архангельской области, Карельской АССР, Красноярском крае). В ЦНИИМОДе был проведен сравнительный анализ эффективности атмосферной и камерной сушки пиломатериалов до транспортной влажности в условиях первой климатической зоны [4].

Анализ эффективности проводился по минимуму приведенных затрат:

$$Z = C_i + E_n K_i,$$

где C_i — себестоимость сушки для рассматриваемого варианта; E_n — отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности; K_i — капитальные вложения.

Приведенные затраты определялись с учетом, во-первых, среднегодовой стоимости оборотных средств (стоимости среднегодового запаса пиломатериалов на складах), во-вторых, платежей за фонды и уплаты процентов за банковский кредит.

При определении экономических показателей рассматривался участок технологического процесса, включающий сушку и хранение высушенных пиломатериалов. При камерной сушке и сезонной отгрузке для хранения сухих пиломатериалов потребуется значительное число складов, что удорожает процесс сушки и хранения. При равномерной в течение года отгрузке пиломатериалов не требуется большого числа складов, что в целом снижает затраты на камерную сушку и хранение.

Как видно из рис. 2, приведенные затраты на атмосферную сушку минимальны, если межнавигационный период совпадает с максимальным сроком сушки (5 мес). По мере уменьшения межнавигационного периода приведенные затраты на атмосферную сушку возрастают из-за создания дополнительных запасов сухих пиломатериалов, что увеличивает плату за пользование оборотными средствами.

При камерной сушке, наоборот, с сокращением межнавигационного периода (или большей продолжительности отгрузки) уменьшаются затраты. При равномерной круглогодовой от-

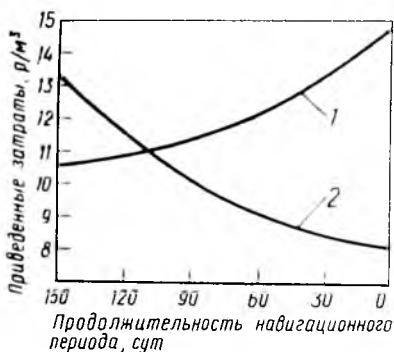


Рис. 2. Приведенные затраты при атмосферной (1) и камерной (2) сушке пиломатериалов в зависимости от продолжительности межнавигационного периода [4]

грузке всех вырабатываемых пиломатериалов более эффективна камерная сушка, затраты на нее на 22 % ниже затрат на атмосферную сушку в пакетных штабелях (расчеты проведены в ценах 1975 г.).

Для условий первой климатической зоны в среднем камерная сушка более эффективна, если межнавигационный период не более 3,5 мес. В последние годы межнавигационный период, например, в Архангельске с каждым годом уменьшается, поэтому основным способом сушки становится камерная сушка. Так, на предприятиях п/о «Северолесозэкспорт» в 1980 г. в камерах высушено более 60 % вырабатываемых пиломатериалов, а в 1985 г. — более 80 %. При этом сушильные мощности камер продолжают возрастать за счет строительства новых сушилок.

Камерная сушка. Камерная сушка — основной промышленный способ сушки пиломатериалов в лесопильной и деревообрабатывающей промышленности. Сушка при этом осуществляется в конвективных камерах различных конструкций (непрерывного и периодического действия), куда пиломатериалы загружают штабелями. Сушка происходит в газообразной среде (воздухе, топочных газах, перегретом паре), которая путем конвекции передает тепло древесине. Для нагревания и циркуляции сушильного агента камеры снабжают нагревательными и циркуляционными устройствами.

При камерной сушке сроки просыхания пиломатериалов сравнительно небольшие (от десятков часов до нескольких суток), древесина просыхает до любой заданной конечной влажности при требуемом качестве, процесс сушки поддается надежному регулированию.

Камерная сушка, особенно в деревообрабатывающей и мебельной промышленности, начала интенсивно развиваться в 1930-е гг. Но в лесопильной промышленности она получила распространение на лесозаводах в 1960...70-е гг. На рис. 3 показано изменение объемов камерной сушки по предприятиям Минлесбумпрома СССР (в процентах к вырабатываемым отраслью пиломатериалам) [14].

К 1990 г. объемы камерной сушки должны возрасти до 23,4 млн. м³ пиломатериалов в год. Должны подвергаться камерной сушке до 65...70 % вырабатываемых отраслью пиломатериалов и заготовок [17]. Поэтому в ближайшие годы лесопильно-деревообрабатывающие предприятия должны наращивать производственные мощности камерной сушки за счет строительства новых камер и реконструкции действующих.

Комбинированная атмосферно-камерная сушка. Вследствие ограниченных возможностей камерной сушки на отдельных предприятиях пока применяется атмосферная сушка. Здесь возможны два пути интенсификации процесса сушки пиломатериалов в целом.

Первый путь — интенсификация атмосферной сушки с применением специальных установок, снабженных вентиляторами. Подобная установка была предложена ЦНИИМОДом и испытывалась на ЭПЗ «Красный Октябрь» [5].

Экспериментальная вентиляторная установка представляет собой туннель, в средней части которого установлены 4 осевых вентилятора. На стороне всасывания устанавливается штабель из 5 пакетов, а со стороны нагнетания из 4. По высоте штабеля состоят из 3 пакетов. Пакеты размером 6,5×1,3×1,35 м (длина×высота×ширина). Емкость установок до 100...130 м³. Пакеты устанавливаются автопогрузчиком. Скорости воздуха по штабелю изменяются в пределах 1,5...3 м/с, в зависимости от влажности и толщины пиломатериалов.

На основе опытной эксплуатации экспериментальной установки получены следующие данные: продолжительность атмо-

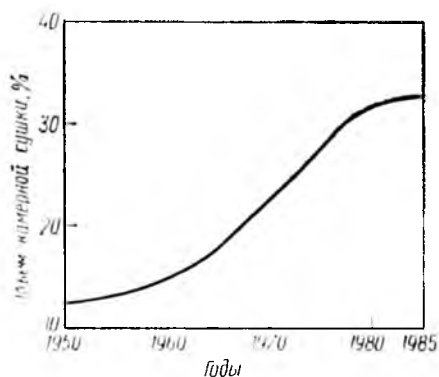


Рис. 3. Рост объемов камерной сушки на предприятиях Минлесбумпрома СССР

сферной сушки сокращается в 2...3 раза; достигается большая равномерность просыхания пиломатериалов по объему штабеля; улучшается качество сушки за счет уменьшения торцовых трещин и синева; возможна сушка при высокой относительной влажности воздуха (90...95 %) и низких температурах (0...5°C).

По техническому заданию ЦНИИМОДа Гипродрев разработал техническую документацию на вентиляторную установку для интенсификации атмосферной сушки. Подобные установки были также спроектированы Ивано-Франковским ПКТИ и внедрены на ряде предприятий Украины.

Второй путь — атмосферная сушка пиломатериалов до 30...40 % с последующей досушкой в камерах до транспортной влажности. Это сокращает потребность в камерах и себестоимость сушки. Однако для этого необходим 2—3-месячный запас пиломатериалов. Комбинированную сушку, как и атмосферную, применяют при сезонной отгрузке пиломатериалов.

В некоторых странах комбинированная сушка получила сравнительно широкое применение (в США, Швеции, Чехословакии и др.). В ЧССР пиломатериалы предварительно подсушивают атмосферным способом до влажности 20...30 %, после чего их досушивают до эксплуатационной влажности в камерах. При таком комбинированном способе обеспечивается более равномерная сушка по объему штабелей, что более экономично по сравнению с камерной сушкой.

В Австралии используют комбинированную сушку с применением для предварительного подсушивания пиломатериалов предрайеров — закрытых помещений с вентиляторными установками и устройствами для подогрева воздуха. Исследования такой комбинированной сушки с применением предрайеров показали, что затраты на нее минимальны по сравнению с камерной и комбинированной атмосферно-камерной сушкой.

В ЦНИИМОДе были проведены исследования по эффективности различных способов сушки [6]. Эксперименты по комбинированной атмосферно-камерной сушке проводились на ЭПЗ «Красный Октябрь» ЦНИИМОДа. Атмосферная сушка осуществлялась в пакетных штабелях, уложенных без шпаций, а пиломатериалы предварительно антисептировались. Установлено, что в условиях г. Архангельска (первая климатическая зона) оптимальная влажность подсушивания в атмосферных условиях составляет 30...40 %, в зависимости от сечения пиломатериалов.

Сроки комбинированной сушки по сравнению с атмосферной значительно сокращаются, особенно в осенний период. Равномерность влажности в штабеле при досушке пиломатериалов в камерах значительно улучшается. Качество пиломатериалов при комбинированной сушке лучше, чем при камерной. Атмосферное подсушивание пиломатериалов при комбинированной сушке требует меньших складских площадей по

сравнению с атмосферным подсушиванием. Экономическая эффективность комбинированной сушки определялась расчетом минимума приведенных затрат.

На основе расчетов в работе [6] показано, что в условиях первой и второй климатических зон комбинированная сушка при сезонной отгрузке с учетом стоимости среднегодового запаса пиломатериалов эффективна с атмосферным подсушиванием до 40 %. При равномерной круглогодичной отгрузке пиломатериалов во всех вариантах наиболее эффективна камерная сушка. Работы последних лет [16] подтвердили экономическую эффективность атмосферно-камерной сушки в зависимости от условий производства и назначения пиломатериалов.

Если экспортные и обезличенные товарные пиломатериалы внутрисоюзного потребления, безусловно, должны сушиться на лесопильных заводах до транспортной влажности, а досушка производиться у потребителей (двухэтапная сушка), то в отношении пиломатериалов целевого назначения все большее число научных работников находят рациональным проводить их одноэтапную сушку до эксплуатационной влажности на лесопильных заводах.

В работе [7] изложено, что поскольку основную массу пиломатериалов внутрисоюзного значения используют на промышленном и гражданском строительстве, товарную продукцию следует высушивать на лесопильных предприятиях до влажности около 15 %, чтобы не проводить незначительную досушку пиломатериалов массовыми потребителями. В литературе [8] также названа наиболее рациональной организация одноэтапной камерной сушки пиломатериалов до заданной конечной влажности на лесопильных заводах.

Преимущества одноэтапной сушки обусловлены тем, что вторичная сушка у потребителей обходится дороже, мелкие сушильные хозяйства на деревообрабатывающих предприятиях, как правило, имеют камеры устаревших конструкций, в которых не соблюдается технология сушки, а уровень механизации погрузочных и транспортных работ низок. На основании данных экономических исследований показано, что себестоимость двухэтапной сушки до влажности 12 % значительно выше себестоимости одноэтапной сушки на лесозаводах.

В рекомендациях Всесоюзной конференции [2] отмечено, что при организации выпуска на лесопильных предприятиях специфицированных заготовок для производства столярно-строительных изделий и деревянного домостроения наиболее эффективна одноэтапная сушка в местах производства заготовок в целях снижения материальных и транспортных затрат.

В ЦНИИМОДе проведены экономические исследования одноэтапной сушки и опытные проверки, результаты которых приводятся ниже.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОЭТАПНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ДО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В число мероприятий, обеспечивающих эффективность использования древесины и сокращение ее потерь при переработке, входят специализация и кооперирование лесопильно-деревообрабатывающих предприятий, а также ориентирование их на выпуск сухих строганых специфицированных пиломатериалов [10].

Основными потребителями пиломатериалов в СССР являются: строительство и ремонт (более 55 % всего потребления), производство тары и упаковки (около 20 %), машиностроение и деревообработка (около 15 %), мебельное производство (5...6 %). Ориентировочно можно сказать, что для более 80 % пиломатериалов и заготовок конечная эксплуатационная влажность составляет 10 % и более.

Из всего объема выработки пиломатериалов по Минлесбумпрому СССР примерно 70 % должны высушиваться. Для того чтобы добиться такого уровня развития сушки, необходимы большие капитальные вложения, так как дефицит сушильных мощностей составляет по Минлесбумпрому СССР около 13 млн. м³ в год, а в целом по СССР 25...28 млн. м³ [11].

Одним из эффективных путей снижения капитальных затрат может явиться организация на лесопильных предприятиях одноэтапной сушки до эксплуатационной влажности, внедрение специализации и кооперирования между предприятиями-производителями и предприятиями — потребителями сухих пиломатериалов.

Сушка пиломатериалов внутрисоюзного потребления может быть организована тремя способами:

двухэтапная сушка — сушка до влажности 18...20 % на лесопильных предприятиях (сушка у производителя) и досушка до эксплуатационной влажности у потребителя; 2) одноэтапная сушка — сушка до эксплуатационной влажности на лесопильных предприятиях (сушка у производителя); 3) одноэтапная сушка до эксплуатационной влажности у потребителя.

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Двухэтапная сушка имеет существенные недостатки: необходимость двойной перекладки пиломатериалов; установка камер у производителя, так и у потребителя; высокая стоимость досушки у мелких потребителей.

При двухэтапной сушке потери древесины из-за дефектов сушки выше, чем при одноэтапной. Например, пересортица и брак от коробления верхних досок в штабелях неизбежны. По данным ЦНИИМОДа, они составляют 2...3 %. В таком случае при повторной сушке у потребителя также возникнет их коробление, за счет чего потери удвоятся.

Многие лесопильные предприятия отправляют сырой материал, и тогда потребитель высушивает его от начальной до эксплуатационной влажности. Объем пиломатериалов, перерабатываемых у потребителя, как правило, меньше, чем на лесопильных предприятиях, поэтому потребитель должен использовать камеры меньшей производительности и ручную укладку-разборку штабелей, что удорожает в целом процесс сушки и хранения.

Тенденция к повышению степени обработки пилопродукции на лесопильных предприятиях (выпуск сухих строганых специфицированных пиломатериалов, черновых и чистовых заготовок), оснащение лесопильных предприятий сушильными камерами, а также совершенствование средств транспорта и средств защиты древесины позволяют в перспективе наряду с традиционной двухэтапной сушкой организовать одноэтапную сушку пилопродукции до эксплуатационной влажности непосредственно на лесопильных предприятиях.

Одноэтапная сушка дает возможность организовать кооперированную поставку готовых строительных деталей для стандартного деревянного домостроения, черновых и чистовых заготовок для вагоностроения, сельхозмашиностроения, автостроения, тары и частично для мебельной промышленности, что позволит значительно повысить производительность труда в этих отраслях производства, улучшить использование основных производственных фондов, шире внедрить механизацию технологических процессов и на этой основе увеличить объемы выпуска продукции.

Проведенные в 1978 г. опытные перевозки (в г. Ильичевск Одесской обл. для судоремонтного завода и в пос. Алтухово Брянской обл. для мебельной фабрики) пиломатериалов, высушенных до эксплуатационной влажности (10...12 %) непосредственно на лесопильных предприятиях г. Архангельска (Соломбальском ЛДК и ЭПЗ ЦНИИМОДа «Красный Октябрь»), в пакетах с односторонней оберткой водонепроницаемой бумагой [11], а также исследования прошлых лет по изменению эксплуатационной влажности пиломатериалов при транспортировке и хранении их в пакетах с пятисторонней оберткой водонепроницаемой бумагой [9, 12] показали, что организация одноэтапной сушки до влажности 10...15 % на лесопильных предприятиях вполне осуществима.

Однако для сохранения качества (сортности и определенной эксплуатационной влажности) при хранении и перевозке пакеты пиломатериалов должны быть защищены от атмосферных осадков.

ЦНИИМОДом проведен сравнительный технико-экономический анализ эффективности указанных выше способов организации сушки с точки зрения затрат производства с учетом всех показателей, отражающих их экономическую эффективность. Определение годового экономического эффекта основыв-

вается на сопоставлении приведенных затрат сравниваемых вариантов технологии.

При расчетах показателей использовали нормы и расценки, применяемые на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях объединения «Северолесэкспорт», нормы технологического проектирования лесопильно-деревообрабатывающих предприятий Гипродрева [15], фактические материалы лесопильно-деревообрабатывающих предприятий, особенно по труднорегулируемым статьям затрат, результаты расчетов основных показателей способов сушки пиломатериалов до транспортной влажности, проведенных ранее в ЦНИИМОДе [11]. Для сопоставимости было условно принято, что для сушки пиломатериалов на лесопильных предприятиях используют сушильные камеры непрерывного действия СП-5КМ, для сушки у потребителя — камеры периодического действия СПВ-62 при нормальных режимах.

Затраты производства рассчитывались по отдельным операциям технологического процесса сушки и хранения. Для обеспечения тождественности сравниваемых вариантов способов сушки принят один и тот же участок технологического процесса, начиная с подвозки сырых пиломатериалов и кончая выкаткой из камер сухих пиломатериалов с эксплуатационной влажностью 10...15%, готовых для переработки в деревообрабатывающих цехах.

В табл. 1 представлены сводные данные результатов расчетов себестоимости, удельных капитальных вложений (основ-

1. Себестоимость и приведенные затраты при массовой камерной сушке пиломатериалов хвойных пород до эксплуатационной влажности (в ценах до 1980 г.)

Способы сушки и хранения	Себестоимость сушки и хранения, р/м ³	Удельные капитальные вложения, р/м ³			Приведенные затраты, р/м ³
		Основные фонды	Оборотные средства	Всего	
Двухэтапная до $W_{к}^*$, %:					
$W_{к} = 10$	10,12	41,44	8,07	49,51	17,55
$W_{к} = 12$	9,80	37,97	8,07	46,04	16,71
$W_{к} = 15$	9,32	32,58	8,07	40,65	15,42
Одноэтапная у потребителя до $W_{к}$, %:					
$W_{к} = 10$	8,61	51,58	8,07	59,65	17,56
$W_{к} = 12$	8,24	47,73	8,07	55,80	16,61
$W_{к} = 15$	7,81	43,88	8,07	51,95	15,60
Одноэтапная у производителя до $W_{к}$, %:					
$W_{к} = 10$	7,41	22,12	5,23	27,35	11,51
$W_{к} = 12$	7,17	20,52	5,23	25,75	11,03
$W_{к} = 15$	6,87	18,91	5,23	24,14	10,49

* $W_{к}$ — конечная влажность.

ных и оборотных средств) и приведенных затрат рассматриваемых вариантов организации массовой камерной сушки пиломатериалов хвойных пород внутрисоюзного потребления до эксплуатационной влажности 10...15 %.

Сравнительный анализ показывает, что наименьшая себестоимость при одноэтапной сушке у производителя (7,41...6,87 р.) на 1,2...0,9 р. ниже, чем при одноэтапной сушке у потребителя (8,61...7,80 р.), и на 2,7...2,5 р. ниже, чем при двухэтапной сушке (10,12...9,32 р.). Себестоимость двухэтапной сушки на 35...36 % выше себестоимости одноэтапной сушки у производителя и на 18...20 % выше себестоимости одноэтапной сушки у потребителя. В свою очередь, себестоимость одноэтапной сушки у потребителя на 14...16 % выше себестоимости одноэтапной сушки у производителя [11].

Разница в себестоимости двухэтапной и одноэтапной сушки и хранения объясняется не только различием операций технологического процесса, но и разницей в расходах по содержанию сушильных камер и их оборудования. Так, затраты по этой статье у потребителя на 45 % выше, чем у производителя (на 1,5...1,8 р. на 1 м³ высушиваемых пиломатериалов), так как камеры менее производительны, расход пара и электроэнергии на 1 м³ высушиваемых пиломатериалов выше.

Однако показатель себестоимости еще не даст полного ответа на вопрос об эффективности способов организации сушки у хранения пиломатериалов. Для окончательного решения сравнивают приведенные затраты. С этой целью, кроме себестоимости, определены также капитальные вложения при каждом способе организации сушки пиломатериалов. Наименьшие капитальные вложения при одноэтапной сушке у производителя (24...27 р. на 1 м³), наибольшие — при одноэтапной сушке у потребителя (52...60 р. на 1 м³).

Результаты расчетов приведенных затрат при рассматриваемых способах организации массовой камерной сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности (см. табл. 1) показали следующее: наименьшие приведенные затраты на 1 м³ высушиваемых пиломатериалов при одноэтапной сушке на лесопильных предприятиях у производителя на 6,04...4,93 р. ниже, чем при двухэтапной сушке, и на 6,05...5,11 р. ниже, чем при одноэтапной сушке у потребителя, т. е. ниже на 32...34 %. Из приведенного технико-экономического анализа следует:

1. Одноэтапная сушка пиломатериалов хвойных пород до эксплуатационной влажности 10...12 % на лесопильных предприятиях (у производителя) — наиболее эффективный в отношении затрат производства способ организации массовой камерной сушки пиломатериалов: сумма приведенных затрат при сушке и хранении 1 м³ пиломатериалов на 4,93...6,05 р., или на 32...34 %, ниже в зависимости от средней эксплуата-

ционной влажности, чем при двухэтапной сушке или одноэтапной у потребителя.

Например, если принять, что дефицит сушильных мощностей по Минлесбумпрому СССР для товарных пиломатериалов внутрисоюзного потребления составляет около 7 млн. м³, то годовой экономический эффект при организации одноэтапной сушки на лесопильных предприятиях составит по приведенным затратам 32...42 млн. р. по сравнению с организацией двухэтапной сушки или одноэтапной сушки у потребителя.

2. Реализация одноэтапной сушки с точки зрения сохранности качества пиломатериалов вполне осуществима: пиломатериалы, высушенные на лесопильных предприятиях до эксплуатационной влажности 10...15 %, могут быть доставлены потребителю, причем влажность их будет в пределах норм, требуемых соответствующей категорией качества сушки.

3. При организации одноэтапной сушки перевозку и хранение сухих пиломатериалов целесообразно осуществлять в пакетах, обернутых водонепроницаемой бумагой, так как при этом отпадает необходимость строительства закрытых складов, а также выпуска для этой цели крытых железнодорожных вагонов.

4. Осуществление одноэтапной сушки в Советском Союзе требует в первую очередь решения следующих проблем: установления экономических связей между производителями и потребителями сухих пиломатериалов; правильного выбора надежных средств защиты пиломатериалов от вредных воздействий внешней среды при их транспортировке и хранении; в конечном итоге — разработки типовых технологических схем организации одноэтапной сушки пиломатериалов внутрисоюзного потребления.

5. Для технической реализации одноэтапной сушки на лесопильных предприятиях имеющиеся камеры не вполне пригодны: камеры непрерывного действия типа СП-5КМ, «Валмет» предназначены только для сушки пиломатериалов мягкими режимами, а камеры УЛ-1, УЛ-2М и СПМ-2К имеют небольшую вместимость. Поэтому необходимы следующие сушильные камеры: высокопроизводительные универсальные непрерывного действия для высококачественной сушки пиломатериалов мягкими, нормальными и форсированными режимами и периодического действия повышенной вместимости проходного типа с годовой производительностью 15... 20 тыс. м³.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УЧАСТКОВ СУШКИ НА ЛЕСОПИЛЬНО-ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сушильные цехи лесопильных предприятий включают в себя ряд технологических и транспортных участков, устройств и механизмов, расположенных в смежных помещениях

различного назначения. Кроме лесосушильных камер, к этим участкам относятся площадки для формирования и разборки штабелей, склады сырых и сухих пиломатериалов, транспортные пути (траверсный коридор и т. п.), коридор управления и лаборатория сушильного цеха, служебно-бытовые помещения. Варианты планировок этих участков могут быть различными в зависимости от объемов сушки, типов применяемых камер, средств механизации.

На рис. 4 дана схема участка сушки с пакетным способом формирования штабелей при объемах сушки до 100 тыс. м³

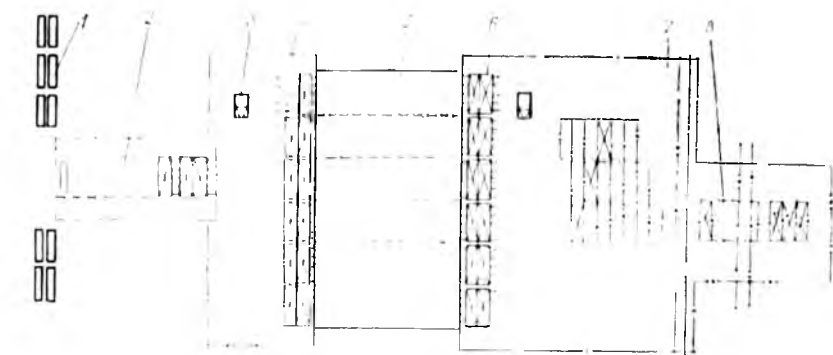


Рис. 4. Схема участка сушки с камерами непрерывного действия при формировании штабеля из пакетов:

1 — участок накопления пакетов сырых пиломатериалов; 2 — пакетоформирующая машина для укладки пиломатериалов; 3 — автопогрузчик; 4 — участок укладки сушильных штабелей; 5 — блок сушильных камер; 6 — участок выгрузки штабелей высушенных пиломатериалов; 7 — участок накопления сухих пиломатериалов в пакетах; 8 — сортировочно-пакетирующая установка

пиломатериалов в год в камерах непрерывного действия типа СП-5КМ [19].

Пакеты высотой 1,45 м укладывают на пакетоформирующей машине ПФМ-10. Готовый пакет забирает автопогрузчик, при помощи которого формируется штабель перед сушильными камерами на подштабельных швеллерных балках. Штабель подается в камеру автопогрузчиком. Перемещение штабелей в камере и выгрузку их из камеры осуществляют подающие механизмы по роликовым шинам, входящим в комплект камеры.

Высушенные штабеля разбирает автопогрузчик, и пакеты укладывают на участках накопления сухих пиломатериалов по сечениям. По мере необходимости пиломатериалы одного сечения подаются автопогрузчиком на окончательную обработку и формирование транспортного пакета.

На рис. 5 представлен участок технологического процесса на базе использования цельных сушильных штабелей при объемах сушки более 200 тыс. м³ пиломатериалов в год. Линия сушки состоит из двух пакетоформирующих машин и 15 лесо-

сушильных камер «Валмет» с повышенной высотой штабелей.

Сырые пиломатериалы поступают на одну из двух пакетоформирующих машин фирмы «Валмет», которые формируют полногабаритный сушильный штабель высотой 5 м на подштабельных тележках. Сушильный штабель поступает на траверсную тележку, подается на склад промежуточного хранения, а из него — в одну из лесосушильных камер по мере необходимости. Перемещение штабелей по буферным складам и каме-

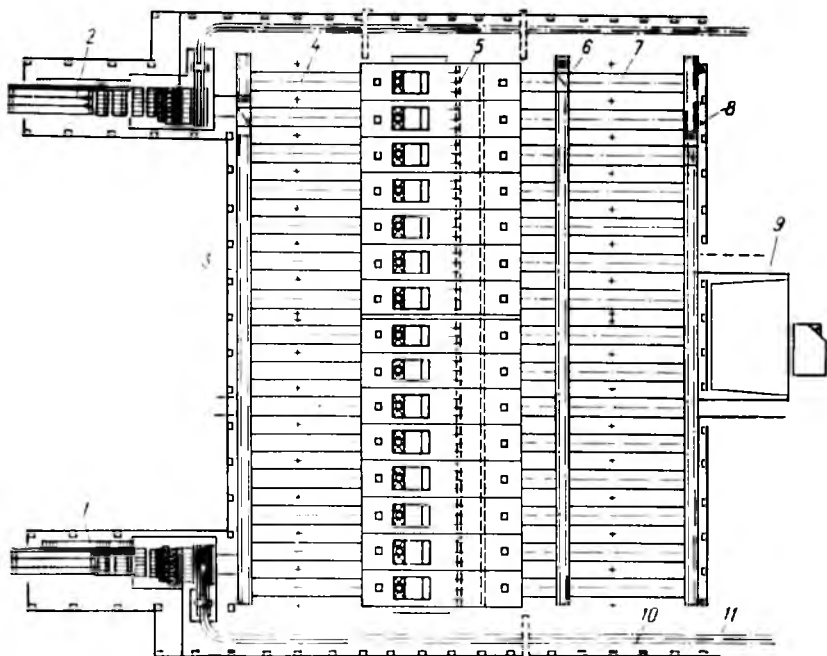


Рис. 5. Линия сушки «Валмет»:

1 — пакетоформирующая машина «Валмет» (подача прокладок справа); 2 — то же (подача прокладок слева); 3 — траверсный путь; 4 — склад промежуточного хранения штабелей сырых пиломатериалов; 5 — лесосушильная камера; 6 — траверсная тележка; 7 — склад хранения штабелей сухих пиломатериалов; 8 — подача сухих пиломатериалов на сортировку и пакетирование; 9 — линия сортировки и пакетирования фирмы «План-Селл»; 10 — конвейер возврата тележек; 11 — конвейер возврата прокладок

рам происходит гравитационно, с использованием на этих участках гидравлических тормозных механизмов.

Выгруженные из камер штабеля с сухими пиломатериалами поступают в остывочное помещение (склад), где их выдерживают в течение 1...6 сут, в зависимости от сечения пиломатериалов. Из остывочного помещения пиломатериалы с помощью траверсной тележки подают в отделение сортировки и пакетирования. Сформированные там плотные пакеты выносят из цеха конвейером. Подштабельные тележки и про-

кладки возвращаются в отделение формирования штабелей специальными конвейерами.

На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях для внутривозводской переработки пиломатериалов используют, как правило, сушильные камеры периодического действия. На рис. 6 дан пример технологической планировки участка с применением сушилок типа СПМ-2К. В этом случае при годовом объеме сушки пиломатериалов до 30...40 тыс. м³ возможно применение для укладки пакетов лифтов-подъемников. При

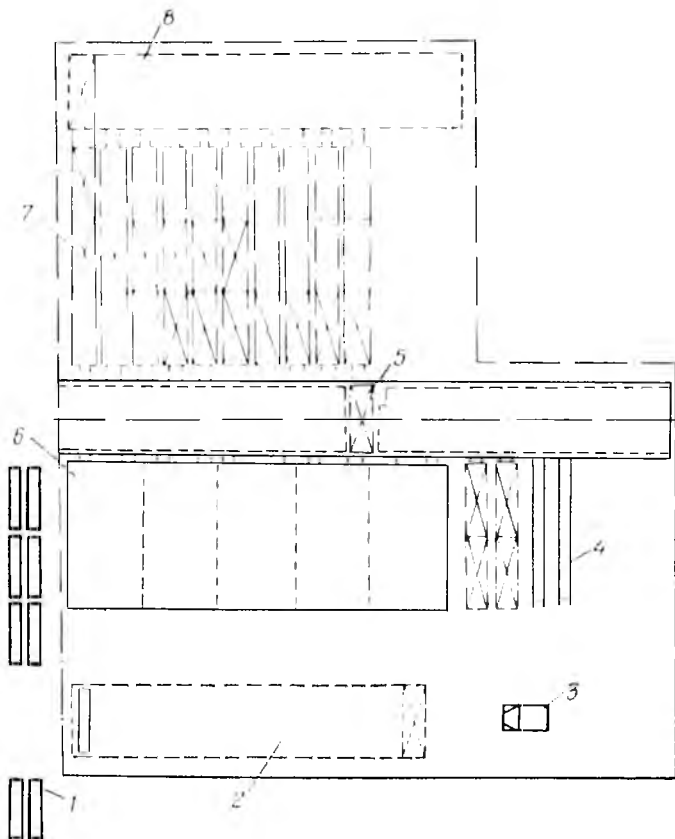


Рис. 6. Схема участка сушки с камерами периодического действия:
1 — пакеты сырых пиломатериалов; 2 — пакетформирующая машина; 3 — автопогрузчик; 4 — место формирования штабелей; 5 — траверсная тележка; 6 — камера; 7 — участок накопления сухих пиломатериалов; 8 — расформировочное устройство

больших объемах используют пакетформирующую машину для выкладки полного штабеля или пакетов.

Штабеля из двух пакетов формируются автопогрузчиком. Закатка штабелей в камеру и выкатка их осуществляется траверсной тележкой. После сушки штабеля поступают к ме-

сту выдержки. При небольших объемах штабеля могут разбираться на отдельно стоящем лифте или на лифте, который применяли для укладки штабелей, после чего пиломатериалы направляют в деревообрабатывающий цех. При больших объемах сушки высушенные штабеля поступают на линию окончательной обработки пиломатериалов или на специальную расформировочную машину.

Глава 2

СХЕМЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР

НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИНЦИП РАБОТЫ КАМЕР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

При массовой сушке товарных пиломатериалов до транспортной влажности на лесопильных предприятиях в основном применяют камеры непрерывного действия. Они могут также использоваться для сушки пиломатериалов, идущих на столлярно-строительные изделия, тару, сельхоз- и вагоностроение и т. п.

В камерах непрерывного действия, загруженных постоянно, материал перемещается по мере высушивания от загрузочного к разгрузочному концу. Процесс сушки в них протекает непрерывно. Если в камерах периодического действия режим сушки изменяется во времени, оставаясь в данный момент одинаковым для всего объема камеры, то в камерах непрерывного действия состояние воздуха изменяется по их длине, оставаясь в каждой зоне камеры постоянным во времени.

Схемы циркуляции сушильного агента в камерах непрерывного действия условно можно разделить на три группы.

В первую, наиболее распространенную, группу входят камеры с противоточной схемой циркуляции. Сушильный агент, заданные параметры которого (температура и степень насыщенности) обеспечиваются подготовкой в тепловентиляционном оборудовании при последовательном прохождении всех штабелей в направлении, противоположном направлению перемещения штабелей, постепенно увлажняется и охлаждается. Таким образом создаются определенные параметры сушильного агента в разных зонах.

Ко второй группе можно отнести камеры, имеющие схемы с многократной подготовкой сушильного агента в тепловентиляционном оборудовании. При такой схеме перед поступлением сушильного агента в любую из зон он обязательно проходит тепловентиляционное оборудование, которым и определяется режим сушки в каждой зоне.

В третью группу входят камеры, имеющие схему циркуляции сушильного агента, которая содержит элементы схем первой и второй групп. В камерах третьей группы происходит

слияние нескольких потоков сушильного агента в один и разделение одного потока на несколько перед поступлением его в определенные сушильные зоны камер. Эти камеры имеют схемы циркуляции, при которых изменение параметров сушильного агента, подаваемого в определенные сушильные зоны, определяется и режимом работы тепловентиляционного оборудования и теплообменом в штабелях.

Из камер с противоточной схемой циркуляции сушильного агента наиболее часто встречаются камеры с вертикальным кольцом циркуляции сушильного агента и поперечным перемещением штабелей в камере. В Советском Союзе с такой схемой используют отечественные камеры НБ-1, ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56, СП-5КМ и несколько различных типов камер финской фирмы «Валмет».

Принцип работы противоточных камер непрерывного действия поясняется схемой на рис. 7. Камеры представляют собой туннель, разделенный горизонтальным экраном на две части: сушильное пространство, в котором перемещаются штабеля пиломатериалов, и циркуляционный канал, в котором установлены вентиляторы и калориферы. Вентиляторы, приводимые в движение электродвигателями, направляют сушильный агент (воздух, топочные газы) в разгрузочную часть камеры.

Параметры сушильного агента (температура и степень насыщенности) определяются положением штабеля по длине камеры, поскольку сушильный агент начиная с разгрузочной части проходит штабеля, понижая свою температуру и повышая степень насыщенности (уменьшается психрометрическая разность). В каждой зоне (в штабеле) по длине камеры поддерживают постоянные режимные условия. Режим сушки характеризуется понижающейся «жесткостью» (психрометрической разностью) по длине камеры от разгрузочной к загрузочной части.

На рис. 8 приведены примеры кривых температур и влажности по длине туннеля при различных количествах циркулирующего сушильного агента. Из рис. 8, а видно, что по длине камеры температура по смоченному термометру остается практически постоянной ($t_m = \text{const}$), а температура по сухому термометру уменьшается примерно пропорционально длине от разгрузочной части к загрузочной.

При достаточном количестве воздуха (кривая 1, рис. 8, а) психрометрическая разность в загрузочной части равна расчетной по режиму для данного материала (для мягких режимов по ГОСТ 18867—84 $\Delta t = 2 \dots 4$ °С). Пиломатериалы в первом штабеле со стороны загрузки в основном прогреваются и начинают медленно испарять влагу (кривая 1 на рис. 8, б).

При недостатке циркулирующего воздуха по материалу t_c становится равной t_m ранее, чем воздух пройдет все штабеля

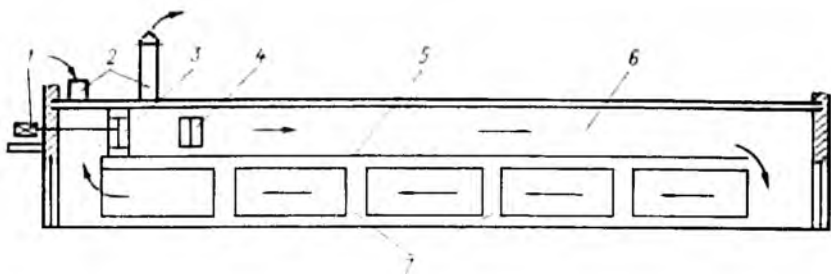


Рис. 7. Схема противоточной камеры непрерывного действия:

1 — электродвигатель; 2 — приточно-вытяжные каналы; 3 — вентилятор; 4 — калорифер; 5 — горизонтальный экран; 6 — циркуляционный канал; 7 — сушильное пространство

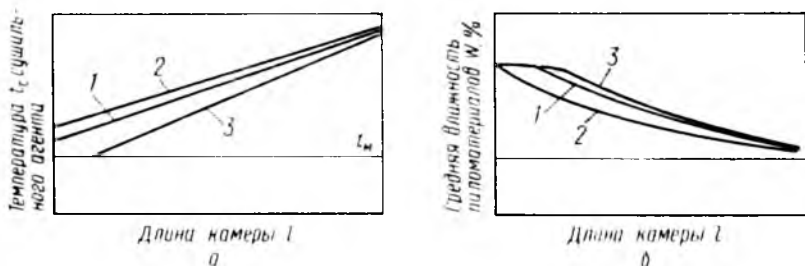


Рис. 8. Кривые распределения температур сушильного агента (а) и влажности пиломатериалов (б) по длине камеры непрерывного действия от загрузочного конца:

1 — нормальный ход процесса; 2 — при избытке воздуха; 3 — при недостатке воздуха; t_c и t_m — температура сушильного агента по сухому и смоченному термометрам соответственно

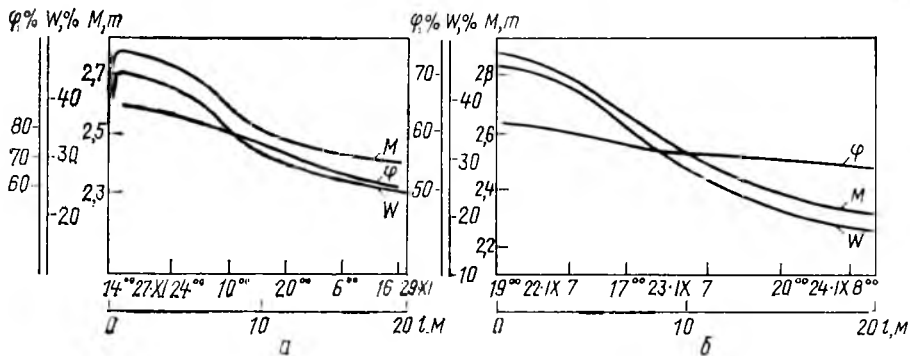


Рис. 9. Кривые сушки в камере «Валмет» еловых пиломатериалов сечением: а — 38×125 мм; б — 38×150 мм; φ — степень насыщенности сушильного агента; М и W — масса и средняя влажность пиломатериалов опытного штабеля; l — длина камеры от загрузочного конца

(кривая 3 на рис. 8, а). Испарение влаги из одного или нескольких штабелей со стороны загрузки прекращается (кривая 3 на рис. 8, б). Часть длины камеры становится неэффективной, производительность ее снижается.

При избытке сушильного агента его температура при прохождении штабелей снижается незначительно (кривая 2 на рис. 8, а), психрометрическая разность в загрузочной части камеры становится больше нормы, а степень насыщенности сушильного агента ниже нормы, крайние штабеля со стороны загрузки сохнут интенсивно (кривая 2 на рис. 8, б) и появляется опасность растрескивания материала.

Отсюда следует, что количество воздуха, а следовательно, скорость прохождения по материалу являются главными факторами, определяющими как качество сушки, так и производительность камер.

На рис. 9 показаны примеры фактических кривых изменения влажности древесины W , %, и степени насыщенности воздуха φ , в камере непрерывного действия типа «Валмет». Кривые сушки получены экспериментально путем взвешивания части контрольного штабеля в процессе его перемещения по камере. Начальная влажность $W_{\text{нач}}$ пиломатериалов в первой сушке (рис. 9, а) равна 41 %.

Режимные параметры: в загрузочном конце психрометрическая разность $\Delta t_z = 2^\circ\text{C}$, в разгрузочном конце $t_c = 52^\circ\text{C}$, $t_m = 42^\circ\text{C}$. Во второй сушке (рис. 9, б): $W_{\text{нач}} = 46\%$, $t_c = 48^\circ\text{C}$, $t_m = 38^\circ\text{C}$. Психрометрическая разность в загрузочной части значительно превышала заданную, вследствие этого период прогрева в этой сушке практически отсутствовал и сушка началась сразу после загрузки.

В первой сушке (см. рис. 9, а) после загрузки масса контрольного штабеля несколько увеличивалась, что объясняется конденсацией влаги на поверхности пиломатериалов. Стабилизация массы вслед за этим показывает, что поверхность пиломатериалов достигла температуры точки росы и конденсация влаги прекратилась, т. е. и стадия прогрева штабеля практически заканчивается.

Хотя начальная влажность контрольного штабеля в первой и второй сушке почти одинакова, но во второй сушке остальные штабеля в камере имели меньшую влажность, вследствие этого не хватило испаряемой влаги из материала для обеспечения необходимой степени насыщенности в загрузочной части камер, т. е. пониженное значение φ в загрузочной части камеры (рис. 9, б) по сравнению с режимной (0,63 вместо 0,75) свидетельствует об избытке воздуха в камере при данных условиях.

В первой сушке контрольный штабель имел практически ту же влажность, что и во второй, но влажность остальных загруженных штабелей также превышала 30 % и влаги было достаточно для поддержания по длине камеры необходимой сте-

пени насыщенности при том же количестве циркулирующего воздуха в камере, что и во второй сушке.

Изучением влияния скорости сушильного агента на интенсивность сушки занимались многие исследователи как у нас в стране, так и за рубежом. Большинство из них рекомендуют при сушке хвойных пиломатериалов и пиломатериалов других быстросохнущих пород с влажностью более 30 % скорость сушильного агента по штабелю выбирать в пределах 2...4 м/с, а при сушке от 30 % до конечной влажности в пределах от 1,5 до 2,5 м/с [24]. Эти скорости являются оптимальными для интенсивной сушки пиломатериалов с учетом энергетических затрат. Поэтому ряд современных камер непрерывного действия имеет в разных зонах разные скорости сушильного агента.

Камеры непрерывного действия можно применять в зависимости от потребностей для сушки как тонких, так и толстых пиломатериалов, которые требуют разного количества циркулирующего воздуха для поддержания режима, поэтому при расчетах и выборах камер рекомендуется принимать скорость воздуха по материалу 3...4 м/с. Для обеспечения качественной сушки различных пиломатериалов камеры необходимо снабжать устройствами для регулирования количества воздуха, например управляемыми приводами вентиляторов.

В камерах с противоточной циркуляцией равномерность распределения потока по штабелю, находящемуся в разгрузочной зоне, не оказывает заметного влияния на разброс конечной влажности, так как в этой зоне пиломатериал уже имеет достаточно низкую влажность, при которой не ощущается заметного влияния скорости сушильного агента на интенсивность сушки.

В загрузочной зоне камер, где размещаются штабеля пиломатериалов с высокой влажностью, неравномерность распределения потока по высоте штабеля может привести к пересыханию досок, расположенных в верхней части штабеля, относительно досок, расположенных в нижней части штабеля, и тем самым увеличить разброс конечной влажности, который является одним из основных показателей качества сушки. В связи с этим при проектировании камер особое внимание уделяют созданию условий, обеспечивающих равномерность распределения потока сушильного агента по высоте штабеля в загрузочном конце камеры.

ЦНИИМОДом на основе экспериментальных исследований [24] определены допустимые средние отклонения скорости сушильного агента для камер непрерывного действия при сушке пиломатериалов до транспортной влажности мягкими режимами (табл. 2).

Одним из недостатков действующих противоточных камер является низкий коэффициент полезного использования воздушного потока (табл. 3).

2. Допустимые средние отклонения скорости сушильного агента в камерах непрерывного действия

Средняя скорость $\bar{\omega}$, м/с	Относительное среднее отклонение скорости $\Delta\bar{\omega}/\bar{\omega}$	Среднее отклонение скорости $\Delta\omega$, м/с	Средняя скорость ω , м/с	Относительное среднее отклонение скорости $\Delta\omega/\omega$	Среднее отклонение скорости $\Delta\omega$, м/с
1,5	0,20	$\pm 0,3$	3,0	0,31	$\pm 0,9$
2,0	0,25	$\pm 0,5$	4,0	0,35	$\pm 1,4$
2,5	0,28	$\pm 0,7$			

3. Аэродинамические показатели некоторых камер непрерывного действия

Камеры	Средняя скорость сушильного агента в штабеле, м/с	Среднее квадратическое отклонение скорости, м/с	Вариационный коэффициент	Коэффициент полезного использования потока, %
ЦНИИМОД-49	1,2	0,52	43	0,30
НБ-1 (НБ-2)	1,4	0,37	27	0,40
СП-5КМ	2,3	0,47	20	0,39
«Валмет-2»	1,9	0,49	26	0,38
«Валмет-2» (пиломатериалы толщиной 22 мм)	1,6	0,59	37	0,42
«Валмет-3» с повышенной высотой штабелей (прокладки толщиной 32 мм)	2,5	1,4	23	0,70

Коэффициент полезного использования воздушного потока определяется долей сушильного агента $V_{шт}$, проходящего по материалу через штабеля, по отношению к общему количеству воздуха V_v , подаваемого циркуляционными вентиляторами,

$$\eta_v = V_{шт}/V_v. \quad (1)$$

В табл. 3 средняя скорость сушильного агента в штабеле определена при сушке пиломатериалов толщиной 50 мм, уложенных на прокладки толщиной 25 мм.

Низкий коэффициент использования объясняется тем, что часть потока сушильного агента проходит мимо штабелей в зазорах между ограждениями и штабелями. Необходимо уменьшать эти зазоры и надежно экранировать.

В камерах «Валмет-3» (с высотой штабеля 5 м) коэффициент полезного использования несколько выше ($\eta_v=0,7$), чем в других противоточных камерах, но все же не является оптимальным. Для снижения энергетических затрат и повышения коэффициента полезного действия циркуляционной системы

коэффициент полезного использования потока должен быть не ниже 0,8.

Кроме того, конструкция камер должна исключать условия, способствующие пересыханию торцов штабеля относительно его середины. Для этого необходимо уменьшить температуру и скорость сушильного агента в приторцовых зонах.

Основное требование, предъявляемое к циркуляционным системам лесосушильных камер,— это создание условий для поддержания заданных температурно-влажностных параметров сушильного агента в процессе сушки. Исходя из вышеизложенного, можно кратко сформулировать следующие общие требования к системе циркуляции сушильного агента.

Количество циркулирующего сушильного агента, как и его средняя скорость, в противоточных камерах непрерывного действия определяются степенью насыщенности сушильного агента при выходе из штабелей на загрузочном конце камеры и должна находиться в пределах 1,5...4 м/с. При создании нескольких зон средняя скорость сушильного агента в зонах должна быть дифференцирована: в зонах с пиломатериалами влажностью более 30 % она должна быть в пределах 2...4 м/с, в зонах с пиломатериалами влажностью менее 30 % скорость может быть в пределах 1...2 м/с.

В связи с различным требуемым количеством сушильного агента в процессе сушки в зависимости от характеристики материала и применяемых режимов привод циркуляционных вентиляторов должен быть регулируемым, чтобы можно было изменять частоту оборотов. Направление движения сушильного агента в штабеле пиломатериалов должно быть горизонтальным, поперек штабеля. Конструкция камеры должна обеспечивать равномерное распределение сушильного агента по штабелям с требуемыми параметрами (температурой, степенью насыщенности и скоростью).

Отклонение температуры сушильного агента во фронтальной плоскости штабеля от средней не должно превышать $\pm 3^\circ$. Во фронтальной плоскости штабеля отклонение разности температур сухого и смоченного термометров от средней, характеризующей степень насыщенности сушильного агента, не должно превышать $\pm 1^\circ$.

Вариационный коэффициент скорости сушильного агента в центральной части штабеля не должен превышать 0,2. В противоточных камерах непрерывного действия в крайних зонах штабеля относительно центральной средняя скорость сушильного агента должна быть меньшей, что может быть достигнуто путем установки приторцовых экранов.

Конструкция камеры должна обеспечивать величину коэффициента полезного использования потока не менее 0,8. Кроме циркуляционной системы, большое влияние на работу камер оказывает конструкция примененного нагревательного устройства.

Тепловая мощность камеры, т. е. количество тепловой энергии, передаваемой в единицу времени агенту сушки или непосредственно материалу, зависит от характеристики нагревательного устройства, параметров энергоносителя, режима, периода сушки и других факторов. Эта величина, как правило, непостоянна во времени и определяется в стадии проектирования камеры для расчетных условий сушки.

Тепловая мощность камеры должна быть достаточной для создания режимных параметров агента сушки в любой из периодов процесса и в общем случае должна покрывать расходы тепла на прогрев материала, испарение из него влаги, а также потери тепла через ограждения.

Тепловая мощность камер с паровыми или водяными калориферами при прочих равных условиях определяется параметрами теплоносителей: температурой воды и давлением пара. В камерах непрерывного действия теплоносителем, как правило, является горячая или перегретая вода, в камерах периодического действия — насыщенный водяной пар. Большинство калориферов, применяемых в лесосушильных камерах, рассчитано на рабочее давление теплоносителя 0,6..0,8 МПа.

Рекомендуются следующие нормы удельной поверхности нагрева на 1 м³ вместимости камеры в зависимости от тепловой эффективности применяемых калориферов: а) для камер непрерывного действия, работающих на мягких режимах сушки, 2..4 м²; б) для универсальных камер непрерывного действия, работающих на мягких, нормальных или форсированных режимах, 4..6 м².

Для экономии тепловой энергии камеры непрерывного действия должны оснащаться рекуператорами тепла отработавшего сушильного агента.

Тепловая защита ограждений лесосушильных камер должна удовлетворять основному требованию — на внутренней поверхности ограждений не должно происходить конденсации паров. Водяной пар вместе с органическими кислотами, конденсируясь на поверхности ограждений, быстро разрушает их. При разработке ограждений исходят из того, что коэффициент теплопередачи их не должен превышать 0,6 Вт/м²·град.

Одно из наиболее эффективных средств борьбы с преждевременным разрушением — применение защитных лакокрасочных покрытий, металлов и сплавов, коррозионно-устойчивых в среде сушильных камер.

КАМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Камеры в строительных ограждениях. Первыми паровоздушными камерами непрерывного действия, применяющимися на лесопильных заводах, были камеры с естественной циркуляцией типов Некар и Грум-Гржимайло [22].

Камеры с естественной циркуляцией просты по устройству, несложны в обслуживании, не требуют расхода электроэнер-

гии. Их главные недостатки — низкая удельная производительность и неравномерность просыхания материала по объему штабеля не позволили в дальнейшем широко распространиться этим камерам.

Для нового строительства камеры непрерывного и периодического действия с естественной циркуляцией уже не рекомендуются. На предприятиях, где имеются действующие камеры такого типа, необходима их реконструкция с переводом камер на принудительную циркуляцию сушильного агента.

Камеры с противоточной принудительной циркуляцией в строительных ограждениях были разработаны ЦНИИМОДом совместно с Гипродревом в нескольких вариантах. Первыми из них были камеры типа ЦНИИМОД-24 и ЦНИИМОД-25 (рис. 10).

В однопутной камере длиной 35 м размещаются по длине 5 штабелей. В камерах нет подвала, а вентиляторы и калориферы расположены в верхнем рециркуляционном канале. Применяется осевой вентилятор серии № 12. Калориферы в камерах ЦНИИМОД-25 из ребристых чугунных труб, а в ЦНИИМОД-24 — пластинчатые.

Камеры работают по принципу противотока, для осуществления которого материал в штабеля укладывают со шпациями. По сравнению с камерами с естественной циркуляцией описываемые камеры требуют меньшей удельной поверхности нагрева калориферов, так как коэффициент теплопередачи последних при принудительной циркуляции возрастает. Удельная производительность камер также выше за счет большей скорости циркуляции воздуха по материалу.

Основной недостаток камер типа ЦНИИМОД-25/24 — необходимость укладки пиломатериалов в штабеля со шпациями, что связано с продольным перемещением воздуха вдоль материала. Этот способ укладки штабелей более сложен, затруднена механизация формирования штабелей. Кроме того, наблюдается значительная неравномерность просыхания досок по объему штабелей. Как показали результаты испытаний [20], отклонения влажности в отдельных зонах по длине штабеля могут достигать 5...7 %, что наблюдается и в поперечном сечении штабеля. Несмотря на перечисленные недостатки, камеры ЦНИИМОД-25/24 сыграли положительную роль в развитии сушки на лесопильных заводах.

Значительная часть указанных недостатков камер с противоточной циркуляцией устранена в сушильных камерах с продольно-зигзагообразной реверсивной циркуляцией системы И. В. Кречетова [21]. На рис. 11 дана схема камеры непрерывного действия с зигзагообразной циркуляцией. На основе этой схемы Гипродрев разработал типовой проект блока камер ЦНИИМОД-32, по которому на многих лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях были построены эти камеры в кирпичных или железобетонных строительных ограждениях. Многие

из этих построенных камер эксплуатируются и в настоящее время.

Камера ЦНИИМОД-32 (см. рис. 11) содержит сушильную зону с зигзагообразными боковыми стенками и расположенный над ней рециркуляционный канал, связанный с сушильной зоной несколькими окнами, разнесенными по длине камеры. В канале размещен осевой вентилятор, например серии У № 14, и пластинчатые калориферы КФБ-8. В такой камере по мере высыхания пиломатериалов при перемещении штабеля из одной зоны в другую температура сушильного агента возрастает, а его влажность и скорость уменьшаются.

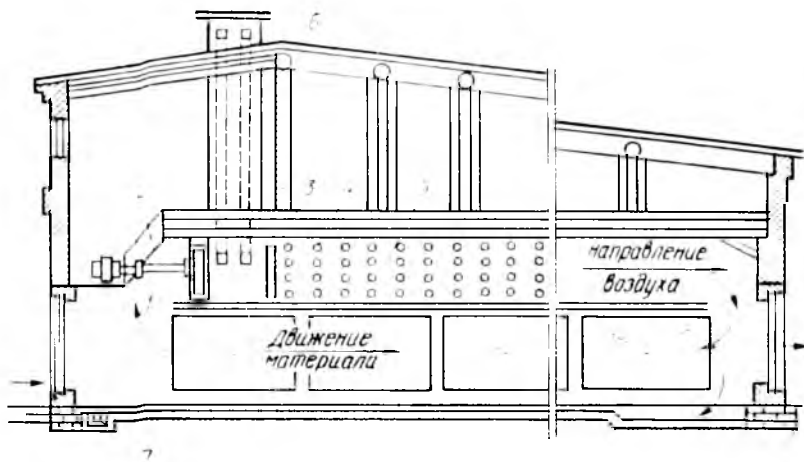


Рис. 10. Сушильная камера ЦНИИМОД-25:

1 — вентилятор; 2 — приточное отверстие; 3 — увлажнительное устройство; 4 — калорифер (чугунные ребристые трубы); 5 — рециркуляционный канал; 6 — вытяжная труба; 7 — конденсационный горшок

Направление движения сушильного агента в штабеле после каждого перемещения из зоны в зону меняется на противоположное. Такая схема циркуляции потока сушильного агента создает условия для интенсивной и качественной сушки пиломатериалов. Однако проведенные испытания вскрыли имеющиеся недостатки камеры ЦНИИМОД-32.

Основной недостаток действующих камер — низкая средняя скорость сушильного агента — 0,7 м/с, обусловленная небольшой мощностью привода вентилятора (7 кВт) и значительными перетечками сушильного агента в зазорах между штабелями и ограждениями (коэффициент полезного использования потока менее 0,5). Из-за большого числа поворотов даже при таких низких скоростях вариационный коэффициент скорости, характеризующий неравномерность распределения скоростей по штабелю, равен 34 %.

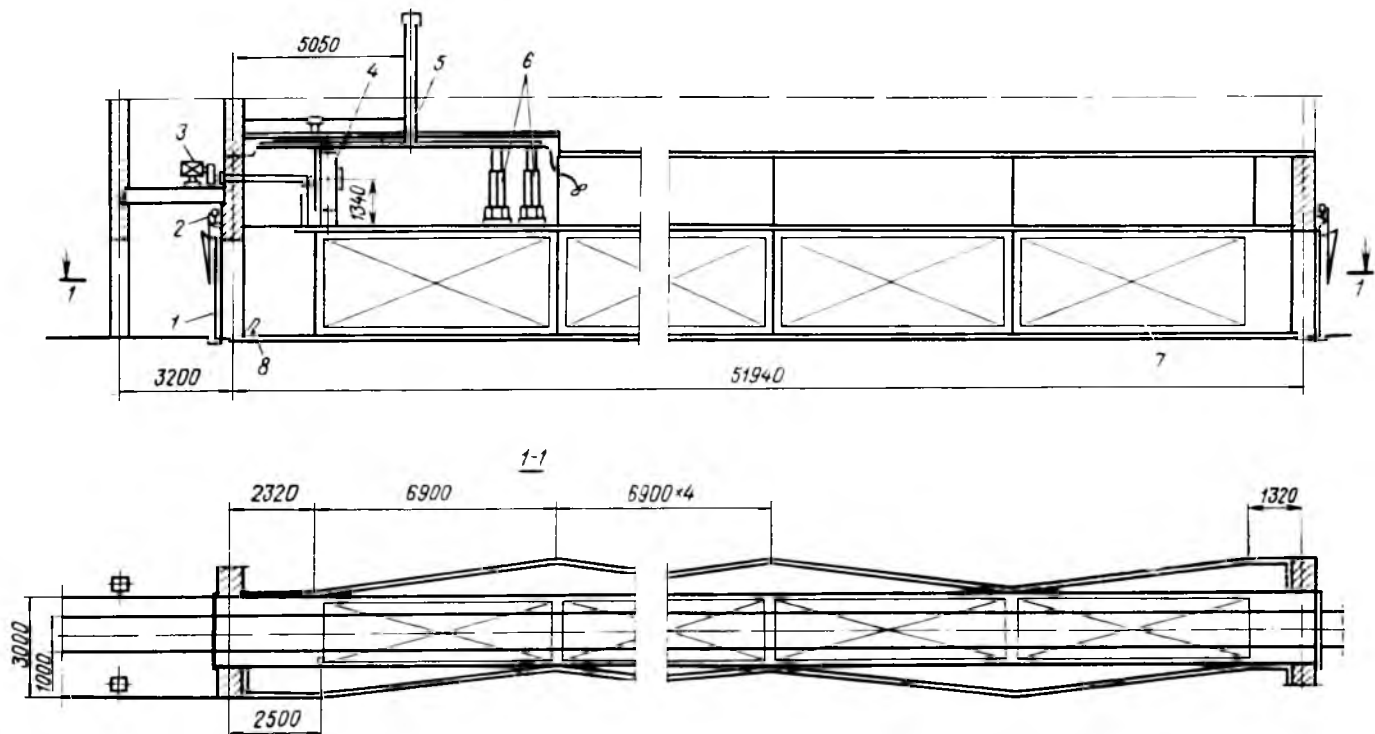


Рис. 11. Схема камеры ЦНИИМОД-32:

1 — дверь откатная; 2 — механизм для передвижения дверей; 3 — электродвигатель; 4 — вентилятор осевой; 5 — вытяжной канал; 6 — калорифер; 7 — штабель пиломатериалов; 8 — откидные рельсы

Отсутствие какого-либо смесительного устройства в зоне дополнительного подвода сушильного агента отрицательно сказывается на перемешивании сливающихся потоков — прошедшего 2 штабеля и поступающего из рециркуляционного канала. Это создает условия для пересыхания верха штабеля относительно низа, так как сушильный агент, поступающий из рециркуляционного канала в верхнюю часть штабеля, имеет более высокую температуру и более низкую влажность, чем сушильный агент, прошедший уже 2 штабеля и поступающий в нижнюю часть следующего штабеля.

Даже при устранении отмеченных недостатков аэродинамики камеры с зигзагообразной циркуляцией сушильного агента из-за большого числа поворотов будут проигрывать противоточным камерам с поперечным перемещением штабелей в отношении как аэродинамического сопротивления циркуляционного контура, так и полезного заполнения производственных площадей штабелями. Кроме того, конструкция камеры усложнена необходимостью зигзагообразных стен и связанными с этим требованиями к фундаменту и точности выполнения строительных работ.

Имеющиеся в эксплуатации блоки камер этого типа нуждаются в реконструкции, главным образом в налаживании более интенсивной и равномерной циркуляции сушильного агента по штабелям. Камеры непрерывного действия с поперечным перемещением штабелей являются наиболее распространенными вследствие их сравнительной простоты, рациональной схемы циркуляции и большой производительности.

Основной конструктивный вариант таких камер в строительных ограждениях — камера типа ЦНИИМОД-49, общий вид которой показан на рис. 12. Камера имеет сравнительно небольшой туннель длиной 24 м, в котором размещаются 10...11 штабелей с поперечной укладкой относительно оси камеры. Циркуляцию воздуха осуществляют 3 осевых вентилятора, работающих параллельно и расположенных в верхнем рециркуляционном канале (электродвигатели расположены в коридоре управления). Воздух нагревают пластинчатые калориферы. Воздух циркулирует по материалу от разгрузочного конца камеры к загрузочному прямолинейно вдоль прокладок в штабеле. Режимы сушки применяют как мягкие, так и нормальные и форсированные.

Недостатки камеры: неравномерное просыхание досок по длине штабеля (пересыхание торцов); неравномерное распределение воздуха по высоте штабеля; количество воздуха, проходящего по материалу, не регулируется в зависимости от его характеристики.

По схеме камеры ЦНИИМОД-49 спроектированы и другие варианты камер, например камера ЦНИИМОД-56, отличающаяся некоторыми деталями — типом вентилятора, механизацией передвижения штабелей. В камере ЦНИИМОД-56 воз-

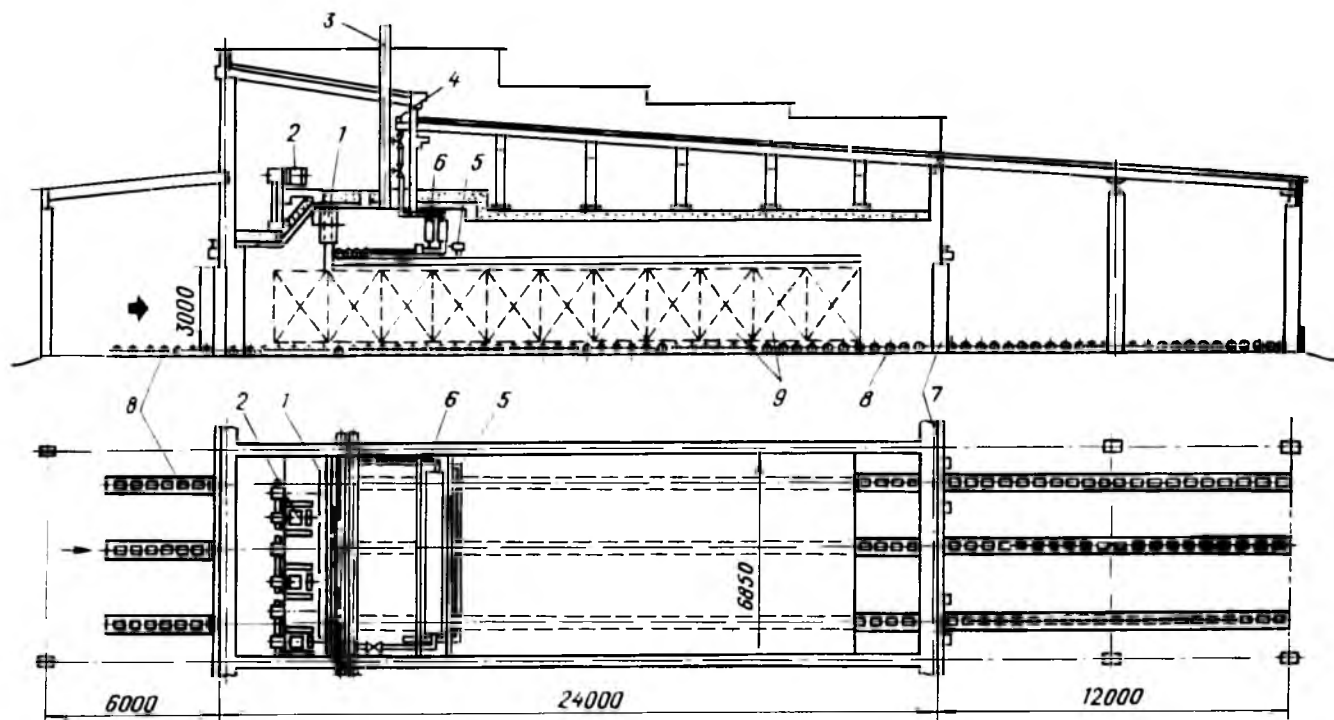


Рис. 12. Схема камеры ЦНИИМОД-49:

1 — вентилятор; 2 — привод вентилятора; 3 — вытяжной канал; 4 — паропровод; 5 — увлажнительная труба; 6 — calorifier; 7 — дверное полотно; 8 — роликовый конвейер; 9 — штабеля

можно применение форсированных режимов сушки. В некоторых вариантах камер для перемещения штабелей применены роликовые шины в камерах и на траверсных тележках.

Гипролеспром спроектировал по этой схеме камеры НБ-1 и НБ-2. Эти камеры имеют более длинный туннель (36 м), в котором размещается 18 штабелей размерами $6,5 \times 1,8 \times 2,6$ м (НБ-1). В рециркуляционном канале расположены 4 осевых вентилятора № 12 и пластинчатые калориферы.

Камеры НБ-1 и НБ-2 предназначены для сушки однородных партий хвойных пиломатериалов при нормальных или форсированных режимах. Штабеля пиломатериалов укладывают на 3 тележки и перемещают по 6 рельсовым путям. Коридор управления размещен сверху со стороны загрузочной части камеры. Двери состоят из 2 половин, которые сдвигаются в стороны специальным механизмом.

Камеры НБ-1 и НБ-2 построены и эксплуатируются на ряде предприятий страны. Однако широкого распространения они не получили в основном из-за неудовлетворительного качества сушки. Испытания камер показали, что при такой длине туннеля не обеспечивается поддержание необходимых параметров режима, количество циркулирующего воздуха по штабелям недостаточно, а его распределение неравномерно. Кроме рассмотренных выше камер с вертикальным кольцом циркуляции сушильного агента, существуют камеры с горизонтальным кольцом циркуляции.

В Советском Союзе нашли некоторое применение камеры с горизонтальной позонной циркуляцией конструкции НПО «Силава». В такой камере (рис. 13) установлено 4 центробежных вентилятора, которые создают по длине камеры 2 кольца циркуляции сушильного агента. При перемещении штабеля на очередное место направление движения сушильного агента меняется на обратное. За время сушки направление движения сушильного агента по штабелю меняется 4 раза, таким образом обеспечивается реверсивность циркуляции, основное назначение которой — снизить перепад конечной влажности по ширине штабеля.

При проектировании предполагалось, что 2 кольца циркуляции сушильного агента будут автономны и в каждом из них будет поддерживаться свое состояние сушильного агента, причем отсутствие больших скоростей в приторцовых зонах штабеля приведет к снижению пересыхания торцов штабеля и уменьшению брака от растрескивания. Однако испытания показали, что автономность потоков не сохраняется, в результате режим сушки не соблюдается и камера дает много брака, а также большую неравномерность сушки, вызванную неравномерностью циркуляции, вариационный коэффициент скорости которой достигает 100 %.

Построенные камеры требуют модернизации, направленной на обеспечение постоянных по всему штабелю температурно-

влажностных параметров сушильного агента. Рекомендуется их эксплуатировать как камеры периодического действия, поддерживая постоянным состояние сушильного агента по длине камеры и регулируя его по времени.

Из новых схем камер с противоточно-горизонтальной циркуляцией сушильного агента представляет интерес конструкция, предложенная МЛТИ (авт. свид. 446725). Схема камеры на примере реконструкции камер типа ЛатНИИЛХП показана на рис. 14.

Камера имеет 2 вертикальных экрана, выполненных из эластичного материала в виде штор. При подаче вентиляторами

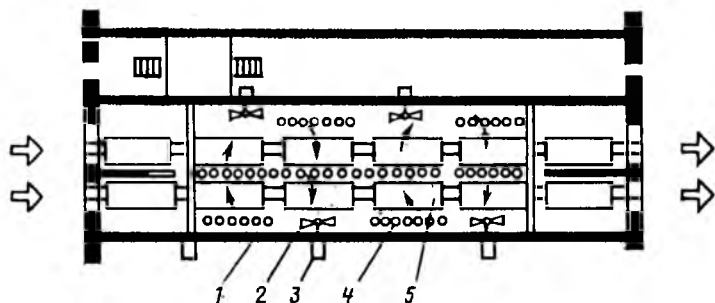


Рис. 13. Схема камеры ЛатНИИЛХПа:

1 — ограждение; 2 — вентилятор; 3 — электродвигатель; 4 — калорифер; 5 — штабель

воздуха в рециркуляционные каналы экраны прижимаются к торцам штабелей, ликвидируя околоторцовые зазоры и защищая торцы досок от растрескивания. Камера снабжена также поперечными надштабельными экранами. Коэффициент использования воздушного потока в такой камере значительно выше, чем при общепринятой вертикальной схеме циркуляции.

По схеме МЛТИ на базе камеры непрерывного действия типа ЛатНИИЛХП на Амурском ЛДК такая камера была сделана для проведения экспериментов. Испытания показали, что она обеспечивает высокую скорость циркуляции сушильного агента (3..4 м/с) при удовлетворительной равномерности ($V=14\%$). Однако после испытаний камера не эксплуатировалась, что не позволяет говорить о ее технико-экономических показателях.

Очевидно, на первых порах такая схема может быть рекомендована для реконструкции камер ЛатНИИЛХПа, а после отработки конструкции, опытной эксплуатации, получения сравнительных технико-экономических показателей можно будет решить вопрос об областях применения и перспективности таких камер.

Газовые камеры. В 1950-х гг. на лесопильных заводах начали довольно широко применять газовые сушилки непрерыв-

ного действия системы И. В. Кречетова с зигзагообразной циркуляцией [21, 30]. Их основное преимущество — дешевое местное топливо (отходы лесопиления), что не требует строительства дорогостоящих котельных, трубопроводов и установки калориферов в камерах. В целом строительство сушильных блоков с газовыми камерами обходится дешевле, чем паровых камер, а себестоимость сушки в газовых камерах также значительно ниже.

На рис. 15 приведена схема блока газовых сушильных камер, включающего 5 камер непрерывного действия с зигзагооб-

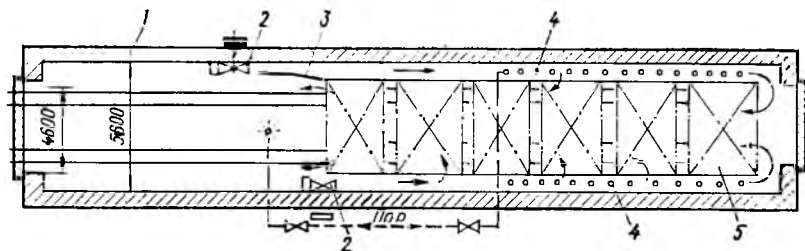


Рис. 14. Схема камеры МЛТИ:

1 — ограждение; 2 — вентиляторы; 3 — экран, отделяющий зону сушки от рециркуляционных каналов; 4 — калориферы; 5 — штабеля пиломатериалов

разной циркуляцией (по типу камер ЦНИИМОД-32) и общую топку. Пиломатериалы укладывают в штабеля без шпаций, по длине камеры размещают 5 штабелей.

Из топки топочный газ с температурой 600—800 °С отсасывается центробежным вентилятором, смешивается с отработанным сушильным агентом и нагнетается в канал, откуда первичная смесь с температурой 150..200 °С подается через сопла со скоростью 30..40 м/с в камеру. Газ, выходящий с большой скоростью из сопел, эжектирует отработавший газ из загрузочного конца камеры, смешивается с ним, проходит через диффузор эжектора, поступает в рециркуляционный канал как рабочий сушильный агент с заданной температурой 90..100 °С и оттуда к материалу на разгрузочные концы камеры.

После прохождения штабелей путем поперечной зигзагообразной реверсивной циркуляции большая часть отработавшего сушильного агента на загрузочном конце камеры эжектируется, а оставшаяся часть направляется к вентилятору и смешивается с топочным газом. Температуру газа поддерживают степенью открытия шиберов на газоходе из топки.

Камеры такого типа по проекту Гипродрева были построены на нескольких десятках лесопильно-деревообрабатывающих комбинатах и ряд лет эксплуатировались, несмотря на присутствующие этим блокам камер принципиальные недостатки.

Из технологических недостатков камер следует отметить недостаточную равномерность просыхания досок в штабеле

(обычно верх штабеля пересыхает, а низ, наоборот, недосохнет) и неудовлетворительное качество сушки в целом. Как показали результаты обследования технического состояния газовых камер, проведенного ЦНИИМОДом [23], технический брак по сушке составляет в среднем 7,5%. Характерные виды дефектов: коробление, выплавление смолы, потемнение досок, расщеливание.

Режимы сушки в газовых камерах трудно выдерживать из-за отсутствия систем регулирования параметров среды в камерах.

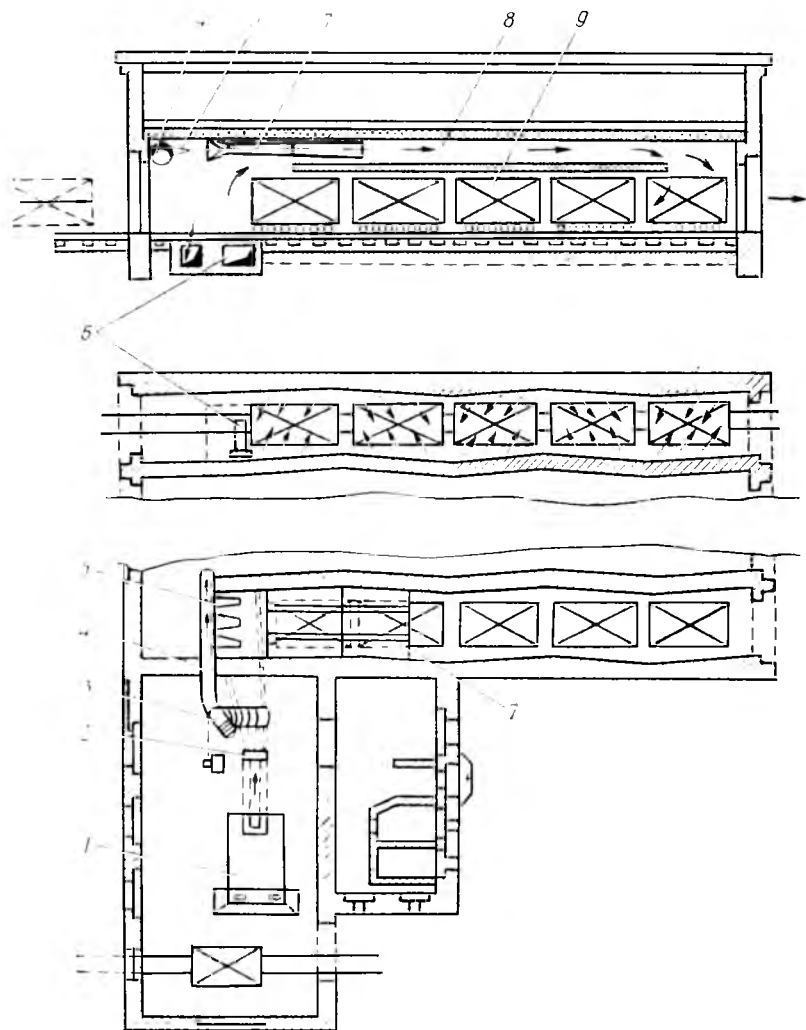


Рис. 15. Схема блока газовых лесосушильных камер:

1 — топка; 2 — шибер; 3 — вентилятор; 4 — нагнетательный канал; 5 — сопло; 6 — отсасывающий канал; 7 — диффузор; 8 — рециркуляционный канал; 9 — штабель пиломатериалов

Особенно это касается температуры по смоченному термометру, так как отсутствуют средства регулирования степени насыщенности сушильного агента, в результате чего требуемые режимы сушки не соблюдаются (обычно психрометрическая разность сушильного агента в камерах держится на уровне, превышающем заданный по режиму как в разгрузочном, так и в загрузочном концах камеры).

Газовые камеры постройки 1950..60-х гг. морально и физически устарели. Недостаточно мощная циркуляция, плохая герметичность камер, отсутствие средств контроля осложняют эксплуатацию камер. Особенно много трудностей в обеспечении режимных параметров сушильного агента и требуемого качества сушки связано с топкой газовых камер. Топка, использующая древесные отходы, не обеспечивает регулирования относительной влажности сушильного агента, искрозолоуловительные устройства топок недостаточно эффективны, что приводит к появлению сажи и летучей золы. Это в свою очередь вызывает загрязнение пиломатериалов и увеличение пожароопасности (в практике имелись случаи пожаров в камерах).

Недостатки камер привели к тому, что большинство предприятий, где были установлены газовые камеры, отказались от их дальнейшей эксплуатации, например лесопильные предприятия г. Архангельска. Имеются еще около десятка действующих блоков камер в основном на лесопильных заводах Сибири и Дальнего Востока.

Не все предприятия в достаточной мере снабжены технологическим паром, в то же время они имеют неиспользуемые отходы лесопиления. Учитывая этот фактор, можно утверждать, что газовые камеры целесообразно применять для сушки как товарных пиломатериалов внутреннего рынка, так и идущих на внутривзаводскую переработку (тара, столярно-строительные изделия) [31]. Для этого необходима модернизация действующих блоков камер и разработка Гипродревом нового типового проекта для строительства и реконструкции газовых камер непрерывного действия на древесном топливе.

Схемы сборно-металлических и некоторых зарубежных камер. Начиная с 1965 г. на лесопильно-деревообрабатывающих комбинатах отрасли, особенно на вырабатывающих экспортные пиломатериалы, стали строиться камеры непрерывного действия в сборно-металлическом исполнении. Первыми типами таких камер были блоки камер финской фирмы «Валмет». Поэтому ниже дан краткий обзор некоторых зарубежных камер, особенно тех из них, которые нашли применение в СССР.

Камера «Валмет-1». Финские камеры «Валмет-1» по принципу работы, схеме и основным конструктивным признакам аналогичны камерам ЦНИИМОД-49. Выпускают камеры блоками из 6 камер. Общий вид камеры показан на рис. 16. Камеры предназначены для сушки мягкими режимами хвойных пиломатериалов, преимущественно экспортных, до транспортной

влажности. В камере размещены 10 штабелей размерами $7 \times 1,8 \times 3$ м (длина \times ширина \times высота), перемещающихся на шинах по роликам.

Воздух направляется в разгрузочный конец камеры 3 осевыми вентиляторами, расположенными в верхнем циркуляционном канале, поступает в пластинчатые калориферы, проходит через все штабеля и возвращается по циркуляционному каналу к вентиляторам.

Применение режимов с температурой не более 55°C позволило разместить электродвигатели привода вентиляторов не-

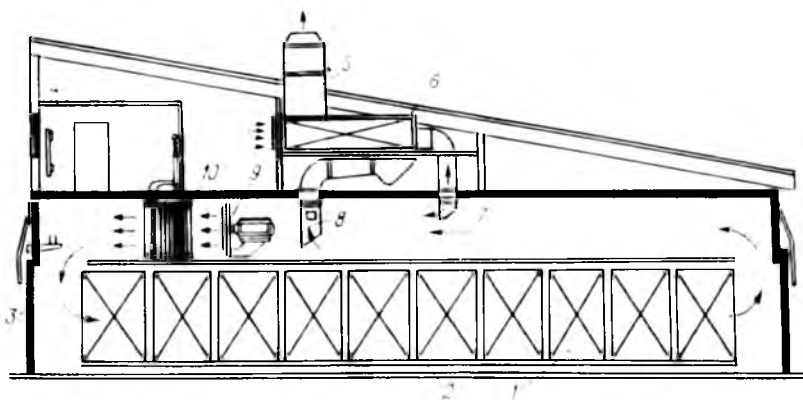


Рис. 16. Схема камеры фирмы «Валмет»:

1 — штабель; 2 — роликовый конвейер; 3 — двери; 4 — коридор управления; 5 — скруббер; 6 — теплорекуператор; 7 — канал свежего воздуха; 8 — канал отработанного воздуха; 9 — вентилятор; 10 — калорифер

посредственно в камере. Воздухообмен (приток свежего и выброс отработанного воздуха) осуществляется через специальный теплообменный аппарат — рекуператор. Свежий воздух засасывается благодаря разрежению, создаваемому основными циркуляционными вентиляторами, проходит теплообменные трубки, через которые теплый отработанный воздух отсасывается вспомогательным вентилятором, и поступает в камеру через приточную трубу.

При невысокой температуре сушильного агента, когда требуется интенсивный воздухообмен между камерой и атмосферой, подогрев свежего воздуха в рекуператоре позволяет экономить 10...15% тепловой энергии на сушку. Опыт эксплуатации камер «Валмет» показал, что они обеспечивают качественную сушку товарных пиломатериалов до транспортной влажности.

Рассматриваемая схема камеры «Валмет» относится к наиболее распространенным типам камер непрерывного действия с противоточной схемой циркуляции сушильного агента и вертикальным кольцом циркуляции при поперечном перемещении штабелей в камере. За рубежом, кроме Финляндии, по такой схеме камеры выпускали в Швеции и ФРГ.

Камеры СП-5КМ. На рис. 17 показана схема противоточной камеры непрерывного действия типа СП-5КМ. Сборно-металлический блок из 5 камер выпускался заводом «Ижтяжбуммаш». СП-5КМ — камера непрерывного действия с противоточной циркуляцией агента сушки и поперечным перемещением штабелей. Предназначена для сушки мягкими режимами хвойных экспортных пиломатериалов до транспортной влажности. Камера по основным характеристикам аналогична камерам «Валмет».

Здание сушильного блока монтируют из металлических панелей, устанавливаемых на чугунные шины по бетонным фундаментам.

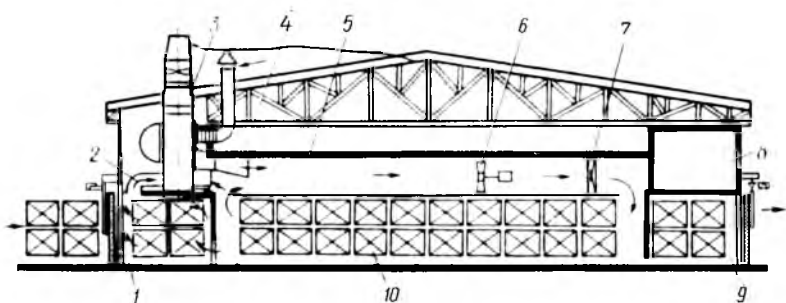


Рис. 17. Схема камеры СП-5КМ:

1 — аванкамера в загрузочном конце; 2 — вытяжной канал; 3 — теплорекуператор; 4 — приточный канал; 5 — ограждение; 6 — вентилятор; 7 — калорифер; 8 — коридор управления; 9 — аванкамера в разгрузочной части; 10 — штабеля пиломатериалов

даментам. Внутренние поверхности панелей покрывают антикоррозионной краской, наружную обшивку стеновых панелей, откатных ворот и кровли выполняют из листового алюминия гофрированного профиля. Наружные стеновые и потолочные панели утепляют минераловатными матами.

Особенностью камеры является наличие аванкамер для предварительного прогрева штабелей пиломатериалов со стороны загрузки, а также для кондиционирования и частичного остывания высушиваемых пиломатериалов со стороны выгрузки. Аванкамеры отделены от сушильной зоны подъемными шторными воротами, что позволяет закатывать и выкатывать штабеля из камеры при опущенных шторах без нарушения режима сушки.

Штабель формируется из 2 пакетов, уложенных друг на друга на межпакетных прокладках. Штабеля вдоль камер перемещаются по роликовому конвейеру из 5 рядов роликовых шин, установленных с уклоном по ходу движения. Штабеля по камере транспортируются цепно-штанговым механизмом, позволяющим сохранять промежутки между штабелями в местах установки штор и дверей.

Циркуляцию сушильного агента осуществляют 3 осевых вентилятора, расположенных вместе с электродвигателями в рециркуляционном канале. Для нагревания сушильного агента

установлены 8 калориферов КМС-10, теплоносителем в которых служит перегретая вода, подаваемая насосной установкой. Вода подогревается паром в теплообменнике.

Режимные параметры сушильного агента в разгрузочной части камеры поддерживаются на заданном уровне автоматическими регуляторами. Для использования тепла отработанного воздуха камеры оборудованы рекуперационными установками.

Как уже отмечалось, основным отличием камер СП-5КМ от «Валмет» является наличие аванкамер. Однако их конструкция не лишена недостатков. Отсутствие тепловентиляционного оборудования в отсеке кондиционирования (в разгрузочном

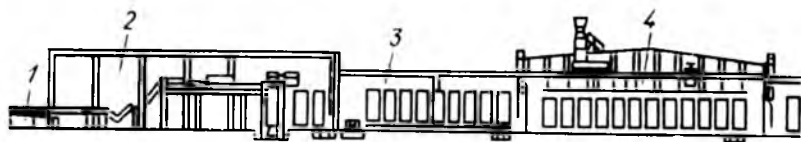


Рис. 18. Линия

1 — открытый склад промежуточного хранения пиломатериалов; 2 — отделение формирования штабелей сырых пиломатериалов; 3 — лесосушильные камеры; 4 — линия сортировки и пакетирования

конце) не позволяет проводить конечную тепловлагообработку и обеспечивает лишь медленное охлаждение высушенных штабелей.

В аванкамере со стороны загрузки отработанный сушильный агент перед поступлением в теплорекуператорную установку сначала проходит 2 штабеля, установленных в зоне нагрева пиломатериалов. На наш взгляд, такое техническое решение прогрева штабелей, поступающих в камеру, неудачно по следующим причинам:

камеры СП-5КМ предназначены для использования только мягких режимов сушки, поэтому в зоне нагрева сушильный агент имеет низкую температуру при высокой влажности, что способствует поражению пиломатериалов древесными грибами;

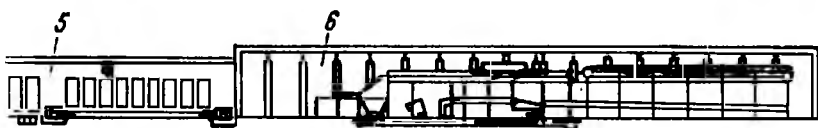
отработанный сушильный агент охлаждается, проходя штабеля, поэтому из-за уменьшения перепада температур в теплорекуператорной установке он отдает свежему воздуху значительно меньшее количество тепла, т. е. снижается эффективность использования нагревательных поверхностей теплорекуператорной установки.

В процессе эксплуатации камер СП-5КМ выявился и ряд других недостатков камеры (неудачные конструкции механизмов закатки и выкатки штабелей, шторных дверей и т. п.), поэтому необходима их модернизация.

Камера «Валмет» с повышенной высотой штабеля. С 1980-х гг. на некоторых лесопильно-древеобрабатывающих предприятиях эксплуатируются новые финские камеры

«Валмет», отличающиеся от прежних повышенной высотой штабелей. Эти камеры входят в состав так называемых линий сушки, поставляемых комплектно. Общий вид линии показан на рис. 18.

Открытый склад емкостью 1500 м³ служит для промежуточного хранения пакетов сырых пиломатериалов, сортированных по сечениям. На нем предусмотрено одновременное хранение 10 партий пиломатериалов различных сечений. Емкость партии одного сечения соответствует полусменной производительности пакетоформирующей машины. Склад обслуживает автопогрузчик. В отделении формирования штабелей установлена пакетоформирующая машина (ПФМ) фирмы «Валмет».



сушки «Валмет»:

рования штабелей на пакетировочной машине фирмы «Валмет»; 3 — склад промежу-
 Валмет»; 5 — склад промежуточного хранения штабелей сухих пиломатериалов; 6 —
 пиломатериалов фирмы «План-Селл»

На складе промежуточного хранения штабелей сырых пиломатериалов на рельсовых путях перед каждой камерой устанавливаются по 8...10 штабелей, что примерно соответствует 7-сменной производительности сушильных камер. Такой запас штабелей компенсирует разницу в режимах работы отделения формирования штабелей (250 дней в году) и сушильного отделения (360 дней в году).

На складе промежуточного хранения штабелей сухих пиломатериалов на рельсовых путях за каждой камерой размещают по 12 штабелей. Здесь остывают пиломатериалы и накапливаются партии пиломатериалов одного сечения для работы линии сортировки и пакетирования.

Кроме того, в состав линии входят: теплоцентр и гидроцентр фирмы «Валмет», электропомещения и лаборатория фирмы «Валмет»; отделение возврата тележек и прокладок фирмы «План-Селл»; служебно-бытовые и вспомогательные помещения на отечественном оборудовании.

Сборно-металлические лесосушильные камеры, входящие в состав блока, поставляются фирмой «Валмет» блоками по 5, 10 или 15 камер. Общий вид камер показан на рис. 19. В блоке из 5 камер две специализированы на сушке досок толщиной до 32 мм включительно. В этих камерах установлены более мощные калориферы и вентиляторные установки. В 3 камерах сушат пиломатериалы толщиной более 32 мм (сушить тонкие доски не рекомендуется). Калориферы и вентиляторные установки этих камер имеют меньшую мощность.

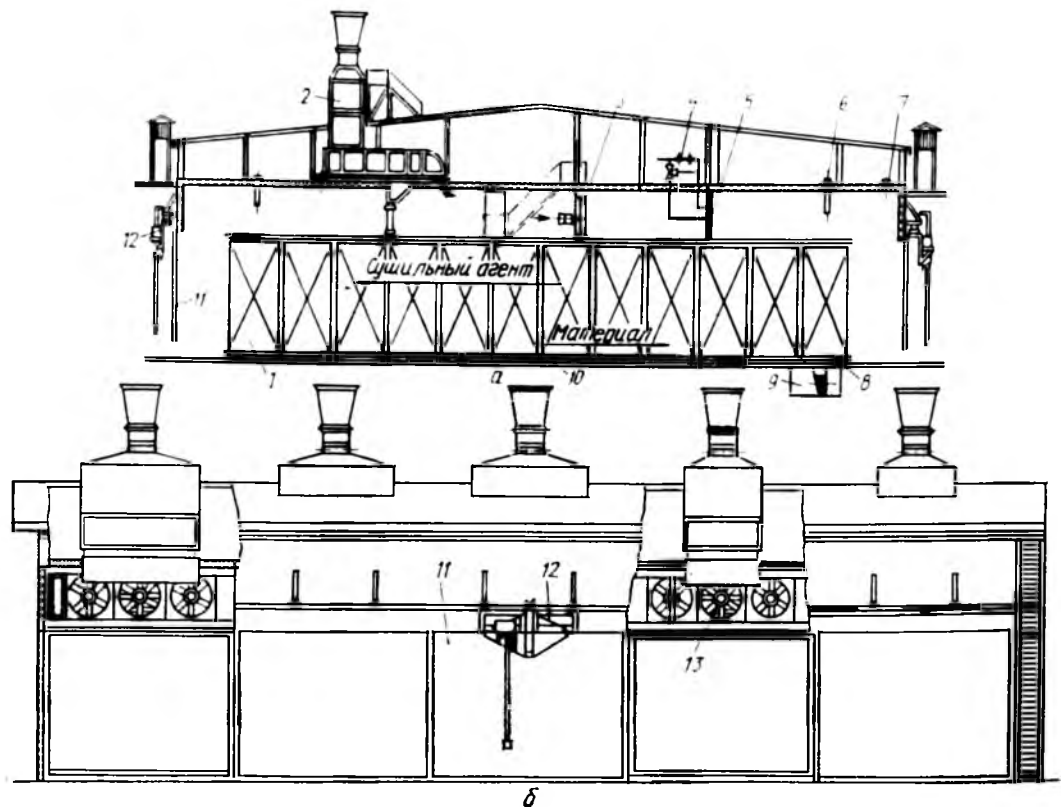


Рис. 19. Схемы камеры «Валмет», входящей в состав линии сушки:

a — продольный; *б* — поперечный разрезы; 1 — штабель; 2 — теплорекуперационная установка; 3 — вентиляционная установка; 4 — система циркуляции горячей воды; 5 — calorifiers; 6 — устройство для установки датчиков температуры; 7 — устройство для пожаротушения; 8 — подштабельная тележка; 9 — гидравлическое остановочное устройство; 10 — рельсовый путь; 11 — дверь; 12 — подъемно-перемещающее устройство; 13 — регулирующая заслонка.

Все стены здания собирают на болтах из стальных элементов размерами приблизительно $2,9 \times 7,7$ м, толщиной 200 мм. Герметичность достигается с помощью специального уплотнителя, прижимаемого к лентам резины болтами. Элементы не имеют теплоизоляции. В участках, где стена граничит с наружным воздухом, выполняют теплоизоляцию из листов минеральной ваты путем укладки их на наружной поверхности элементов.

Наружную поверхность обшивают профильной листовой сталью, которую прикрепляют к горизонтальным металлическим балкам. Металлические балки крепят болтами к стальным опорам-угольникам, которые соединяют с наружной поверхностью элементов. Элементы стен укладывают на стальную опорную конструкцию, прикрепленную анкерными болтами к фундаменту. Часть опорной конструкции в этом случае остается в бетоне фундамента.

Верхний потолок собирают из элементов, ширина которых равна ширине стеновых элементов. Различаются они между собой тем, что потолочные элементы обшивают листовой сталью только со стороны камеры. Промежуточный потолок, отделяющий сушильную зону от рециркуляционного канала, монтируют из гнутых профильных балок и стягивают болтами.

Стропила кровли в месте соединения потолочных и стеновых элементов опираются на колонны, находящиеся в каждой стене. На стропилах закрепляют профильные стальные листы.

Каждая камера имеет с разгрузочного (сухого) и загрузочного (сырого) концов двери каркасного типа. Сварная рама изготовлена из профильного листового алюминия. Снаружи двери обшивают пропитанными под давлением сосновыми пиломатериалами толщиной 20 мм, а с внутренней покрывают алюминиевыми листами. Дверь собирают из 2 секций и крепят болтами. Внутри двери теплоизолированы щитами из стекловаты толщиной 100 мм. Дверь собственной массой прижимается к дверному каркасу.

По периметру притвора двери уплотнены разрезанным вдоль резиновым шлангом, прикрепленным к дверным косякам болтами, что значительно облегчает замену его при ремонте. Двери снабжены подъемно-передвижным устройством с электрогидравлическим приводом. Подъемно-передвижное устройство перемещается по швеллерам, расположенным над дверями.

Тепловое оборудование лесосушильной камеры состоит из системы подачи пара к теплообменнику и отвода конденсата от него, теплообменника, системы циркуляции горячей воды через калориферы и калориферов. Насыщенный пар избыточным давлением 0,3 МПа подается по паропроводу в теплообменник для нагрева воды, состоящий из трубной и корпусной частей. В трубной части циркулирует вода, нагреваемая паром, который подается в корпусную часть. Максимальное количество подаваемого пара 7,7 т/ч.

Во избежание перегрева трубной части нельзя подавать пар, предварительно не заполнив систему водой, насосы при этом должны работать. Для циркуляции воды в системе установлен насос с приводом от электродвигателя мощностью 22 кВт. Вода от насоса через теплообменник подается в распределительный трубопровод, а из него через патрубок, на котором установлен запорный и трехходовой регулирующий клапаны, поступает в калориферы каждой камеры.

Из калориферов вода отводится в коллекторный трубопровод, и цикл повторяется. Часть охлажденной воды через трехходовые клапаны возвращается в калориферы. Калориферы представляют собой замкнутую систему сообщающихся медных трубок с алюминиевыми ребрами, которую снаружи омывает циркулирующий сушильный агент, а внутри обогревает вода с температурой на входе 115 и выходе 85 °С. В каждой камере установлено по 2 секции калориферов.

В камерах для сушки толстых пиломатериалов производительность калориферов составляет 1,16 МВт, для сушки тонких — 1,57 МВт. Для циркуляции воздуха через штабеля пиломатериалов в каждой камере перед калориферами в рециркуляционном канале установлено по 3 осевых вентилятора, смонтированных на общей раме.

Вентиляторы должны обеспечивать скорость движения агента сушки по штабелю 4 м/с. Общая производительность 3 вентиляторов в камере для сушки тонких пиломатериалов составляет 270 тыс·м³/ч, для сушки толстых пиломатериалов — 210 тыс·м³/ч. Общая установленная мощность электродвигателей привода вентиляторов в камерах для сушки тонких и толстых пиломатериалов соответственно 90 и 66 кВт.

Количество воздуха, циркулирующего по штабелю, автоматически регулируется заслонкой, которая устанавливается перед центральным вентилятором. Агент сушки, нагнетаемый вентиляторами через калориферы, поступает в камеру с разгрузочного конца, проходит через штабеля пиломатериалов, постепенно охлаждается и увлажняется за счет испарения влаги из материала. Увлажненный агент сушки поступает в рециркуляционный канал, где часть его удаляется вытяжным вентилятором через теплорекуперационный агрегат и скруббер в атмосферу.

В рециркуляционный канал поступает свежий воздух. На входе и выходе агента сушки из рециркуляционного канала установлены датчики температуры. По сигналам этих датчиков режим сушки регулируется в разгрузочном конце в соответствии с температурами по сухому t_c и смоченному t_m термометрам. Количество циркулирующего в камере агента сушки регулируют по показаниям датчика температуры t_c загрузочного конца.

После того как агент сушки последовательно прошел все загруженные в камеру штабеля, он возвращается обратно к вентиляционной установке. Если температура агента сушки в загрузочном конце камеры превышает заданную по режиму, регу-

лирующая заслонка центрального вентилятора постепенно перекрывается (количество воздуха в камере уменьшается) до тех пор, пока фактическая температура по сухому термометру на загрузочном конце камеры будет отличаться от заданных значений.

Перед моментом полного закрытия заслонки электродвигатель центрального вентилятора останавливается. После останковки вентилятора регулирующая заслонка постепенно открывается, возникает паразитный поток воздуха через вентилятор и в камере по штабелям пиломатериалов циркулирует минимальное количество воздуха.

При температуре t_c загрузочного конца камеры ниже заданной заслонка сначала устанавливается в почти полностью закрытое положение, затем запускается двигатель вентилятора и заслонка начинает открываться. В результате количество циркулирующего в камере воздуха начинает увеличиваться. Таким образом в камере все время поддерживается количество воздуха, обеспечивающее заданную степень насыщенности среды в загрузочной части. Для улучшения аэродинамики в камерах установлены экраны, которые направляют циркулирующий агент сушки через штабеля, не допуская прохождения его в промежутках между ограждениями камеры и штабелями.

В камере расположены 6 потолочных экранов размером $7000 \times 220 \times 3$ мм, 12 боковых пристеночных экранов размером $5500 \times 200 \times 3$ мм и 6 экранов для пола размером $7000 \times 150 \times 2$ мм. Потолочные и боковые экраны изготовлены из неопреновой резины и состоят из 2 одинаковых половин. Каждая половина экрана крепится болтами с помощью крепежной планки из нержавеющей стали к уплотнительной планке стенового или потолочного элемента. Боковые и потолочные экраны размещаются вдоль камеры в 6 местах.

Металлические экраны для пола состоят из 3 элементов. Средний элемент экрана крепится обоими концами к рельсам, а крайние одним концом к рельсу, другим к полу сушильной камеры. Экраны, установленные на полу камеры под углом 45° , предотвращают циркуляцию воздуха под сушильными штабелями. Их помещают в продольном направлении камеры начиная от разгрузочного конца. Первый экран устанавливают в конце первого штабеля, последующие — в конце каждого второго штабеля.

Для повышения экономичности использования тепла каждая камера оборудована теплорекуперационной установкой. Установка состоит из теплообменника, скруббера, вытяжного вентилятора, каналов приточного и отработанного воздуха и бака для сбора воды. Удаляемый из камеры агент сушки, проходя по каналам теплообменника, подогревает поток приточного воздуха, который поступает из чердачного помещения или прямо из атмосферы за счет разрежения, создаваемого вытяжным вентилятором.

Канал приточного воздуха оборудован жалюзийными заслонками, которые работают в блоке с вытяжным вентилятором. При остановке вентилятора заслонки закрываются и доступ приточного воздуха через щели в рециркуляционный канал прекращается. Эффективность теплорекуперации повышается при использовании скруббера, в котором подогревается распыляемая вода. Из скруббера удаляемый агент сушки поступает в атмосферу. Количество удаляемого воздуха регулируется автоматически. С этой целью под вытяжным вентилятором установлена регулирующая заслонка, приводимая в действие от электродвигателя мощностью 0,15 кВт.

Когда температура смоченного термометра в разгрузочном конце камеры превысит заданную по режиму, постепенно автоматически открывается регулирующая заслонка. Пока заслонка открывается в пределах до 15° , вытяжной вентилятор работает на малых оборотах (1000 об/мин). Когда заслонка открывается на 30° , вытяжной вентилятор включается на повышенные обороты (1500 об/мин) и количество удаляемого из камеры агента сушки увеличивается. Если температура смоченного термометра в разгрузочном конце камеры ниже заданной, заслонка начнет закрываться и количество воздуха, удаляемого из камеры, уменьшается. Когда заслонка закрывается полностью, вытяжной вентилятор останавливается.

Сушильные штабеля перемещаются на подштабельной тележке по наклонным рельсовым путям (уклон 1:230) вдоль линии сушки. По конструкции тележка представляет собой металлическую раму с 4 ходовыми колесами. Грузоподъемность тележки 37 т. Для перемещения сушильных штабелей в направлении фронта камер используют электрогидравлические траверсные тележки.

Рельсовые пути для них расположены в начале промежуточного склада, в начале и в конце остьвочного помещения. Такая схема позволяет перемещать сушильные штабеля к любой камере блока и складировать высушенные пиломатериалы в определенные группы в зависимости от дальнейшей обработки. Камера снабжена устройством для остановки штабелей. Это устройство включает гидравлический агрегат, гидроцилиндры с рычагами, электрические и ручные органы управления.

По направлению движения сушильных штабелей устройства расположены в конце пакетформирующей машины, перед траверсными путями промежуточного склада, в конце промежуточного склада, в конце лесосушильной камеры, перед траверсными путями в начале и в конце остьвочного помещения.

Камеры с позонной циркуляцией сушильного агента. В отличие от камер с противоточной циркуляцией сушильного агента и поперечной загрузкой штабелей камеры, имеющие схемы с многократной подготовкой сушильного агента в тепловентиляционном оборудовании (или как их еще называют, камеры

с позонной циркуляцией сушильного агента), распространены в СССР значительно меньше.

Некоторое применение получили камеры ЛатНИИЛХП (см. рис. 13) с горизонтальной позонной циркуляцией. Из-за присутствия этим камерам принципиальных недостатков дальнейшее их строительство прекращено. За рубежом камеры с аналогичной горизонтально-позонной циркуляцией сушильного агента известны в ФРГ [24, 25].

Ряд зарубежных фирм выпускают многозонные камеры с продольным перемещением штабелей и вертикальными кольцами циркуляции сушильного агента. В таких камерах вентиляторы и калориферы размещают в рециркуляционном канале, расположенном над сушильной зоной.

Каждый вентилятор обслуживает определенную зону по длине камеры, в которой путем регулирования притоков свежего воздуха и подачи теплоносителя в калориферы автоматически поддерживается заданный режим сушки. Отработанный сушильный агент отсасывается в загрузочном конце камеры. Поэтому циркуляция сушильного агента не является строго вертикальной, а имеет вертикально-винтовой характер. Для уменьшения разброса конечной влажности по ширине штабеля в камерах фирм финской «Сатеко», шведской «Флектфабрикен» и западногерманской «Хильдебранд» используются реверсивные осевые вентиляторы, периодически изменяющие в штабеле направление движения сушильного агента на противоположное.

В Советском Союзе разработан проект камеры ЛТА-ЦНИИ-МОД-65 с вертикальными кольцами циркуляции, которая имеет по длине 7 зон, содержащих по 6 штабелей. Пары штабелей разделены друг с другом калориферами. Скорости сушильного агента, м/с, в штабелях по зонам должны быть следующими: 1, 2, 3-я — 3; 4-я — 2; 5-я и 6-я — 1,5; 7-я — 1.

Для сохранения параметров сушильного агента по зонам рециркуляционные каналы разделены вертикальными перегородками, боковые наклонные экраны также имеют на границах зон вертикальные ребра, продолжающие перегородки рециркуляционных каналов [27].

Аналогичные камеры, содержащие по 6 штабелей в каждой зоне, при низкотемпературных режимах эксплуатируют в Австралии [27]. По 6 штабелей в каждой из зон размещены и в камере фирмы «Хильденбранд» (модель НД-78КРД).

Многозонные камеры с продольным перемещением штабелей имеют большую длину, как правило, более 40 м, из-за чего возникают затруднения с обеспечением теплорекуперации отработанного сушильного агента, так как необходимы длинные воздухопроводы. Большинство камер этого типа не имеет теплорекуперационных аппаратов, что увеличивает расход тепла на единицу высушиваемого материала.

Основное преимущество камер непрерывного действия с многократной подготовкой сушильного агента перед противоточными камерами состоит в возможности создания оптимального режима сушки с прогревом пиломатериала после загрузки в камеру, а также с кондиционированием и охлаждением пиломатериалов перед выгрузкой из камеры.

При этом становится реальным обеспечение рациональных скоростей сушильного агента в штабеле, которые уменьшаются по величине в процессе сушки. Другое преимущество — возможность обеспечения реверсивной циркуляции сушильного агента для снижения разброса конечной влажности по ширине штабеля. Недостатками этих камер по сравнению с противоточными являются:

необходимость установки большого числа тепловентиляционного оборудования, рассредоточенного по всей длине камеры; большая длина камеры;

высокое аэродинамическое сопротивление циркуляционного контура из-за большого числа поворотов, сужений, расширений и прохождений калориферов;

значительно меньшая относительная полезная площадь, занятая штабелями, за счет больших площадей, отведенных на поворотные (распределительные) каналы;

значительно большая длина воздухопроводов, обеспечивающих подвод отработанного агента сушки и отвод нагретого свежего воздуха от теплорекуперационного аппарата;

необходимость обеспечения равномерного распределения потока сушильного агента по штабелям поочередно в каждой зоне, как правило, при помощи дополнительных средств формирования потока, например направляющих экранов;

более сложная система регулирования параметров сушильного агента.

Учитывая вышеуказанные недостатки камер с многократной подготовкой сушильного агента, рассмотрим схемы многозонных камер непрерывного действия с разделением потока сушильного агента или слиянием нескольких потоков в один.

В таких многозонных камерах непрерывного действия, по мнению их разработчиков, становится реальной возможность обеспечения рациональных режимов сушки и, в частности, оптимальных скоростей сушильного агента.

В 1966 г. шведская фирма «Svenska Fläktfabriken» предложила камеру с противоточно-прямоточной схемой циркуляции сушильного агента (рис. 20). Первые противоточно-прямоточные камеры с вертикальными кольцами циркуляции сушильного агента, построенные в Швеции и Норвегии, показали преимущества и недостатки этого типа камер.

Разработчики считают [26], что основное преимущество этих камер состоит в возможности автоматического регулирования температурно-влажностных параметров сушильного агента в зависимости от скорости сушки во второй зоне. Скорость сушки

в свою очередь зависит от породы древесины, сечения пиломатериалов, влажности и т. д., поэтому режим сушки учитывает все перечисленные факторы.

К преимуществам камер этого типа по сравнению с противоточными можно отнести изменение на противоположное направление движения сушильного агента при перемещении его из одной зоны в другую, что способствует снижению разброса конечной влажности по ширине штабеля. Снижение разброса конечной влажности обусловлено также повышенной влажностью сушильного агента в конце сушки.

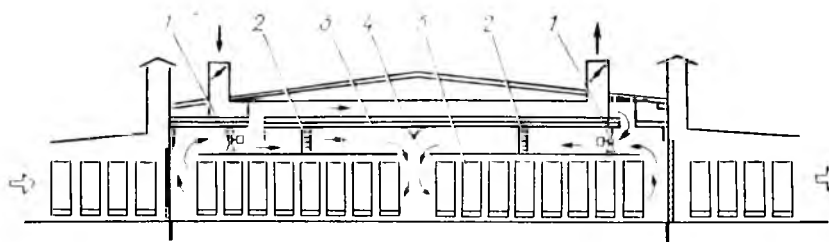


Рис. 20. Камера с противоточно-прямоточной схемой циркуляции сушильного агента фирмы «Svenska Flaktfabriken»:

1 — вентиляторы; 2 — калориферы; 3 — ограждение; 4 — теплорекуператор; 5 — штабель

К недостаткам рассматриваемых камер следует отнести значительно увеличенную по сравнению с противоточными длину камеры, а также отсутствие регулирования расхода сушильного агента в зонах, что затрудняет поддержание оптимальных параметров сушильного агента в загрузочном конце камеры.

Противоточно-прямоточные камеры с регулируемым расходом сушильного агента в зонах в 1960-х гг. выпускала шведская фирма «Ewemaskiner» [27]. В этих камерах сушильные зоны в процессе сушки разделены экраном, а скорости сушильного агента регулируются заслонками, изменяющими аэродинамическое сопротивление циркуляционных контуров.

Общим недостатком камер с противоточно-прямоточной циркуляцией сушильного агента является отсутствие возможности использования оптимальных режимов сушки, т. е. режимов с постоянно повышающейся в процессе сушки жесткостью.

Двухзонная камера с поперечной загрузкой штабелей и вертикальным кольцом циркуляции, использующая режимы с повышающейся в процессе сушки жесткостью, была предложена ЦНИИМОДом (а. с. № 595606, БИ № 8, 1978 г.). В такой камере (рис. 21) в рециркуляционном канале установлены 2 тепловентиляционных узла, создающих 2 кольца циркуляции сушильного агента.

Вентилятор, помещенный перед окном, соединяющим рециркуляционный канал с центром камеры, обеспечивает движение

агента только по зоне, где расположены пиломатериалы с высокой влажностью, а второй вентилятор продувает сушильный агент по всем штабелям. Созданный между зонами разрыв и установка в зоне подвода дополнительного сушильного агента специальных средств формирования потока, например щелевых сопел, должны обеспечивать перемешивание сливающихся потоков с целью создания равномерного температурно-влажностного поля сушильного агента по высоте штабеля.

Таким образом, при постоянно увеличивающейся в процессе сушки жесткости режима скорости сушильного агента в шта-

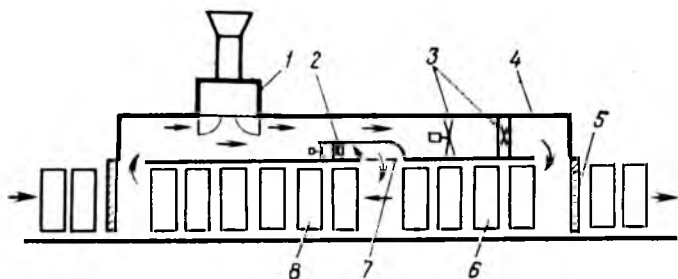


Рис. 21. Схема двухзонной камеры с противоточной циркуляцией сушильного агента:

1 — теплорекуператор; 2 — дополнительный тепловентиляционный узел; 3 — основной тепловентиляционный узел; 4 — ограждение; 5 — двери; 6 — штабеля пиломатериалов с влажностью менее 30 %; 7 — щелевые сопла с регулируемым расходом сушильного агента; 8 — штабеля пиломатериалов с влажностью более 30 %

беле будут рациональными, т. е. при высокой влажности пиломатериала они будут выше, а при низкой — ниже. Кроме того, изменение расхода сушильного агента через центральное окно создает возможность регулирования температурно-влажностных параметров сушильного агента не только на загрузочном и выгрузочном концах, но и в центре камеры.

Общим недостатком таких камер является усложнение конструкции относительно однозонных противоточных камер для создания разрыва между зонами и обеспечения перемешивания сливающихся потоков.

По принципиальной схеме двухзонной камеры (см. рис. 21) по техническому заданию ЦНИИМОДа Гипродрев разработал технический проект линии сушки пиломатериалов универсальной 4-камерной ЛСПУ-4К. В рециркуляционном канале в отличие от принципиальной схемы размещен один тепловентиляционный узел. Перераспределение потока сушильного агента по длине камеры, т. е. доля потока, поступающего в центральный промежуток между штабелями, регулируется посредством заслонок.

В сушильной зоне расположено 12 штабелей высотой по 5 м. Имеются отсеки влаготеплообработки, в которых размещают по два штабеля. Отсеки снабжены индивидуальной тепловентиля-

торной системой и системой регулирования параметров среды. Линия сушки ЛСПУ-4К не была построена по организационным причинам. По ее типу Гипродревом разработан по техническому заданию ЦНИИМОДа блок камер непрерывного действия типа СП-5КМ-3.

В отличие от ЛСПУ-4К в блоке СП-5КМ-3 сушильные штабеля высотой 3 м. Схема камеры, входящей в состав блока СП-5КМ-3, приведена на рис. 22. Блок из 5 двухзонных лесосушильных камер непрерывного действия с поперечным перемещением штабелей и противоточной циркуляцией сушильного агента с отсеками для влаготеплообработки предназначен для сушки пиломатериалов мягкими и нормальными режимами до транспортной влажности, а также мягкими, нормальными и форсированными режимами по II категории качества до влажности 10...12 %.

Схема двухзонной сушильной камеры предусматривает применение режимов сушки в соответствии с ГОСТ 18867—84 и возможность подачи добавочного воздуха в промежуток между первой и второй зонами, что позволяет интенсифицировать сушку в первой зоне и снижать удельные энергетические затраты.

В первой зоне влажность пиломатериалов снижается до 30 %, скорость агента сушки в ней 3,5...2,5 м/с; во второй зоне влажность пиломатериалов снижается от 30 % до заданной, скорость агента сушки 1,1...2,5 м/с. В каждой зоне размещают по 6 штабелей. Для пиломатериалов, высушенных нормальными и форсированными режимами по II категории качества сушки, предусмотрены отсеки влаготеплообработки.

Сушильные штабеля перемещаются в сушильных камерах на тележках по наклонным рельсовым путям за счет гравитации. Сушильные штабеля фиксируются гидравлическими управляемыми остовами, расположенными перед сушильными камерами, в первой и второй зонах сушильных камер, в отсеке влаготеплообработки и на остывочном участке. Циркуляция в камере осуществляется 3 блоками вентиляторов производительностью 80 000 м³/ч, в отсеке влаготеплообработки 3 блоками производительностью 36 000 м³/ч, расположенными в рециркуляционном канале.

Теплоноситель — перегретая вода с температурой 150...85 °С. В каждой камере предусмотрены теплорекуперационные установки и системы распределения количества воздуха между зонами.

В каждой камере блока устанавливается система контроля массы штабелей контрольно-весовыми устройствами: на входе в камеры и выходе из первой и второй зон сушки. Режимные параметры в камерах регулируются автоматически от датчиков, установленных на входах и выходах первой и второй зон сушки, а также в отсеке влаготеплообработки на входе в сушильный штабель.

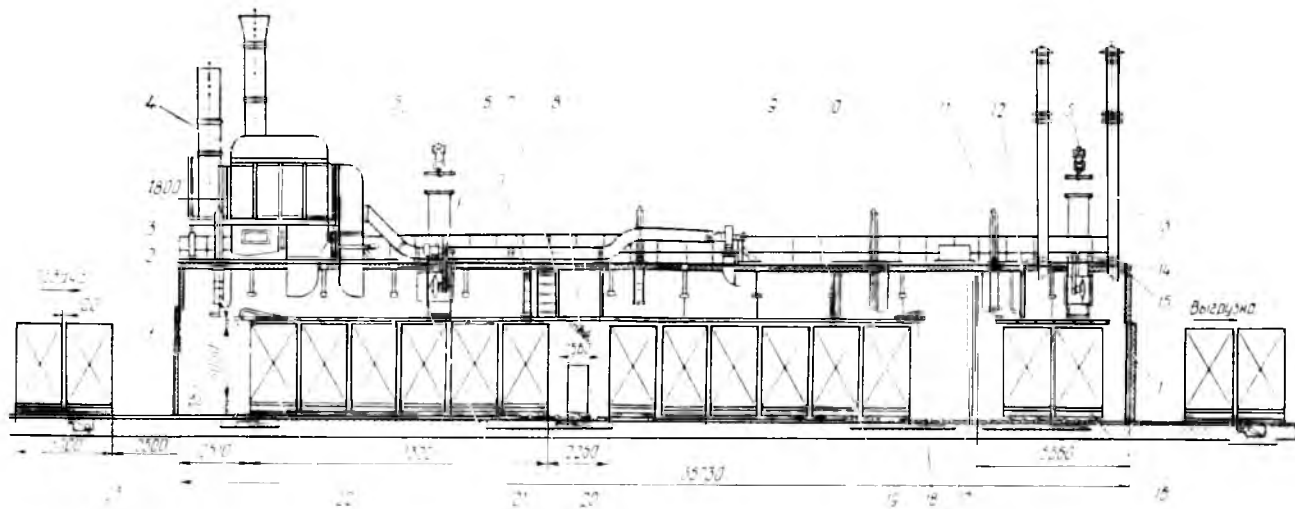


Рис. 22. Схема двухзонной камеры типа СП-5КМ-3:

1 — ворота откатные; 2 — каркас; 3 — рама несущая; 4 — установка рекуперативная; 5 — панель электрическая; 6 — блок вентиляторный в зоне сушки; 7 — система распределения воздуха по зонам; 8 — датчик температуры; 9 — калориферы в зоне сушки; 10 — устройство для установки датчиков в зоне сушки; 11 — устройство для установки датчиков в зоне теплообработки; 12 — калориферы в зоне влаготеплообработки; 13 — приточно-вытяжная система; 14 — блок вентиляторный в зоне влаготеплообработки; 15 — теплоизоляция; 16 — тележка подшабеляная; 17 — ворота шандорные; 18 — обтекатели; 19 — экраны; 20 — механизм передвижения штабелей; 21 — заслонка регулирующая; 22 — устройство для установки датчиков; 23 — гидравлическое остановочное устройство

4. Технические характеристики камер непрерывного действия

Показатели	ЦНИИМОД-32 (ТП 411-2—34-71) *	Газовая на древесном топливе **	ЦНИИМОД-49 **
Внутренние размеры, м (длина×ширина×высота)	—	36,7×2,6×5,6	24,0×6,85×5,08
Объем камеры, м ³	730	—	978,0 (с коридором управления)
Габаритные размеры загружаемых штабелей, м (длина×ширина×высота)	6,5×1,9×2,6	6,5×1,8×2,6	6,5×1,8×2,6
Число штабелей в камере	7	5	11
Габаритный объем всех штабелей в камере, м ³	212,9	152,0	335,0
Вместимость камеры, м ³ условных пиломатериалов (в зоне сушки)	93,2	65,7	150,0
Калориферы:			
тип	Пластинчатый КФБ-8	—	Пластинчатый КФБ-9
поверхность нагрева, м ²	290	—	640
Вентиляторы:			
число	1	1	3
тип	Осевой У12 № 16	Ц-9-57 № 16	В № 12
Установленная мощность электродвигателей, кВт	22	75	54
Расчетная производительность вентилятора, м ³ ·ч	—	—	40 000
Годовая производительность камеры, м ³ условных пиломатериалов при режимах	10 000 (нормальный)	6500	20 400 (форсированный)
Число камер в блоке	—	—	5
Годовая производительность блока, м ³ условных	—	—	102 000 (форсированных)

* Бывший типовой проект ТП-411-2-34-71 включает 5 камер непрерывного действия по типу ЦНИИМОД-32 и 2 камеры СПВ-62. Общая годовая производительность сушильного отделения при этом равна 56 тыс. м³ условных пиломатериалов (в переработанном Гипродревом типом проекте блок именуется СП-5КМ-2КП). Характеристики даны для камеры непрерывного действия.

** Для указанных камер типовые проекты отсутствуют. Техническая документация на блок ЦНИИМОД-49 имеется в Гипродреве.

*** Из них по 2 штабеля в аванкамерах.

Показатели	СП-5КМ	Блоки		
		«Валмет»-1	«Валмет» с повышенной высотой штабелей	СП-5КМ-3 (проектируемый)
Внутренние размеры, м (длина×ширина×высота)	31,0×7,2×5,20	22,0×7,2×5,0	32,0×7,0×8,1	40×35×7,0
Объем камеры, м ³	1160,0	860,0	1814,0	—
Габаритные размеры загружаемых штабелей, м (длина×ширина×высота)	7,0×1,8×3,0	7,0×1,8×3,0	6,8×2,05×5,0	6,6×1,8×3,0
Число штабелей в камере	14***	10	12	12 + 2 в зоне влаго-теплообработки
Габаритный объем всех штабелей в камере, м ³	529,0	352,8	836,4	500
Вместимость камеры, м ³ условных пиломатериалов (в зоне сушки)	154,0	154,0	367	184,8 + (30,8)
Калориферы:				
тип	КМС-10	Оребренные трубы		Биметаллические оребренные трубы
поверхность нагрева, м ²	382	562	—	
Вентиляторы:				
число	3	3	3	3 + 4 в зоне влаго-теплообработки
тип	ВО-11А	Осевой		Осевой
Установленная мощность электродвигателей, кВт	66	39	66	90
Расчетная производительность вентилятора, м ³ /ч	60 000	65 000	70 000 . . . 90 000	60 000 . . . 90 000
Годовая производительность камеры, м ³ условных пиломатериалов при режимах	8 400	8 400	17 500	10 000 (мягкий) 25 000 (нормальный) 25 000 (форсированный)
Число камер в блоке	5	6	5	5
Годовая производительность блока, м ³ условных	42 000 (мягких)	50 500 (мягких)	87 500	50 000 (мягкий) 100 000 (нормальный) 125 000 (форсированный)

Блок камер размещается в отапливаемых зданиях с расчетной зимней температурой 10 °С. Изготовление блоков СП-5КМ-3 намечено по заказам предприятий в последующие годы (опытный образец — в 1988 г.). В табл. 4 приведены технические характеристики камер непрерывного действия, распространенных в СССР.

КАМЕРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, выпускающих товарные пиломатериалы, применяют, как показано выше, в основном лесосушильные камеры непрерывного действия. В них сушку пиломатериалов ведут при мягких режимах до транспортной влажности.

При сушке экспортных пиломатериалов эти камеры оправдывают свое назначение, но требованиям сушки пиломатериалов внутреннего рынка и пиломатериалов, идущих на внутризаводскую переработку, эти камеры уже не удовлетворяют. Необходимы универсальные по применению камеры непрерывного действия, в которых в зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов можно было бы применять мягкие, нормальные или форсированные режимы сушки. Для обеспечения необходимого качества сушки до эксплуатационной влажности эти камеры надо снабдить отсеками влаготеплообработки.

Камеры прежних типов в строительных ограждениях (ЦНИИМОД-32, ЦНИИМОД-49, газовые и др.) позволяли использовать различные режимы сушки. Кроме того, при строительстве блока камер обычно наряду с камерами непрерывного действия строили и несколько камер периодического действия с целью использования их для сушки пиломатериалов, предназначенных для внутризаводской переработки.

В камерах, рассчитанных на сушку только товарных пиломатериалов, нецелесообразно сушить пиломатериалы до эксплуатационной влажности. Во-первых, при сушке мягкими режимами низка производительность, что увеличивает себестоимость сушки и повышает расход тепловой и электрической энергии. Во-вторых, отсутствие отсеков влаготеплообработки не позволяет достичь качественной сушки, т. е. обеспечить снятие остаточных напряжений в высушиваемом материале, снизить перепад влажности по толщине доски и т. п.

На лесопильных предприятиях пиломатериалы используют для выработки тары, столлярно-строительных изделий, клееных деревянных конструкций, иногда для производства мебели и других изделий деревообработки. Сушка таких пиломатериалов должна происходить в камерах периодического действия.

Для строительства новых или замены существующих камер устаревших конструкций в зависимости от объемов сушки на предприятии можно рекомендовать типы камер периодического

действия, приведенные в табл. 5. Паровые камеры периодического действия предназначены для высококачественной сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности.

Конструкция камер периодического действия позволяет создавать внутри ее необходимые температурно-влажностные параметры агента сушки, выдерживать любые стандартные режимы на различных этапах сушки, благодаря чему высушивать пиломатериалы любых древесных пород и толщин в зависимости от требований качества на деревообрабатывающих производствах. Так, паровые камеры периодического действия могут быть рекомендованы для применения на предприятиях по производству мебели, лыж, музыкальных инструментов, паркета, столярно-строительных изделий, деревянных клееных конструкций и другой продукции, в производствах которой пиломатериалы должны быть высушены по I..II категориям качества.

Современные конструкции паровых камер периодического действия оснащены вентиляторными установками, обеспечивающими непосредственное побуждение агента сушки. По аэродинамической схеме они имеют вертикальную (камеры УЛ-1, УЛ-2М, ВК-4, СП-2КП) или же поперечно-горизонтальную реверсивную циркуляцию агента сушки (камеры СПЛК-2 и СПМ-2К).

По виду ограждающих конструкций лесосушильные камеры периодического действия разделяют на сборно-металлические и выполненные из строительных материалов (например, СПЛК-2 и ВК-4). Ограждающие конструкции изготовляют из строительных материалов, широко используемых в строительстве. Например, камеру полностью строят из монолитного железобетона или же стенки выкладывают из красного кирпича марки 100, а потолочное перекрытие — из монолитного железобетона. В этих камерах следует обращать особое внимание на их герметизацию и теплоизоляцию.

Камеры в строительных ограждениях обладают как преимуществами, так и недостатками. В частности, они долговечней и дешевле сборно-металлических, а их строительство доступно любой строительной организации, в том числе и силами предприятий, на которых они устанавливаются. Основные недостатки этих камер:

повышенная трудоемкость при строительстве, комплектации камер технологическим оборудованием или их изготовлении, а также при комплектации приборами контроля и автоматического регулирования процесса сушки;

необходимость ежегодного восстановления пароизоляционного покрытия на внутренних поверхностях ограждающих конструкций и антикоррозийного покрытия металлических деталей.

Сушильные камеры в металлическом исполнении заводского изготовления имеют следующие преимущества перед сушильными камерами в строительных ограждениях:

5. Технические показатели камер периодического действия

Показатели	Камеры				
	УЛ-1	УЛ-2М	СПМ-2К	СП-2КП	ВК-4
Габаритные размеры штабеля, м	6,5×1,8×3,0	6,5×1,8×3,0	6,5×1,8×3,0	6,5×1,8×3,0	6,5×1,8×2,6
Число штабелей	1	2	4	24	4
Вместимость камеры, м ³ условных пиломатериалов	15,35	30,7	61,4	368	54
Годовая производительность, тыс. м ³ при режимах:					
высокотемпературном	3,6	7,2	13,8	—	—
форсированном	1,95	3,9	7,5	45	6,87
нормальном	1,5	3,0	5,7	34,5	5,08
мягком	—	—	—	18,5	—
Побудитель циркуляции агента сушки — осевой реверсивный вентилятор	У12 № 12,5	У12 № 12,5	У12 № 12,5	У12 № 14	У12 № 10
Число вентиляторов	3	6	4	18	6
Установленная мощность, кВт	15,9/18,0	31,8/36	41,2/40	227,12	45

Показатели	Камеры				
	УЛ-1	УЛ-2М	СПМ-2К	СП 2КП	ВК-4
Скорость циркуляции агента сушки через штабель, м/с	1,5 ... 3,0	1,5 ... 3,5 (регулируемая)	1,5 ... 3,0	1,5 ... 3,5	2,0
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ³ при режимах:					
высокотемпературном	32,4	—	20,4	—	—
форсированном	38,4	32,9	28,8	—	—
нормальном	42,0	—	30	22,5	—
Характеристика теплового оборудования	Калориферы из биметаллических труб	—	—	Биметаллические калориферы секционные	КФБ-11П
Удельный расход тепла, Гкал/м ³ , при режимах:					
высокотемпературном	0,255	—	—	—	—
форсированном	0,26	0,22	—	—	—
нормальном	—	—	0,27	0,23	—
Габаритные размеры сушилки, м	11,825×4,4×5,63	18,2×4,4×5,63	11,99×16,6×5,1	22,9×23,98×7,5	14,4×5,7×5,2
Масса, т	10,73	18,5	56	—	—
Стоимость сушилки, тыс. р.	32	61,6	82,3	550*	—

* Лимитная цена.

в металлических камерах созданы необходимые условия для применения высокотемпературного режима сушки, обеспечивающего ее интенсификацию, если это позволяют требования к качеству сушки, исходя из назначения материала;

возможность предусмотреть 100 %-ную заводскую готовность и комплектацию камер технологическим оборудованием, приборами контроля и системой автоматического регулирования процесса сушки;

быстроту ввода в эксплуатацию.

При обследовании строящихся деревообрабатывающих предприятий установлено, что фактические сроки строительства сушильных цехов, в состав которых входят камеры из строительных ограждений, как правило, составляют 2...3 года, а отдельные цеха строятся 5 лет и больше. Монтаж металлических камер равноценной мощности может быть произведен за 30...90 дней.

Рассмотрим схемы и принцип действия некоторых камер периодического действия. П/О «Петрозаводскбуммаш» серийно изготавливает лесосушильные установки УЛ-1 и УЛ-2М, предназначенные для высушивания пиломатериалов различных древесных пород и толщины в паровоздушной среде при нормальных, форсированных или высокотемпературных режимах в среде перегретого пара.

Установки рассчитаны для применения на деревообрабатывающих предприятиях по производству мебели, лыж, музыкальных инструментов, паркета, столярных изделий, тары и другой продукции деревообработки при объемах высушиваемой древесины до 15...30 тыс. м³ условных пиломатериалов в год. Конструкция лесосушильных установок разработана для условий размещения их внутри отапливаемого производственного помещения.

Установка УЛ-1 — одноштабельная (рис. 23), УЛ-2М — двухштабельная (два штабеля расположены по длине сушилки). Обе сушилки полностью унифицированы. Принцип действия сушилок заключается в следующем. Воздушный поток от вентиляторов направляется в циркуляционный канал, где размещены биметаллические калориферы. Проходя через калориферы, воздух нагревается до необходимого температурно-влажностного состояния и направляется в штабель пиломатериалов.

В вентиляторном помещении через приточно-вытяжные трубы происходит выброс в атмосферу определенного количества отработанного воздуха и подсос свежего. Если психрометрическая разность становится меньше заданной, то система автоматики подает команду на открывание заслонок приточно-вытяжных труб, при достижении психрометрической разности, заданной по режиму сушки, заслонки автоматически закрываются.

В условиях влаготеплообработки и увеличенной против заданной психрометрической разности пар в камеру подается

через увлажнительные трубы. Направление вращения вентиляторов изменяется автоматически с помощью прибора КЭП-12У. При высокотемпературной сушке приточно-вытяжные трубы закрыты, а испаряемая влага удаляется через гидравлический затвор и вытяжную трубу.

Устройство сушилок рассмотрим на примере УЛ-1 (см. рис. 23). Лесосушильная установка представляет собой метал-

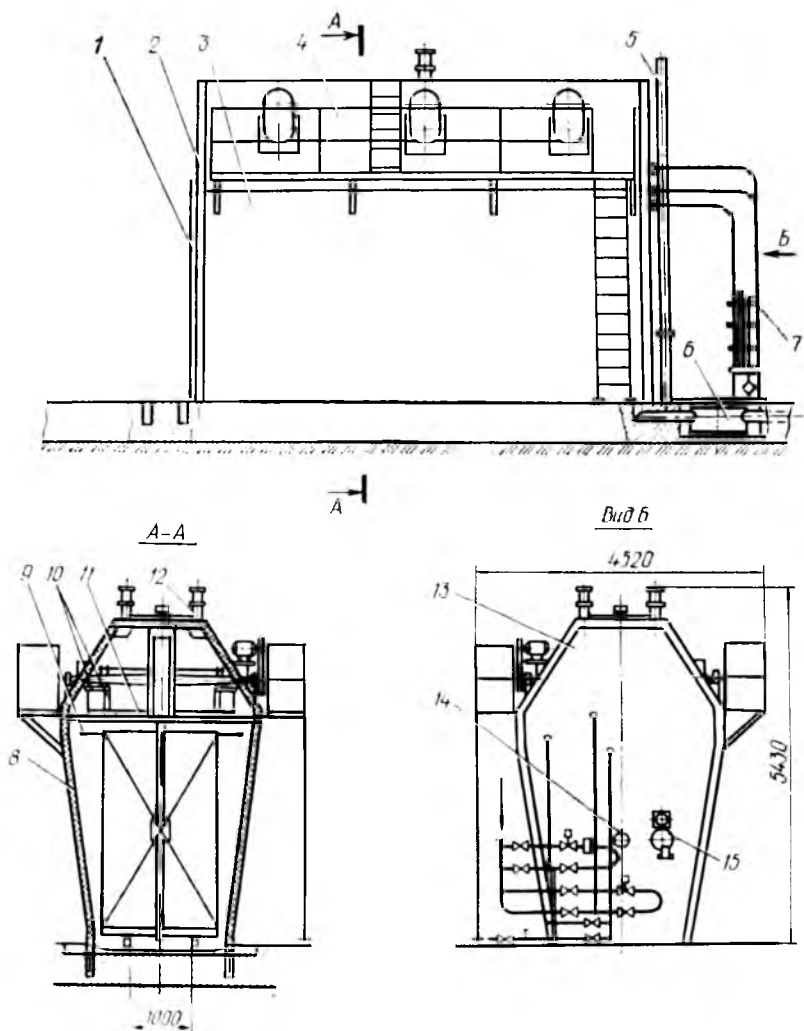


Рис. 23. Схема установки УЛ-1:

1 — дверь; 2 — панель передняя; 3 — панель боковая; 4 — секция верхняя; 5 — труба вытяжная; 6 — гидрозатвор; 7 — система пароснабжения; 8 — экран; 9 — увлажнительная труба; 10 — калорифер биметаллический; 11 — горизонтальный экран; 12 — устройство приточно-вытяжное; 13 — панель задняя; 14 — блок датчиков (психрометр); 15 — блок датчиков (пожаротушение)

лическую камеру, собираемую из двух боковых, двух торцовых панелей и верхней секции. Камера разделена горизонтальным экраном на сушильное пространство и пространство для технологического оборудования. В сушильном пространстве размещают пиломатериалы, торцовые экраны, препятствующие перетеканию сушильного агента мимо штабеля, и оборотный блок.

В верхней секции устанавливают 3 осевых реверсивных вентилятора У12 № 12,5 с индивидуальными приводами от двухскоростных электродвигателей 4А160 S8/6. Вал каждого вентилятора опирается на 2 радиально-сферических подшипника, установленных на кронштейнах снаружи верхней секции. В местах прохода вала через стенку секции установлены сальниковые уплотнения.

Для притока свежего воздуха и выброса отработанного в верхней секции смонтировано приточно-вытяжное устройство с заслонками. Открытием заслонок управляет один исполнительный механизм. Установка снабжена системой пароснабжения, состоящей из узла регулирования давления, пароподводящего узла и 2 увлажнительных перфорированных труб, подающих пар непосредственно в установку. Образующийся в калориферах конденсат отводится по конденсатопроводу.

В пароподводящем узле (в линиях подачи пара к калориферам и увлажнительным трубам) установлены 2 регулирующих клапана с электроприводом. Система автоматического регулирования параметров среды осуществляет регулирование температуры и психрометрической разности агента сушки приборами, серийно изготавливаемыми отечественной промышленностью.

В ПО «Петрозаводскбуммаш» намечена к выпуску двухкамерная сборно-металлическая сушилка периодического действия проходного типа повышенной вместимости СП-2КП (1 камера, входящая в состав сушилки, вмещает 12 штабелей). Технический проект сушилки разработан Гипродревпромом по техническому заданию ЦНИИМОДа. Опытный образец изготовлен в 1987 г.

Сушилка предназначена для высококачественной сушки до эксплуатационной влажности при нормальных и форсированных режимах пиломатериалов различных пород древесины, в том числе, пиломатериалов из лиственницы, а также для сушки товарных пиломатериалов до транспортной влажности при мягких режимах.

Сушилка рекомендована для применения на предприятиях по производству деревянных домов, столярно-строительных изделий, клееных деревянных конструкций и т. п. с годовым объемом сушки 40...200 тыс. м³ условных пиломатериалов. Ее можно применять и на лесопильных заводах, специализированных на производство товарных пиломатериалов.

Сушилка состоит из 2, 4-путных камер периодического действия проходного типа, в каждой из которых одновременно

высушивают 12 штабелей. Вместимость сушилки 368,4 м³ условных пиломатериалов. Годовая производительность при сушке нормальными режимами 34 000, форсированными — 45 600 м³ условных пиломатериалов.

Схема сушилки СП-2КП показана на рис. 24. Циркуляция сушильного агента вертикально-поперечная, реверсивная осуществляется осевыми реверсивными вентиляторами типа ЦАГИ серии У12 № 14, расположенными в верхнем рециркуляционном канале. На 1 штабель по длине установлено 3 вентилятора, т. е. 12 на камеру.

Электродвигатели вынесены за пределы камеры и установлены на специальной раме. Воздух от вентиляторов подается в верхний рециркуляционный канал, образуемый горизонтальным экраном и потолочными ограждающими конструкциями, проходит через биметаллические калориферы и попадает в вертикальный рециркуляционный канал, образованный специальными вертикальными перегородками и стеновыми ограждающими конструкциями.

Далее воздушный поток поступает в первые 2 ряда штабелей пиломатериалов, отдает часть тепла и увлажняется. Режимные параметры агента сушки при входе его во вторые 2 ряда штабелей восстанавливаются при прохождении через биметаллические калориферы, расположенные в сушильном пространстве, в промежутке между двумя рядами штабелей. В верхнем рециркуляционном канале через приточно-вытяжные трубы происходит частичный выброс в атмосферу отработанного воздуха и подсос свежего.

Регулирование параметров агента сушки и выдача команд исполнительным механизмам, установленным на паровой гребенке и приточно-вытяжных трубах, осуществляются автоматически. При уменьшении психрометрической разности система автоматики подает команду на открывание заслонок приточно-вытяжных труб, а при достижении психрометрической разности, заданной по режиму сушки, заслонки автоматически закрываются.

Реверсирование сушильного агента через заданное время осуществляется автоматически. Тепловое оборудование представлено специальными биметаллическими калориферами, установленными в верхнем рециркуляционном канале (основной калорифер) и в камере между двумя рядами штабелей (промежуточный калорифер).

Отличительная особенность камеры — отдельная регулируемая подача теплоносителя в основной и промежуточный калориферы, что позволяет более гибко регулировать параметры сушильного агента. Приточно-вытяжная система, предназначенная для удаления отработанного сушильного агента и подачи свежего воздуха, состоит из 3 труб с регулируемыми заслонками.

По ширине камеры установлены 3 приточно-вытяжные трубы,

канала. Помимо основного назначения, она предназначена для пожаротушения. Теплоносителем является насыщенный пар.

Отличительная особенность камеры — конструкция вентиляторного узла, представляющего собой съемный вентиляторный блок (см. главу 3). Он состоит из направляющей коробки, вентилятора с приводом от электродвигателя через цепную передачу, теплоизоляционного щита, гидравлической системы для смазки и охлаждения подшипников. Направляющая коробка крепится на перекрытии камеры и служит для установки вентиляторного блока в ней.

Для воздухообмена при сушке пиломатериалов камера оборудована приточно-вытяжной системой и трубами, на которых установлены заслонки, соединенные с электрическими исполнительными механизмами. В зависимости от направления вращения вентилятора функции каналов изменяются. Реверсирование осуществляет прибор КЭП-12У.

Конструкция одностворчатых дверей и откидных участков рельсов обеспечивает надежную герметизацию дверных проемов. В камере ВК-4 предусмотрено автоматическое регулирование температуры и психрометрической разности агента сушки с помощью регулирующих приборов.

Глава 3

ОБОРУДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

ОГРАЖДЕНИЯ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР И ДВЕРИ

Ограждения. По принципу устройства ограждений сушильные камеры подразделяют на сборно-металлические, изготавливаемые заводским способом, и камеры в строительных ограждениях (кирпичные, железобетонные, составные). Начиная с середины 1960-х гг. большое распространение на лесопильных заводах получили сборно-металлические камеры заводского изготовления.

Установка на предприятиях транспортабельных камер заводского изготовления позволяет значительно сократить сроки строительства, монтажа и наладки камер. При этом важным преимуществом металлических камер является полная комплектация оборудования на заводе-изготовителе. У потребителя необходимо выполнить строительные работы по подготовке площадки и фундамента, а также осуществить сборку и наладку.

Камеры в строительных ограждениях проектируют и строят в настоящее время редко. Сроки их проектирования и строительства длительны, комплектация необходимым технологическим оборудованием (вентиляторами, калориферами, средствами автоматизации) затруднена. Кроме того, современные типовые проекты на ранее освоенные камеры, например, типа ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-32 отсутствуют.

Обычно камеры в строительных ограждениях дешевле, но по указанным причинам для нового строительства более предпочтительны серийно выпускаемые сборно-металлические камеры. Поэтому далее основное оборудование рассматривается на примере сборно-металлических камер. В настоящее время многие из применявшихся камер в строительных ограждениях морально и физически устарели, нуждаются в реконструкции.

Организация централизованного изготовления такого технологического оборудования для лесосушильных камер, как тепловое, вентиляторное, контрольно-регулирующее, средства механизации, позволила бы не только производить реконструкцию действующих камер, но и ускорить строительство новых из типовых строительных ограждений.

Сборка зданий лесосушильных камер из готовых строительных элементов — плит, панелей, блоков и т. п. позволяет упростить технологию и улучшить качество строительных и монтажных работ, ускорить сроки ввода в эксплуатацию сушильных камер. Однако все это возможно при условии изготовления и поставки заказчиком необходимого сушильного оборудования.

При проектировании лесосушильных камер планировку зданий ведут с соблюдением стандартной сетки колонн. Но это требование не всегда выполнимо, особенно для камер непрерывного действия с поперечной закаткой штабелей. Поэтому допустимо и индивидуальное проектирование здания сушильного цеха. Основные требования к ограждению камер — это обеспечение герметичности, паронепроницаемости и необходимой теплоизоляции.

Герметичность камеры — необходимое условие для обеспечения поддержания заданных режимов сушки. Кроме того, внутренние поверхности ограждений не должны впитывать влагу, т. е. они должны быть паронепроницаемыми, иначе не только нарушается режим сушки, но и увеличивается теплопроводность ограждений, ухудшаются условия эксплуатации конструкций камеры. Герметичность ограждений, дверей, приточно-вытяжных каналов способствует уменьшению тепловых потерь, а следовательно, уменьшает удельный расход энергии на сушку.

Количество тепла, аккумулируемого камерой в период прогрева, в основном определяется теплофизическими показателями и массивностью материалов, используемых в ее конструкции. При разработке камер следует подбирать материалы для строительных ограждений камер с низким коэффициентом теплоусвоения, ориентируясь на применение облегченных конструктивных элементов с достаточной теплоизоляцией. Например, коэффициент теплоусвоения кирпичной кладки на порядок выше, чем у плит из минеральной ваты [28].

Тепловые потери через ограждения камер определяются величинами неорганизованного воздухообмена и теплопередачи. Неорганизованный воздухообмен возникает не только при неправильной работе приточно-вытяжных каналов, но также из-за

потерь агента сушки через неплотности в ограждениях камер, особенно через двери.

Должны предъявляться жесткие требования к теплотехническим характеристикам ограждающих конструкций лесосушильных камер. По рекомендациям проектных институтов, коэффициент теплопередачи ограждений должен быть не более $0,5 \dots 0,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$. Для обеспечения подобных характеристик ограждений при разработке и строительстве камер стремятся использовать материалы с небольшим коэффициентом теплопроводности. В ряде случаев для повышения термического сопротивления в конструкцию ограждений включают вентилируемые и неветилируемые воздушные прослойки.

В современных конструкциях сушилок ограждения, как правило, многослойные. Материалы ограждения должны располагаться в следующем порядке: к внутренней поверхности — материалы плотные, теплопроводные и малопаропроницаемые, к наружной поверхности — пористые, малотеплопроводные и более паропроницаемые.

Воздушная прослойка должна располагаться ближе к наружной поверхности. Термическое сопротивление ограждения должно удовлетворять требованию отсутствия конденсации влаги из агента сушки на внутренней поверхности ограждающих частей камеры. Некоторые из рекомендуемых вариантов исполнения ограждений приведены на рис. 27 [28].

При эксплуатации лесосушильных камер необходимо следить за состоянием ограждающих конструкций, своевременно восстанавливать наиболее часто разрушающийся внутренний пароизоляционный слой. Влага, проникающая в толщу ограждения камеры, из-за нарушения пароизоляционного слоя и значительной разницы в величинах парциального давления пара внутри и снаружи камеры резко увеличивает коэффициент теплопроводности материала.

Замерзание влаги внутри ограждений неблагоприятно не только с точки зрения увеличения тепловых потерь, но также из-за разрушения некоторых материалов в камерах со строительными ограждениями, вызываемого многократным чередованием циклов замерзания — оттаивания. В сушилках только увлажнение теплоизоляции может увеличить удельный расход тепла на сушку примерно на 10 %.

Для обеспечения необходимой долговечности оборудования и внутренних строительных ограждений лесосушильных камер необходимо применять конструкционные и защитные материалы, устойчивые к воздействию агента сушки древесины. Нельзя применять без надежных средств защиты стали обыкновенного качества и низколегированную.

Как показали исследования ЦНИИМОДа [29], среда лесосушильных камер имеет кислотный характер. Степень ее кислотности в зависимости от характеристик древесины и применяемых режимов сушки изменяется от слабокислой до кислой

(рН 3,4...4,2), что обусловлено в основном выделением летучих органических кислот при сушке древесины, таких, как муравьиная, уксусная, пропионовая.

Учитывая степень агрессивности среды, необходимо подбирать антикоррозионные материалы именно к агенту сушки. При этом нельзя допускать скопления конденсационной влаги на ограждениях камеры и оборудования, так как иначе коррозионные разрушения наступают в несколько раз быстрее. Также более подвержены коррозии поверхности, которые подвергаются воздействию быстродвижущихся потоков сушильного агента (более 2 м/с).

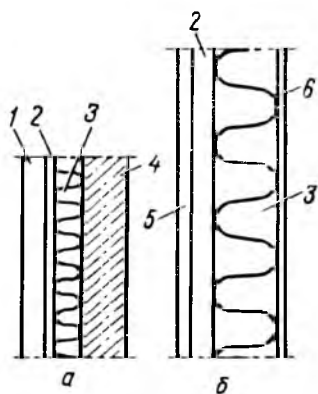


Рис. 27. Схемы ограждений строительных (а) и сборно-металлических (б) конструкций:
1 — рифленая алюминиевая пластина; 2 — воздушный зазор; 3 — изоляция; 4 — бетон; 5 — панель внешней облицовки; 6 — внутренняя листовая обшивка

Защитные лакокрасочные покрытия, рекомендуемые для условий низкотемпературного процесса сушки, и характеристика этих покрытий приводятся в табл. 6. Из сталей и сплавов, устойчивых к воздействию сушильного агента, к применению рекомендованы следующие: нержавеющие стали типов 12×13, 20×13, 12×18Н10Т; алюминий АДО; сплавы АМцб и АМц.

Например, в серийно выпускаемой п/о «Петрозаводскбуммаш» одноэтабельной лесосушильной установке УЛ-1 ограждения выполнены следующим образом. Установка собирается из 2 боковых и 2 торцевых (1 с дверью) металлических панелей, устанавливаемых на фундамент вертикально, и верхней секции.

Несущая часть панелей и верхней секции изготовлена из профильного стального проката. Каркасы панелей и секций снаружи облицованы алюминиевым сплавом марки АД1Н, ГОСТ 21631—76. Внутренняя обшивка выполнена цельносварной из листового алюминия АДОН, ГОСТ 21631—76. Между наружной и внутренней обшивками находится слой теплоизоляции. В стыках между панелями и секциями для обеспечения герметизации установлены прокладки из теплостойкой резины.

В двухкамерной сушилке периодического действия СПМ-2К, выпускаемой Ижевским экспериментально-механическим заводом Минлесбумпрома СССР, ограждающие конструкции

6. Характеристика лакокрасочных покрытий, устойчивых к воздействию агента сушки

Наименование покрытия	ГОСТ, ТУ или ВТУ	Пленкообразующая основа	Режимы сушки покрытия		Растворитель		Срок службы покрытия в ка-мерах, лет
			Температура, С	Продолжительность, ч	Основной	Заменитель	
Эмаль ФЛ-777	ТУ № НЧ-6-49-73	Эпоксидно-бакелитовая	60 17 . . . 22	2 24	РЗ-11	Смесь этиловый спирт и этилцеллозольва	5
Шпаклевка ЭП-00-10	ГОСТ 10277—62	Эпоксидная смола Э-40	18 . . . 23 60 . . . 70	24 7	Р-40	Смесь толуола с этилцеллозольвом (1 : 1)	5
Лак ГФ-95 с алюминиевой пудрой ПАК-4	ГОСТ 8018—70; ГОСТ 5494—71	Растительное масло, глифталевая смола	105 . . . 110; 150 . . . 180	2 1	Сольвент, ксилол	Смесь уайт-спирита с сольвентом и ксилолом (1 : 1)	3
Эмаль ПФ-115	ГОСТ 6465—63	Пентафталева-я смола	18 . . . 23 105 . . . 110	48	Сольвент, уайт-спирит, скипидар	Смесь сольвента, уайт-спирита и скипидара	2
Эмаль ПХВ-14	ГОСТ 6993—70	Перхлорвиниловая смола	18 . . . 23 60	1 0.5	Р-4	Смесь, %: ацетон — 26; толуол — 62; бутилацетат — 2	1
Краска ВТ-17	ГОСТ 5631—70	Битум	18 . . . 23 100	16 0.5	Уайт-спирит	Сольвент, скипидар	1

коридора управления и лаборатории выполнены в виде несущих стеновых и кровельных трехслойных панелей с каркасом из стандартных профилей и утеплением из полужестких минераловатных плит. Отопление коридора управления воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. Лаборатория обогревается отопительными приборами.

Завод изготавливает все узлы и детали сушилок из металла и комплектует необходимыми приборами, оборудованием и материалами. Материалы для возведения кровли, строительных и отделочных работ в комплект заводской поставки не входят. Каждая камера сушилки состоит из 2 цельносборных секций. Каждая секция представляет собой каркас, закрытый изнутри листами нержавеющей стали, а снаружи — алюминиевыми листами. Пространство между обшивками заполнено теплоизоляционным материалом.

В новой сушилке пиломатериалов проходного типа СП-2КП, разработанной ЦНИИМОДом и Гипродревом и изготавливаемой п/о «Петрозаводскбуммаш», ограждения, предназначенные для надежной теплоизоляции и герметизации внутреннего пространства сушилки, являются одновременно несущей конструкцией для установки ворот, приточно-вытяжных систем, психрометрических блоков и другого оборудования.

Ограждающие конструкции изготавливаются в панельном варианте. Каждая панель состоит из жесткой рамы, выполненной из стандартных профилей проката. Наружная поверхность панелей сделана из металлической сетки, удерживающей теплоизоляционный материал, являющийся наполнителем панели. Внутренняя поверхность панелей из листовой нержавеющей стали приварена герметичным швом к раме. Панели соединены болтами с применением резиновых прокладок. После сборки ограждающих конструкций все наружные поверхности панелей покрываются алюминиевыми листами.

Металлоконструкция камеры состоит из вертикальных стоек, установленных на фундаменте сушилки, и ряда горизонтальных балок, опирающихся на стойки. Для создания горизонтального экрана, образующего верхний рециркуляционный канал, балки обшиты листами из нержавеющей стали.

В ранее изготавливавшихся камерах непрерывного действия типа СП-54М заводом «Ижтяжбуммаш» и намеченных к выпуску новых камерах типа СП-5КМ-3 (разработки ЦНИИМОДа и Гипродрева) сборно-металлический каркас монтируется из панелей, внутренняя обшивка стеновых и потолочных панелей, конструкции ложного потолка изготовлены из углеродистой стали, защищены от коррозии и окрашены. Стеновые панели снаружи обшиты листовым профильным алюминием и утеплены матами из стекловолокна.

Двери. Особые требования предъявляются к дверям (воротам) сушильных камер, так как даже при надежной герметизации ограждений камеры неудовлетворительная конструкция дверей

приведет к утечке сушильного агента через неплотности, что вызовет и нарушение режимов сушки и, как следствие, неравномерность просыхания пиломатериалов по объему штабелей и увеличение расхода тепла на сушку.

Размер дверных полотен определяется габаритными размерами штабеля, поэтому существуют более 10 видов конструктивного оформления дверных полотен для различных камер. Конструкция дверей должна обеспечивать легкость открывания и герметичность. Этим требованиям наиболее полно отвечают двери откатной конструкции. Рекомендуются откатные двери

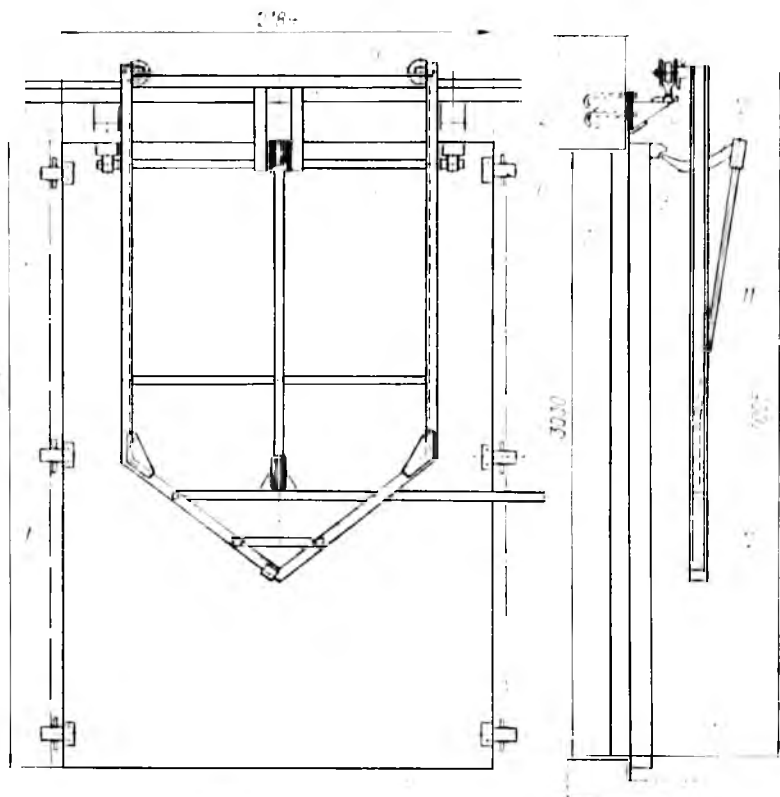


Рис. 28. Дверь сушильной камеры с механизмом для передвижения (для камер типа ЦНИИМОД-32):

1 — щит; 2 — подъемно-передвижная каретка; 3 — вал; 4 — ролики; 5 — рельс; 6 — прижимы; 7 — металлическая коробка; 8 — подвески; 9 — кулачок; 10, 11 — тяги; 12 — рычаг

с механическим подъемом и передвижением разработки Гипродрева для камер с поперечной и продольной загрузкой.

Для единичных камер периодического действия могут быть приняты распашные одностворчатые двери разработки Гипродревпрома. При компоновке блока из нескольких камер целесообразны откатные дверные полотна с механическим приводом.

На рис. 28 показан общий вид подъемно-щитовых дверей конструкции Гипродрева для камер непрерывного действия с продольной закаткой штабелей. Дверь в виде цельного щита подъемно-передвижным механизмом устанавливается в металлической коробке камеры. Она запирается рычажно-поворотными прижимами. Для открывания дверей через тяги рычагом поворачивают вал с насаженными на него кулачками, упирающимися в подвески дверного полотна. Дверь поднимается и отходит от коробки, а затем откатывается в сторону вместе с кареткой, движущейся на роликах по рельсу. Масса дверей около 125 кг.

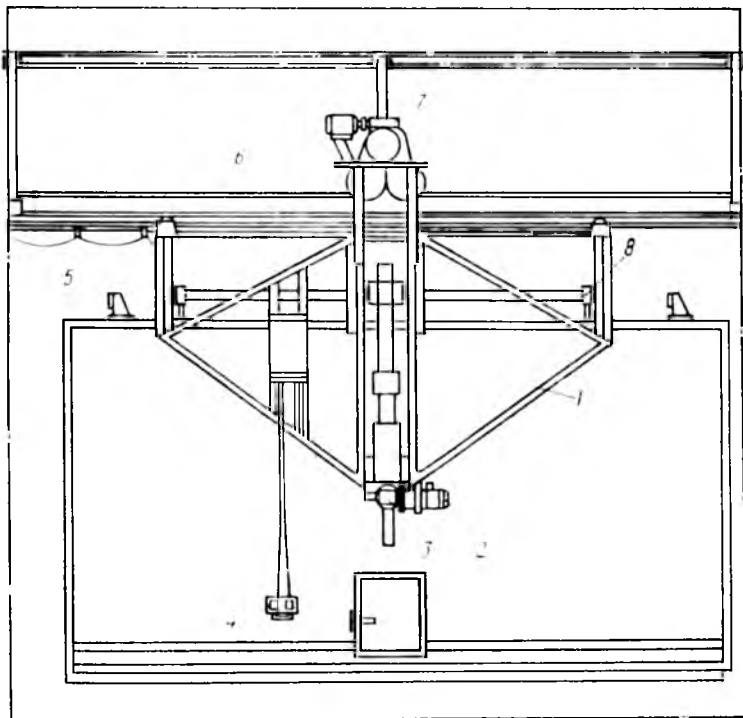


Рис. 29. Подъемно-сдвижное устройство дверей сушилки «Валмет»:
 1 — рама; 2 — электродвигатель; 3, 7 — червячные передачи; 4 — кнопочная станция; 5 — дверь; 6 — стальной трос; 8 — подъемные рычаги

Для камер непрерывного действия с поперечной закаткой штабелей, где ширина дверного проема 7 м, двери имеют большую массу, поэтому их оборудуют электро- или гидроприводом.

Сушилки непрерывного действия типа «Валмет» с поперечной закаткой штабелей имеют двери каркасного типа (рама каркаса из профильной стали). Снаружи двери обшиты строгаными досками толщиной около 20 мм, пропитанными антисеп-

тиком, с внутренней стороны покрыты алюминиевыми листами толщиной 1,5 мм. В качестве изоляции используют щиты из стекловолокна толщиной 100 мм.

Подъемно-сдвижное устройство дверей (рис. 29) представляет собой раму, изготовленную из профильной стали. В качестве подъемного механизма служит червячная передача с приводом от электродвигателя. Подъем дверей обеспечивают подъемные рычаги. Дверь поднимается из нижнего положения на 30 см вверх и отходит на 20 см назад, отделяясь от уплотняющих поверхностей. После подъема дверь сдвигается в бок с помощью червячной передачи, открывая дверной проем.

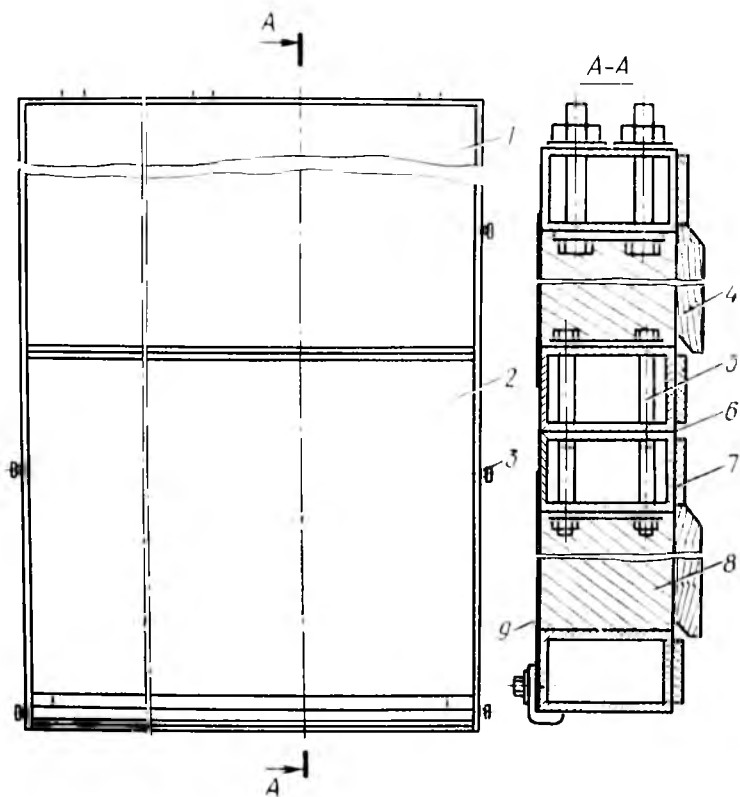


Рис. 30. Секционная дверь линий сушки «Валмет»:

1, 2 — верхняя и нижняя секции двери соответственно; 3 — ролик; 4 — пропитанные пиломатериалы; 5 — болт; 6 — уплотнения; 7 — профильный листовый алюминий; 8 — теплоизоляция; 9 — листовый алюминий

По всей длине блока камер протянут стальной трос, закрепленный за крайние опоры сушилки. За счет трения между ведущим шкивом и тросом подъемно-сдвижное устройство передвигается вместе с дверью. Подъемное устройство оборудовано

конечными выключателями, которые останавливают двери как в верхнем, так и в нижнем положении. Конечные выключатели подъемного механизма заблокированы со сдвижным устройством так, что оно не включается, пока подъемный механизм находится в промежуточном положении.

Камеры непрерывного действия, входящие в состав линий сушки «Валмет», с высотой штабелей 5 м имеют с разгрузочного и загрузочного концов двери секционный типа (рис. 30). Сварная рама двери изготовлена из профильного листового алюминия. Снаружи двери обшиты пропитанными антисептиком

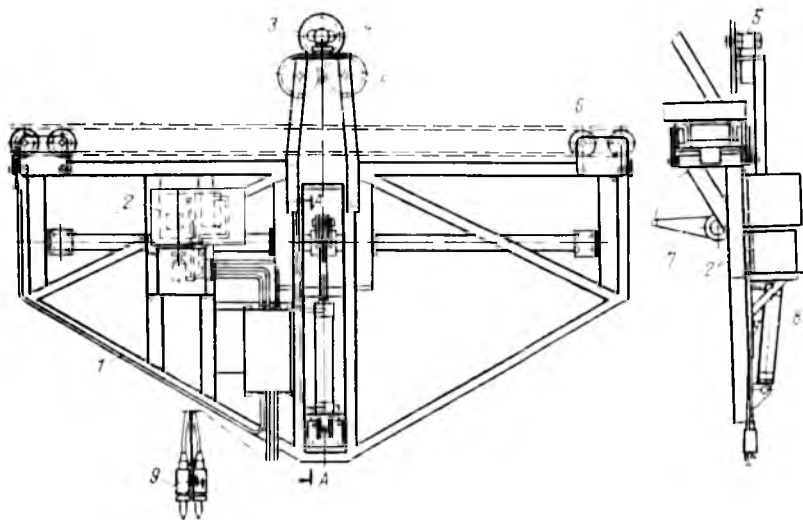


Рис. 31. Подъемно-передвижное устройство:

1 — рама; 2 — гидроагрегат; 3 — приводной блок; 4 — гидродвигатель; 5 — направляющий блок; 6 — ходовая каретка; 7 — коромысло; 8 — гидроцилиндр; 9 — подвесной пульт управления

сосновыми пиломатериалами толщиной 20 мм, а изнутри покрыты алюминиевыми листами марки А-99,5 толщиной 2,5 мм.

Дверь собирают из 2 секций и крепят болтами. Внутри двери теплоизолированы щитами из стекловаты толщиной 100 мм. Двери плотно прилегают к торцу камеры с помощью роликов и консолей, имеющих уклон 55° . Дверь собственным весом прижимается к дверному каркасу. По периметру притвора двери уплотнены резиновым шлангом. Шланг прикреплен к дверным косякам болтами, что значительно облегчает замену его при ремонте.

Двери снабжены подъемно-передвижным устройством с электрогидравлическим приводом. Подъемно-передвижное устройство перемещается по швеллерам, расположенным над дверями. Швеллеры крепят с двух сторон к зданию сушильного блока. Под швеллерами закреплен рельс, по которому на каретках пе-

редвигается электрокабель. Расстояние между опорами кабеля 1600 мм, на концах кабельного пути имеются державки и конечные останочные устройства.

На раме подъемно-передвижного устройства (рис. 31) установлены гидроагрегат (электродвигатель и насос), гидроцилиндр с коромыслом, гидро- и электроаппаратура, гидродвигатель, ходовая каретка, приводной и направляющие блоки. Для перемещения устройства вправо и влево, а также для подъема и опускания двери необходимо нажать на соответствующие кнопки подвесного пульта управления. При этом запускается гидроагрегат, приводится в работу гидронасос и начинает вращаться приводной блок.

За счет сил трения между блоком и тросом подъемно-передвижное устройство будет перемещаться по швеллерам. При нажатии на кнопку подъема двери гидроагрегат подает масло в верхнюю полость гидроцилиндра, шток которого опускается и поворачивает захваты коромысла вверх. Захваты входят в крюки двери, дверь поднимается и сдвигается от проема. Двери оборудованы конечными выключателями. Когда двери поднимаются, выключатели срабатывают и останавливают вентиляторы, когда закрываются — вновь включают их в работу. В пусковом устройстве находится механизм времени замедления, который позволяет настраивать время замедления в пределах 5...8 с.

ВЕНТИЛЯТОРЫ

Вентиляторы в современных сушильных камерах — основное оборудование, от правильного выбора и установки которого зависит как производительность камер, так и качество сушки пиломатериалов. Вентиляторы используют для создания необходимой скорости воздуха (газа) внутри сушильного пространства камер и через штабеля высушиваемых пиломатериалов.

По принципу работы вентиляторы разделяют на два класса: центробежные и осевые. Центробежные вентиляторы состоят из кожуха спиральной формы, укрепленного на станине, и ротора (рабочего колеса) (рис. 32, а). При вращении ротора воздух через отверстие в боковой стенке кожуха засасывается в середину ротора и под действием центробежной силы выбрасывается через выхлопное отверстие под прямым углом к направлению всасывания.

Центробежные вентиляторы общего назначения разделяются на три группы: 1) низкого давления (до 1000 Па); 2) среднего давления (от 1000 до 3000 Па); 3) высокого давления (от 3000 до 10 000 Па). Изготавливают центробежные вентиляторы правого и левого вращения с различным расположением кожуха вентилятора в зависимости от ориентации выхлопного патрубка. Кроме того, вентиляторы различают по аэродинамическим схемам ротора и кожуха. Вентиляторы, изготовленные по одной

тиляторы изготавливают из черной нержавеющей стали или с алюминиевым кожухом.

Эксплуатируемые в промышленности паровые лесосушильные камеры периодического действия эжекционного типа, как правило, оснащены центробежными вентиляторами [19]. Прежде эти камеры оснащались вентиляторами № 8 и № 10, в проекте модернизированной камеры предусматривается установка вентилятора № 12 или № 12,5. На рис. 32, б и в табл. 7 приведены основные габаритные и установочные размеры центробежных вентиляторов серии Ц4-70 №№ 8, 10 и 12,5.

В сборно-металлических камерах непрерывного действия применяют осевые вентиляторы с приводом, расположенным в циркуляционном канале. Это ограничивает применяемость камер, так как в них можно сушить пиломатериалы только мягкими режимами (с температурой не выше 55 °С).

С целью повышения надежности работы вентиляторного узла при использовании нормальных и форсированных режимов сушки приводы вентиляторов выносят за пределы камеры. Для упрощения конструкции привода вентиляторов и обеспечения необходимого напора потока сушильного агента можно использовать центробежные вентиляторы, установленные в области поворота потока сушильного агента из сушильной зоны в рециркуляционный канал.

В лесосушильных установках осевые вентиляторы получили наибольшее применение. Они обладают некоторыми преимуществами по сравнению с центробежными вентиляторами. В частности, их можно устанавливать внутри циркуляционного канала и обеспечивать непосредственное побуждение агента сушки в лесосушильной установке. Производительность осевых вентиляторов значительно выше, чем центробежных того же номера, а габаритные размеры и масса меньше.

Осевой вентилятор представляет собой диск со втулкой, на котором закреплены под некоторым углом профильные лопасти. Диск с лопастями (рабочее колесо вентилятора) вращается внутри цилиндрического кожуха, называемого обечайкой. Осевой вентилятор перемещает воздух прямолинейно вдоль оси вращения рабочего колеса.

Осевые вентиляторы, как и центробежные, различаются по типам, сериям и размерам (номерам). Вентиляторы каждой серии характеризуются формой поперечного сечения лопасти и относительной величиной диаметра втулки-диска, на котором крепятся лопасти вентиляторного колеса. Чем больше диаметр втулки-диска по отношению к диаметру всего вентиляторного колеса, тем выше развиваемое полное давление. В пределах каждой серии вентиляторы отличаются диаметром колеса и углом поворота лопаток к плоскости вращения.

Размер осевого вентилятора определяется его номером, который, как и у центробежных вентиляторов, означает число дециметров в диаметре рабочего колеса. Колесо диаметром

7. Габаритные и установочные размеры центробежных вентиляторов Ц4-70, мм

№ вентилятора	b	b	b_2	b_1	b_1	l	l	C	C_1	C_2	C_1	C_1	d	h	Масса, кг
8	718	530	802,5	618	762	1275	385,5	720	520	500	600	964,5	19	930	370
10	893	658,5	1003,5	708	884	1440	451,5	840	650	540	720	1146,5	24	1141,5	580
12,5	1112	815	1228	981	1124	1785	544,5	1080	812,5	750	785	1261	24	1440	800

Продолжение табл. 7

№ вентилятора	Фланец выходного патрубка					Фланец входного патрубка			Число отверстий $л_2$
	Размеры, мм			Число		Размеры, мм			
	A	A_1	C_1	шагов $л$	отверстий $л_1$	D	D_1	D_2	
8	560	635	152	4	16	800	850	880	24
10	700	700	150	5	20	1000	1060	1080	24
12,5	875	961	116	8	32	1250	1300	1330	32

1000 мм, или 10 дм, будет иметь номер 10, а диаметром 1250 мм — соответственно номер 12,5. Высоконапорный вентилятор серии В применяют в сушильных камерах эжекционного типа, эксплуатируемых на многих деревообрабатывающих предприятиях. В сушильной технике нашли широкое применение 12-лопастные осевые вентиляторы серии У, вентиляторы серии УК2М и серии В-2, 3-130, обладающие сравнительно высокими КПД. На рис. 33 представлен общий вид осевого вентилятора серии У-12 и его основные элементы.

Эти вентиляторы применяют в камерах как непрерывного, так и периодического действия. В камерах периодического дей-

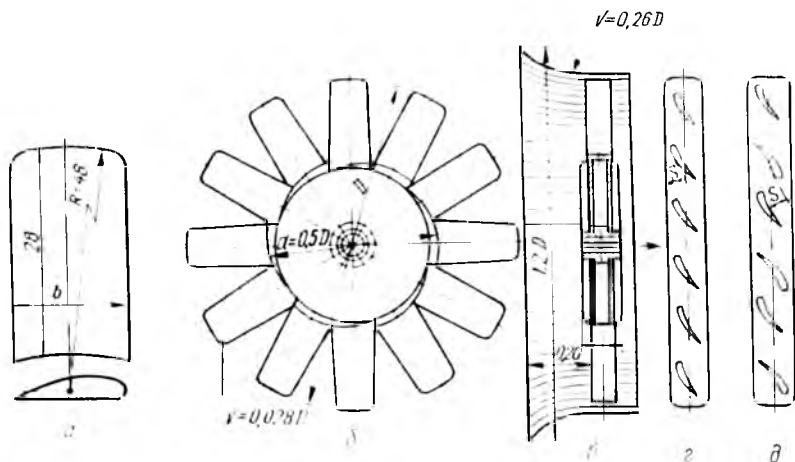


Рис. 33. Осевой вентилятор серии У-12:

a — лопасть и ее профиль; *б* — колесо; *в* — поперечный разрез колеса и обечайки; *г* — развертка посадки лопастей под углом s° ; *д* — развертка посадки лопастей реверсивного вентилятора

ствия эти вентиляторы переоборудуются в реверсивные путем установки лопаток через одну на 180° (рис. 33, *д*), лопасти должны вращаться тупыми кромками и плоскими сторонами вперед.

На рис. 34 представлена аэродинамическая характеристика осевых вентиляторов серии У. Указанной характеристикой можно пользоваться и при подборе реверсивных вентиляторов, в этом случае производительность уменьшается на 10 %, давление на 15 %. Вентиляторы серии У в реверсивном исполнении изготавливают заводы — изготовители сушилок УЛ-1, УЛ-2М и СПМ-2К только для их комплектации. Как отдельный агрегат вентиляторные установки машиностроительная промышленность не изготавливает, хотя потребность в них очень велика.

Гипродревом разработано съемное вентиляторное устройство (рис. 35). Такой вентиляторный узел использован, например,

в камерах периодического действия в строительных ограждениях типа ВК-4 (проект Гипродрева). Привод вентилятора от электродвигателя через цепную передачу, расположенную в герметичном картере, заполненном маслом. Электродвигатель расположен вне камеры, над чердачным перекрытием, что и является главным преимуществом этого вентиляторного узла. Недостаток — невысокая надежность работы цепной передачи при

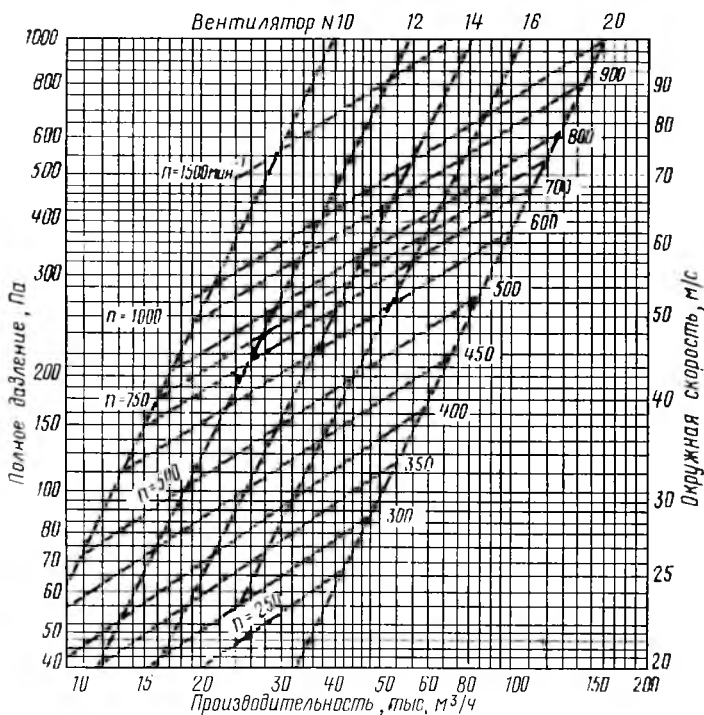


Рис. 34. Аэродинамическая характеристика осевых вентиляторов серии У

высоких скоростях. Техническая характеристика устройства приведена ниже.

Техническая характеристика съемного вентиляторного устройства

Вентилятор	
тип	У12 № 10
производительность, м³/ч	до 35 000
частота вращения, мин ⁻¹	1450
напор, Па	280 . . . 300
Установленная мощность электродвигателя, кВт	7,5
Система смазки	принудительная с воздушным охлаждением масла

Эти съемные вентиляторные устройства можно применять и в камерах непрерывного действия.

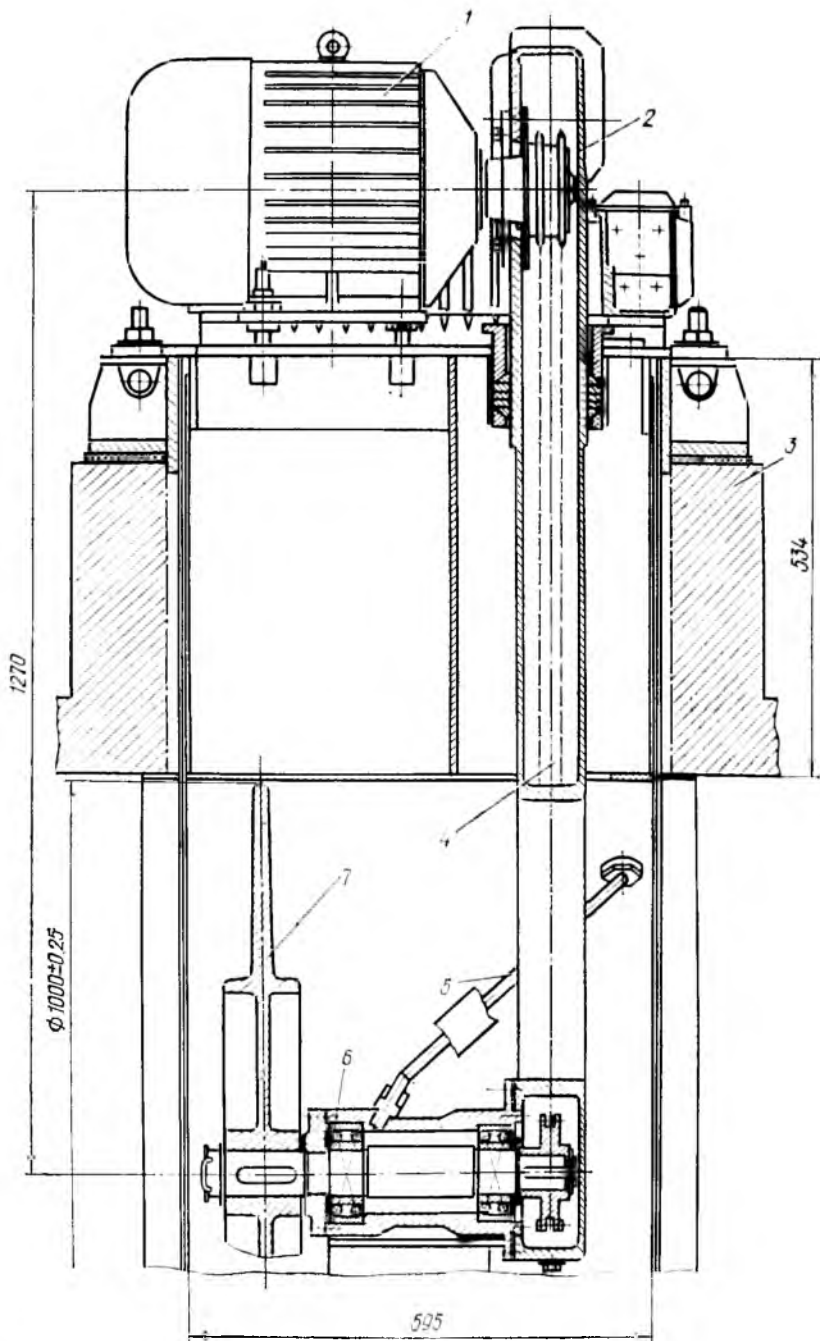


Рис. 35. Съемное вентиляторное устройство:

1 — электродвигатель; 2 — картер; 3 — перекрытие камеры; 4 — цепь; 5 — маслопровод; 6 — подшипниковый узел; 7 — вентилятор

Калориферы предназначены для создания и поддержания в камерах необходимого режима сушки. В калориферах осуществляется нагрев сушильного агента теплоносителем, которым служит пар или горячая вода.

Основные требования, предъявляемые к калориферам лесосушильных камер:

тепловая мощность, достаточная для поддержания в камере температуры, требуемой по режиму сушки;

минимальное аэродинамическое сопротивление потоку агента сушки при наибольшем съеме тепла и равномерной подаче его в сушильное пространство камеры;

возможность плавного и надежного регулирования количества передаваемого тепла;

простота и доступность обслуживания нагревательных устройств;

минимальные первоначальные и эксплуатационные затраты; коррозионная стойкость к среде лесосушильных камер.

Существующие лесосушильные камеры оборудуются калориферами нескольких типов, которые не отвечают большинству из перечисленных требований. Отсутствует унификация калориферов, специально для лесосушильных камер их не выпускают. Наиболее распространенными устройствами для нагрева агента сушки являются теплообменники, набираемые из чугунных ребристых труб, и сантехнические калориферы, выпускаемые для системы приточной вентиляции и кондиционирования воздуха.

Стандартные калориферы. Достоинством теплообменников из чугунных ребристых труб является высокая коррозионная стойкость к среде лесосушильных камер. Однако тепловая эффективность их низка, что обуславливает высокую металлоемкость, а большое число фланцевых соединений создает определенные трудности при их монтаже и эксплуатации. Чугунные ребристые трубы промышленность выпускает по ГОСТ 1816—76.

Технические характеристики их следующие: строительная длина труб $L=1; 1,5$ и 2 м, поверхность F нагрева одной трубы соответственно $F=2; 3$ и 4 м²; ребра литые, круглые с наружным диаметром $d=175$ мм, высотой ребра $h=45,5$ мм и шагом ребер $t=20$ мм; внутренний диаметр трубы $d_{\text{вн}}=70$ мм; удельная металлоемкость трубы, т. е. расход массы металла G , кг, на 1 м² поверхности нагрева, составляет $m=G/F=18,84$ кг/м².

Трубы рассчитаны на рабочее давление пара $0,7$ мПа. Требуемую поверхность нагрева калорифера формируют из секций, которые группируют из отдельных чугунных труб, соединяемых последовательно или параллельно внутри секции. При монтаже должен быть соблюден уклон не менее $0,01$ в направлении движения конденсата.

В современных сборно-металлических камерах, выпускаемых

машиностроением, калориферы из чугунных ребристых труб из-за присущих им недостатков не применяются. Стальные стандартные калориферы заводского изготовления с теплопередающей поверхностью трубчато-пластинчатой или трубчатой спирально-ребристой выпускают по ГОСТ 7201—80. По роду теплоносителя их разделяют на паровые (КП) и водяные (КВ).

Для парового обогрева изготавливают только одноходовые калориферы с вертикальным расположением трубок, многоходовые предназначены для водяного обогрева. Калориферы стальные моделей КВБ, КЗПП, К4ПП, КФСО, КФБО, КЗВП, К4ВП, КМС, КВС-П и КВБ-П применяют для нагревания воздуха в системах вентиляции, воздушного отопления, кондиционирования воздуха и в сушильных установках. В зависимости от конструкции калориферы выпускают в одноходовом и многоходовом исполнении. При подборе следует уточнять номера выпускаемых калориферов.

Калориферы модели КВС-П и КВБ-П могут быть использованы при рабочем давлении теплоносителя до 1,2 МПа, все другие модели — до 0,8 МПа. В сушильных установках наибольшее применение нашли пластинчатые калориферы, средней (КФС) и большой (КФБ) моделей, одноходовые по воде, а также многоходовой калорифер КМС, характеризующийся коридорным расположением трубок в пучке.

В калориферах КФС и КМС число z поперечных рядов труб по ходу воздуха 3, а у калорифера КФБ — 4.

Поверхность нагрева этих калориферов изменяется от 9,9 до 60,9 м², удельная металлоемкость m составляет 5,4...4 кг/м². Наряду с указанными моделями в сушильных камерах устанавливают и пластинчатые универсальные калориферы большой модели КВБ, где $z=3$.

Сравнение по теплоаэродинамическим характеристикам показало, что самые низкие теплотехнические показатели имеют калориферы КФБ, а наилучшие — калориферы КВБ [32]. Коэффициент теплопередачи последних в 1,68...1,27 раза выше по сравнению с КФБ. Стандартные стальные калориферы КФБО и КФСО по коэффициенту теплопередачи равноценны калориферу КВБ, а аэродинамическое сопротивление их в 3...2,8 раза выше.

Теплопередающая поверхность калориферов КФБО и КФСО состоит из круглых труб с навитой на них в холодном состоянии стальной лентой толщиной 0,5 мм. Большая часть ленты по высоте имеет гофры с максимальной амплитудой у основания ребра. Расположение труб в пучке — шахматное, что повышает коэффициент теплопередачи в 1,4...1,7 раза по сравнению с коридорной разбивкой при равных значениях скорости. Конструктивные и режимные характеристики стандартных калориферов приведены в работе [32].

Стандартные пластинчатые калориферы, несмотря на сравнительно невысокую стоимость и доступность, не удовлетво-

руют требованиям камерной сушки пиломатериалов, так как они ненадежны при эксплуатации в лесосушильных камерах из-за коррозии стальных труб во влажной среде сушильного агента с примесью химически активных веществ. По данным Гипродрева и Гипродревпрома, срок службы пластинчатых калориферов в лесосушильных камерах составляет примерно 2... 3 года.

Калориферы из оребренных биметаллических труб. Удовлетворительной коррозионной стойкостью в слабокислой среде сушильного агента обладают алюминий и его сплавы. Следовательно, стальная труба, защищенная снаружи алюминиевой ребристой оболочкой, обтекаемой сушильным агентом, образует теплопередающую поверхность, удовлетворяющую требованиям сушильной техники. Такие биметаллические трубы и теплообменники из них выпускает, например, Таллинский машиностроительный завод им. Лауристана.

Исследованиями и практикой подтверждена высокая энергетическая эффективность биметаллических труб с накатными ребрами при применении их для калориферов и воздухонагревателей [28].

Повышенная тепловая эффективность шахматных пучков из биметаллических ребристых труб по сравнению с пучками труб в калориферах типа КФС и др. в сочетании с высокой механической прочностью и теплостойкостью оребрения, оптимальным по тепловым требованиям профилем поперечного сечения ребра способствовали применению таких труб в промышленном калориферостроении.

Костромской калориферный завод освоил производство биметаллических калориферов типа КСк-3-6... 12-02ХЛЗ и КСк4-6... 12-02ХЛХ, в которых теплоносителем является горячая или перегретая вода. Калориферы предназначены для нагревания воздуха в системах вентиляции и воздушного отопления.

Калориферы имеют трубные решетки, к которым приварены трубки, крышки с перегородками и съемные боковые щитки, прикрепленные к торцам трубных решеток болтовыми соединениями. Многоходовое движение теплоносителя организуется перегородками, установленными в распределительно-сборных коллекторах.

У калориферов КСк3 число z поперечных рядов трубок по направлению движения воздуха 3, у калориферов КСк4 — 4. Число ходов теплоносителя для всех случаев составляет 6. По присоединительным размерам, которые соответствуют ГОСТ 7201—80, калориферы состоят из 7 типоразмеров, обозначенных порядковыми номерами 6... 12.

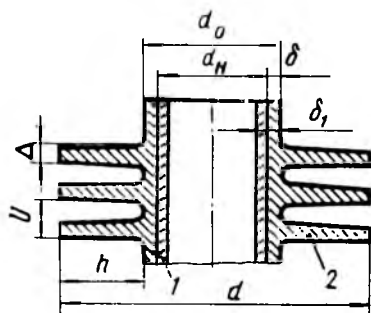
Теплопередающая поверхность калориферов состоит из биметаллических труб с накатными алюминиевыми ребрами (рис. 36) следующих параметров, мм: $d=39$; $d_0=20$; $h=9,5$; $U=3,4$; средняя толщина ребра $\Delta=0,825$; коэффициент оребре-

ния $\varphi=9,5$ (показатель увеличения поверхности трубы по воздушной стороне за счет оребрения).

Несущая труба диаметром $16 \times 1,2$ мм стальная. Расположение труб шахматное с поперечным шагом по фронту калорифера $S_1=41,5$ мм и продольным шагом по направлению движения воздуха $S_2=36$ мм. По данным завода-изготовителя, срок службы калориферов составляет 10,5 лет.

Наряду с водяными завод выпускает и паровые биметаллические воздухонагреватели типа КПЗ-6...12-СК-01УЗ. По направлению движения воздуха они имеют $z=3$ (КПЗ) и $z=4$ (КП4) рядов трубок. Конструктивно проточная часть по пару одноходовая, что позволяет обеспечивать в рабочем положении вертикальную установку теплопередающих трубок.

Рис. 36. Биметаллическая труба с накатными ребрами:
1 — несущая гладкая труба; 2 — накатное ребро (ребристая оболочка)



Теплопередающая поверхность калорифера выполнена из биметаллических труб с накатными алюминиевыми ребрами, параметры которых те же, что и у трубок водяных биметаллических калориферов этого же завода. Расположение труб в пучке шахматное с шагом $S_1=41,5$ мм и $S_2=36$ мм.

Рассматриваемые паровые воздухонагреватели, у которых с водяными биметаллическими калориферами одинаковые рядность и номер, имеют и одинаковые величины поверхности теплообмена по воздушной стороне, массу, фронтальное сечение для прохода воздуха. Общее число трубок в пучке для калориферов обоих типов также одинаково. Поэтому сечение для прохода пара в воздухонагревателях типа КПЗ и КП4 равно шестикратному значению этой характеристики соответственно для калорифера КСк3 и КСк4.

Срок службы паровых биметаллических воздухонагревателей составляет 6 лет. Коэффициент теплопередачи их в 1,3...1,5 раза превышает теплопередачу лучшего сантехнического калорифера типа КВБ.

Однако для лесосушильных камер паровые биметаллические калориферы, выпускаемые Костромским калориферным заводом, из-за большого аэродинамического сопротивления 3 и 4-рядных пучков с тесными трубными шагами могут найти лишь

ограниченное применение, например для камер непрерывного действия.

Улучшение показателей биметаллических калориферов может быть достигнуто применением трубок с коэффициентом оребрения $\varphi > 10$. В результате исследований Архангельского лесотехнического института (АЛТИ) совместно с ЦНИИМО-Дом обоснована целесообразность применения для нагрева агента сушки биметаллических калориферов из оребренных труб с алюминиевыми накатными ребрами и коэффициентом оребрения $\varphi = 15 \dots 20$ [28, 33, 34].

Так как в калориферах лесосушильных камер из-за ограничений по аэродинамическому сопротивлению применимы лишь малорядные и сравнительно редкие пучки, то в АЛТИ проводили специальные стендовые исследования калориферов различных моделей для получения их теплотехнических и аэродинамических параметров.

На основании этих разработок ЦНИИМОД совместно с АЛТИ предложили и выдали заводу-изготовителю эскизы и расчеты биметаллического калорифера для лесосушильной установки УЛ-1, выпускаемой НПО «Петрозаводскбуммаш». Такие же калориферы завод устанавливает и в новой сушильной установке УЛ-2М. Биметаллические калориферы начали применять и в сушилках СПМ-2К, выпускаемых Ижевским ЭМЗ Минлесбумпрома СССР. Во вновь проектируемых камерах также предусмотрено применение биметаллических калориферов.

Для обоснования выбора калорифера и поверхности нагрева с целью обеспечения требуемой тепловой мощности и допустимого аэродинамического сопротивления калориферной установки при проектировании лесосушильных камер разработана методика расчета пучков из оребренных труб при различных геометрических характеристиках и диапазонах скоростей циркуляции сушильного агента [35].

Анализ интенсивности теплообмена внутри труб водяных и паровых калориферов показывает, что коэффициент теплоотдачи достигает $1750 \dots 3000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Приведенный коэффициент теплоотдачи от оребрения к воздуху в диапазоне применяемых скоростей циркуляции сушильного агента достигает $50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Известно, что диапазон значения коэффициента увеличения площади поверхности трубы по воздушной стороне F за счет оребрения по отношению к площади внутренней поверхности трубы F_1 должен удовлетворять условию $\psi = F/F_1 = 1/2 \alpha_1/\alpha$. В нашем случае диапазон изменения ψ составляет $17,5 \dots 30$. Рекомендуемые значения ψ обеспечиваются при следующих геометрических размерах, мм, труб и ребер.

Первый типоразмер: наружный диаметр несущей трубы $d_n = 25$; внутренний $d_1 = 22$; толщина стенки трубы $\delta_1 = 1,5$; наружный диаметр ребра $d = 56$, высота, шаг и средняя толщина ребра соответственно $h = 14$, $U = 3$ и $\Delta_{\text{ср}} = 0,6$; диаметр у основа-

ния ребер $d_0=28$; толщина стенки ребристой алюминиевой оболочки $\delta=(d_0-d_n)/2=1,5$; коэффициент оребрения трубы $\varphi=15,2$.

Второй типоразмер: $d_n=25$; $d_1=22$; $\delta_1=1,5$; $d=57$; $h=15,2$; $U=2,5$; $\Delta_{cp}=0,5$; $d_0=26,6$; $\delta_1=0,8$; $\varphi=20,4$.

Третий типоразмер: параметры соответствуют второму типоразмеру, но шаг оребрения $U=2,75$; $\varphi=18,7$.

Рекомендуемые типоразмеры ребер можно получить из исходной алюминиевой гладкой заготовки с наружным диаметром $d_3 \times \delta_3 = 37 \times 5,3$ мм для $\varphi=15,2$ и $38 \times 5,8$ мм для $\varphi=18,7 \dots 20,4$. Для промежуточных калориферов целесообразно применять биметаллические трубы следующих типоразмеров, мм: несущая стальная труба диаметром $d_n/d_1=38/35$; $d=70$; $h=14,5$; $\Delta_{cp}=0,7$; $d_0=41$; $\delta=1,5$, шаг оребрения назначать $U=3$ для $\varphi=14,2$ или $U=2,75$ для $\varphi=15,4$.

Исходной заготовкой для оребрения служит алюминиевая гладкая труба диаметром 57 мм с толщиной стенки 9 мм. Коэффициент оребрения трубы вычисляют по формуле

$$\varphi = 1 + \frac{2h}{\delta d_0} (d_0 + h + \Delta_{cp}), \quad (2)$$

а его связь с коэффициентом увеличения поверхности трубы имеет вид

$$\varphi = \psi (d_n - 2\delta_1) / d_0 = d_1 / (d_0 \psi). \quad (3)$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи α_k от оребрения к воздуху для шахматных пучков из труб поперечно обтекаемых с круглыми шайбовыми или спиральными навивными ребрами определяют по обобщенному критериальному уравнению

$$Nu = 0,132 C_z \left(\frac{S_1 - d_n}{S_2' - d_0} \right)^{0,2} \left(\frac{d_n}{U} \right)^{-0,54} \left(\frac{h}{U} \right)^{-0,14} Re^{0,73}, \quad (4)$$

где $Nu = \alpha_k U / \lambda$ — число Нуссельта; C_z — поправочный коэффициент на число z рядов труб по ходу движения воздуха в пучке; S_1 — поперечный шаг разбивки труб в пучке; $S_2' = \sqrt{(S_1/2)^2 + S_2^2}$ — диагональный шаг разбивки труб в пучке; S_2 — продольный шаг разбивки труб в пучке; $Re = \omega U / \nu$ — число Рейнольдса; ω — скорость воздуха в узком сечении пучка, м/с;

Физические константы воздуха λ — теплопроводность, ν — кинематическая вязкость принимают по его средней температуре в пучке. Численные значения C_z следующие: для однорядных пучков $C_z=0,8$ при $z=1$; для двухрядных $C_z=0,86$ при $z=2$, $C_z=0,925$ при $z=3$, $C_z=0,945$ при $z=4$; $C_z=0,97$ при $z=6$ и $C_z=1,0$ при $z \geq 10$. Приведенный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной наружной теплоотдающей поверхности F трубы, вычисляется так

$$\alpha = \alpha_k \left(\frac{F_p}{F} E \mu \psi' + \frac{F_{TP}}{F} \right), \quad (5)$$

где $F_{TP} = \pi d_0 (1 - \Delta_{cp} n)$ — площадь поверхности несущей трубы длиной 1 м, не

занятая ребрами, $\text{м}^2/\text{м}$; $F_p = \frac{\pi n}{2} (d^2 - d_0^2)$ — площадь поверхности ребер, $\text{м}^2/\text{м}$; $F = F_{\text{тр}} + F_p$ — площадь полной наружной поверхности 1 м оребренной трубы, $\text{м}^2/\text{м}$; $n = 1000/U$ — число ребер на длине 1 м, шт/м; μ — коэффициент формы ребра; $E = f[h\sqrt{2\alpha_k/(\lambda_p \Delta_{\text{ср}})}, d/d_0]$ — коэффициент эффективности круглого ребра, определяемый по соответствующим графикам [36]; λ_p — коэффициент теплопроводности материала ребра, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Для ребер прямоугольного сечения и близких к нему $\mu = 1$. Коэффициент неравномерности распределения теплоотдачи по поверхности ребра рассчитывается по выражению

$$\psi' = 1 - 0,058h \sqrt{2\alpha_k/(\lambda_p \Delta_{\text{ср}})}. \quad (6)$$

При конденсации пара внутри труб коэффициент теплоотдачи к внутренней стенке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, вычисляется по эмпирическому уравнению [37]:

$$\alpha_1 = (3955 + 116\omega_n)^3 \sqrt{1,21/l}, \quad (7)$$

где ω_n — скорость пара при входе в трубу, $\text{м}/\text{с}$; l — длина трубы, м .

При движении горячей воды внутри труб коэффициент теплоотдачи определяют по общеизвестным критериальным уравнениям М. А. Михеева для вынужденной конвекции. Коэффициент теплопередачи биметаллической оребренной трубы, отнесенный к площади полной наружной теплоотводящей поверхности, составляет

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \frac{\varphi d_0}{d_1} + \frac{\varphi d_0}{2\lambda_1} \ln \frac{d_{\text{н}}}{d_1} + R_{\text{к}} \frac{\varphi d_0}{d_1} + \frac{\varphi d_0}{2\lambda} \ln \frac{d_0}{d_{\text{н}}} + \frac{1}{\alpha}}, \quad (8)$$

где λ_1, λ — соответственно коэффициенты теплопроводности стальной стенки несущей трубы и стенки ребристой оболочки; $R_{\text{к}}$ — контактное термическое сопротивление (КТС) в зоне механического соединения накатанной ребристой оболочки с несущей трубой, $(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$.

При температуре теплоносителя около 100°C величина термического сопротивления назначается в диапазоне $R_{\text{к}} = (3 \dots 0,91) \cdot 10^{-4} (\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$.

Площадь наружной теплоотдающей поверхности калорифера составит

$$F_{\text{н}} = 1,2Q/K\Delta t_{\text{ср}}, \quad (9)$$

где Q — тепловой поток, Вт ; $\Delta t_{\text{ср}}$ — средний температурный напор калорифера, обычно вычисляемый как среднелогарифмическое.

При определении коэффициента теплопередачи не учитывалось влияние загрязнений с внутренней и наружной сторон трубы на интенсивность теплопередачи, а также обходных течений сушильного агента на теплоотдачу воздуху. Поэтому при-

нимают 20 %-ный запас на теплопередающую площадь, что отражено введением коэффициента 1,2 в формуле (9).

Узкое сечение пучка калорифера, м², для прохода сушильного агента определяют по формуле

$$f = V/3600\omega, \quad (10)$$

где V — объемный расход сушильного агента, м³/ч.

Фронтальное (лобовое) сечение пучка, м², вычисляют по формуле

$$f_n = f/\chi. \quad (11)$$

Коэффициент загромождения сечения пучка трубами с поперечными круглыми ребрами равен

$$\chi = 1 - \frac{1}{S_1} \left(d_0 - 2 \frac{h \Delta c_p}{U} \right). \quad (12)$$

Фронтальное сечение пучка калорифера составляет

$$f_n = BH, \quad (13)$$

где B — ширина пучка, равная расстоянию между осями крайних трубок поперечного ряда; H — активная высота (длина) биметаллической трубы между трубными решетками пучка или верхним и нижним паровым (водяным) коллекторами.

Число биметаллических труб, расположенных в одном поперечном ряду пучка:

$$i = B/S_1. \quad (14)$$

Длина труб одного пучка, м:

$$l_n = Hi. \quad (15)$$

Суммарная активная длина биметаллических труб пучка составит

$$l_c = F_n/\pi d_0 \varphi. \quad (16)$$

Число рядов труб по ходу сушильного агента

$$z = l_c/l_k. \quad (17)$$

Аэродинамическое сопротивление поперечно обтекаемого воздухом шахматного пучка калорифера из труб с круглыми шайбовыми или спиральными накатными ребрами в диапазоне изменения $Re_{l_0} = (2,2 \dots 180) \cdot 10^3$ и $l_0/d_3 = 0,15 \dots 6,5$ вычисляются по обобщенному критериальному уравнению [36]:

$$Eu = 2,7 C_z' z (l_0/d_3)^{0,3} Re_{l_0}^{-0,25}, \quad (18)$$

где $l_0 = \frac{F_{\tau 1}}{F} d_0 + \frac{F_p}{E} \sqrt{0,785 (d^2 - d_0^2)}$ — определяющий размер, м;
 $d_3 = \frac{2[U(S_1 - d_0) - 2h\Delta c_p]}{2h + U}$ — эквивалентный диаметр узкого поперечного сечения пучка, м; $Re_{l_0} = \omega l_0/\nu$ — число Рейнольдса; $Eu = \Delta p/(\rho \omega^2)$ —

число Эйлера для z рядов труб; ρ — плотность воздуха по его средней температуре в пучке, кг/м^3 ; Δp — аэродинамическое сопротивление пучка, Па; C'_z — поправочный коэффициент на число поперечных рядов труб.

Значения C'_z назначаются следующими: $C'_z = 1,2$ при $z = 1$; $C'_z = 1,15$ при $z = 2$; $C'_z = 1,10$ при $z = 3$; $C'_z = 1,0$ при $z = 4$.

В рассчитанное значение Δp рекомендуется ввести 10...20 % запаса потерь напора.

Пример расчета секции биметаллического калорифера. На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях Минлесбумпрома СССР значительный объем товарных пиломатериалов высушивается в камерах непрерывного действия финской фирмы «Валмет». Однако за время эксплуатации оборудование камер подвергалось износу, особенно калориферы камер, что привело к снижению производительности камер, ухудшению качества сушки.

Водяные калориферы камер «Валмет» состоят из 2 секций в виде трехрядных теплообменников с шахматной компоновкой оребренных труб, размещенных под углом 100° относительно друг друга в рециркуляционном канале. Оребрение выполнено навивкой на трубы стальной гофрированной ленты толщиной 0,8 мм в холодном состоянии под натяжением.

В процессе эксплуатации выявилась пониженная коррозионная стойкость калориферов к воздействию скоростного потока агрессивной среды — агента сушки.

Существующая компоновка калориферов в камерах затрудняет их обслуживание, в том числе и очистку внутренней и наружной поверхности теплообмена.

Для ремонта камер и улучшения их работы необходима разработка калорифера из оребренных труб отечественного производства для замены вышедших из строя импортных нагревателей камеры «Валмет». Такой калорифер должен обладать повышенной коррозионной стойкостью, быть удобным для обслуживания: в частности его конструкция должна обеспечивать механическую очистку внутренней поверхности труб.

Исходные данные для расчета следующие. Калорифер монтируют из 2 секций, установленных под углом 100° друг к другу в рециркуляционном канале камеры. Между секциями предусматривают проем шириной 700 мм для удобства обслуживания, а с торцов секций — боковые зазоры шириной 50 мм (рис. 37).

По данным теплового расчета камеры тепловая нагрузка секции калорифера $Q_c = 250$ кВт; температура греющей воды на входе в секцию $t_1' = 100$ °С, на выходе из секции $t_1'' = 75$ °С; расход греющей воды с учетом изношенности насосов принят $V_1 = 13$ м³/ч; температура сушильного агента на входе в секцию $t_2' = 40$ °С, на выходе — $t_2'' = 55$ °С; среднее влагосодержание сушильного агента $x = 0,046$ кг/кг; расход сушильного агента через секцию $V_2 = 71\,000$ м³/ч.

Движение потоков воды и агента сушки — перекрестно-противоточное. Теплопередающую поверхность секции изготавливают из биметаллических труб с накатными однозаходными алюминиевыми ребрами следующих параметров, мм: наружный диаметр ребра $d = 55,3$; высота, шаг и средняя толщина ребра соответственно $h = 14,0$; $U = 2,5$; $\Delta = 0,6$; диаметр у основания ребра (несущий

диаметр) $d_0 = d - 2h = 27,3$; несущая труба выполнена из углеродистой стали 10. Наружный диаметр трубы $d_n = d_k = 25$, внутренний — $d_1 = 21$; толщина стенки трубы $\delta_{ст} = 2$; толщина стенки алюминиевой ребристой оболочки $\delta_a = (d_0 - d_k)/2 = 0,65$.

Принятая шахматная компоновка труб в секции характеризуется большей тепловой эффективностью [28]. Дальнейший ход конструирования секции сочетает элементы конструкторского и проверочного расчетов и выполняется методом последовательных приближений.

Для случаев, когда размеры фронтального сечения теплообменника заранее заданы, что характерно для проектируемой секции, целесообразно пред-

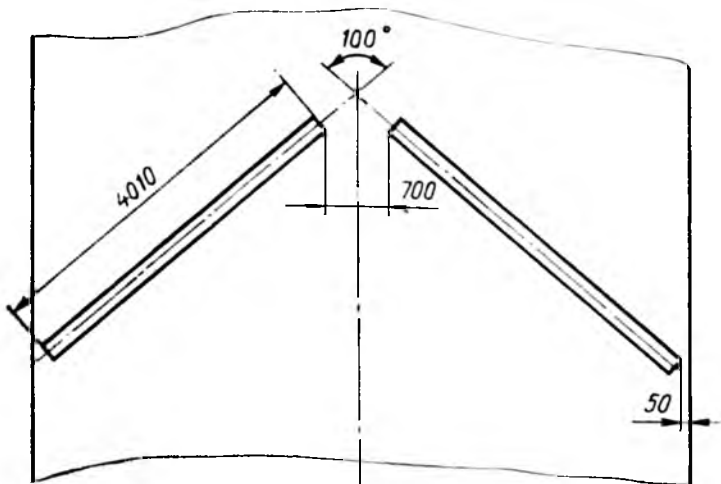


Рис. 37. Схема размещения секций калорифера в рециркуляционном канале

варительно принять площадь поверхности теплопередачи и выполнять расчет как конструкторский. Если полученная в результате расчета площадь поверхности теплопередачи совпадает с принятой (установленной), то расчет на этом завершают.

При назначении площади теплопередачи секции исходят из предпосылки приблизительного равенства ее с площадью теплопередачи реконструируемого импортного калорифера из труб с гофрированными ребрами при сохранении неизменными параметров греющей и нагреваемой сред. С учетом этого получается, что пучок в направлении движения агента сушки должен быть двухрядным, т. е. $z = 2$.

Разбивка труб в решетке пучка осуществляется по вершинам равностороннего треугольника с шагом $S_1 = S_2'$. Чтобы обеспечить назначенную площадь теплопередачи секции соответствующим числом труб в пучке, необходимо принять поперечный шаг $S_1 = 60$ мм. Продольный шаг будет $S_2 = 0,866 \cdot S_1 = 0,866 \cdot 60 = 52$ мм.

Число труб, шт., в первом ряду пучка $n_1 = 22$, а во втором их будет $n_2 = 21$. Общее число труб в секции $n_0 = n_1 + n_2 = 22 + 21 = 43$. Назначаем число ходов воды в секции $z = 2$, при этом скорость воды должна обеспечивать турбулентный режим движения.

Конструктивно это число ходов создают установкой в верхней водяной камере (коллекторе) продольной перегородки, которая удовлетворяет условию перекрестно-противоточного движения потоков и поддержанию равномерной температуры агента сушки по ширине секции (рис. 38).

Конструктивно активную длину оребренной трубы между трубными решетками принимают $L=3800$ мм (назначена с учетом размещения в заданном размере водяных камер).

Толщина трубной решетки принимается $\delta_T=4$ мм. Высоту выступающих концов несущей трубы из трубной решетки, необходимую для обварки их, принимают $h_B=1,5$ мм.

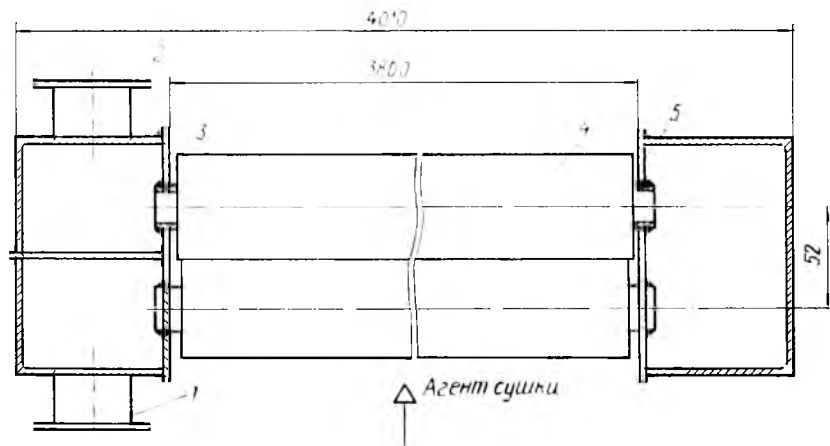


Рис. 38. Поперечный разрез калорифера:

1, 2 — патрубки соответственно отвода и ввода греющей воды; 3 — продольная перегородка; 4 — оребренная труба; 5 — трубная решетка

Отрезная длина, мм, оребренной трубы составит:

$$L_{от} = L + 2\delta_T + 2h_B = 3800 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 1,5 = 3811;$$

расстояние, мм, между осями крайних труб первого ряда

$$B' = S_1 (n_1 - 1) = 60 \cdot 21 = 1260.$$

Расстояние, мм, между плоскостями, касательными к наружному диаметру крайних труб первого ряда,

$$B = B' + d = 1260 + 55,3 = 1315,3.$$

Площадь, м², фронтального сечения для прохода агента сушки

$$S_{фр} = BL = 1,315 \cdot 3,81 = 5.$$

Скорость, м/с, агента сушки во фронтальном сечении перед секцией калорифера

$$\omega_{фр} = V_2 / f_{фр} = 71000 / (3600 \cdot 5) = 3,94.$$

Коэффициент загромождения сечения для прохода агента сушки трубами по формуле (12) равен

$$\chi = 1 - 1/60 (27,3 + 2 \cdot 14 \cdot 0,6/2,5) = 0,433.$$

Скорость агента сушки, м/с, в узком сечении секции

$$\omega_2 = \omega_{\text{фр}}/\chi = 3,94/0,433 = 9,11.$$

Коэффициент оребрения трубы по формуле (2)

$$\varphi = 1 + 2 \cdot 14 / (2,5 \cdot 27,3) (27,3 + 14 + 0,6) = 18,2.$$

Полная внешняя площадь теплоотдачи одной трубы, м²,

$$f_n = \pi d_0 \varphi L = 3,14 \cdot 0,0273 \cdot 18,2 \cdot 3,8 = 5,932.$$

Установленная (назначенная) площадь поверхности теплопередачи секции, м²

$$F_{\text{уст}} = f_n n = 5,932 \cdot 43 = 255.$$

Средняя температура, °С, агента сушки

$$t_2 = (t'_2 + t''_2)/2 = (40 + 55)/2 = 47,5.$$

Средняя температура, °С, греющей воды

$$t_1 = (t'_1 + t''_1)/2 = (100 + 75)/2 = 87,5.$$

Число ребер на 1 м трубы, шт/м

$$n = 1000/U = 1000/2,5 = 400.$$

Площадь поверхности ребер на 1 м трубы, м²/м

$$F_p = \frac{\pi n}{2} (d^2 - d_0^2) = \frac{3,14 \cdot 400}{2} (0,0553^2 - 0,0273^2) = 1,453.$$

Площадь поверхности 1 м ребристой оболочки, м²/м, не занятой ребрами,

$$F_{\text{гл}} = \pi d_0 (1 - \Delta n) = 3,14 \cdot 0,0273 (1 - 0,0006 \cdot 400) = 0,065.$$

Полная внешняя площадь 1 м оребренной трубы, м²/м,

$$F = F_p + F_{\text{гл}} = 1,453 + 0,065 = 1,518.$$

Значения физических констант сухого воздуха и пара на линии насыщения находим по таблицам [37] при $t_2 = 47,5$ °С:

$$\nu_{\text{с.в}} = 17,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \nu_{\text{п}} = 132,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_{\text{с.в}} = 2,81 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \quad \lambda_{\text{п}} = 2,07 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Тогда физические константы агента сушки (влажного воздуха) рассчитывают по формуле

$$\begin{aligned} \nu_2 &= \frac{\nu_{\text{с.в}} + X\nu_{\text{п}}}{1 + x} = \frac{17,81 \cdot 10^{-6} + 0,046 \cdot 132,2 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,046} = \\ &= 22,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{\lambda_{\text{с.в}} + X\lambda_{\text{п}}}{(1 + x)} = \frac{2,81 \cdot 10^{-2} + 0,046 \cdot 2,07 \cdot 10^{-2}}{1 + 0,046} = \\ &= 2,78 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}). \end{aligned}$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи от оребрения к агенту сушки при перпендикулярном омывании труб пучка определяют по обобщенному критериальному уравнению (4):

$$\text{Nu}_2 = 0,132 \cdot 0,86 \left(\frac{60 - 27,3}{60 - 27,3} \right)^{0,2} \left(\frac{27,3}{2,5} \right)^{-0,54} \left(\frac{14,0}{2,5} \right)^{-0,14}$$

$$\left(\frac{9,11 \cdot 0,0025}{22,8 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,73} = 0,132 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 0,275 \cdot 0,786 \cdot 155 = 3,81,$$

где $c_2 = 0,86$ — поправочный коэффициент для двухрядного пучка; $Re = \omega_2 S / \nu_2$ — число Рейнольдса.

Из коэффициента Nu_2 вычисляют конвективный коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot К)$:

$$\alpha_2 = Nu_2 \lambda_2 / U = 3,81 \cdot 2,78 \cdot 10^{-2} / 0,0025 = 42,9.$$

В рабочем положении пучок секции калорифера омывается агентом сушки под углом атаки $\psi = 50^\circ$. Поэтому к рассчитанному значению α_{2p} вводят поправочный коэффициент, величина которого принята $\epsilon_\psi = 1,25$ [39]. Следовательно, $\alpha_2 = \epsilon_\psi \alpha_{2p} = 1,25 \cdot 42,9 = 53,6$ $Вт/(м^2 \cdot К)$. Коэффициент теплопроводности алюминиевого ребра принят $\lambda_p = 210$ $Вт/(м \cdot К)$.

Безразмерный комплекс равен

$$\beta h = h \sqrt{2\alpha_2 / \lambda_p \Delta} = 0,014 \cdot \sqrt{2 \cdot 53,6 / (210 \cdot 0,0006)} = 0,409.$$

Коэффициент эффективности круглого ребра находят из графика $E = f(\beta h, d/d^0)$ в работе [40], $E = 0,925$.

Коэффициент неравномерности распределения теплоотдачи по поверхности ребра вычисляют по формуле [40]:

$$\psi = 1 - 0,058\beta h = 1 - 0,058 \cdot 0,409 = 0,972.$$

Приведенный коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot К)$, от оребрения к воздуху будет

$$\alpha_{пр} = \left(\frac{F_p}{F} E \psi \mu + \frac{F_{гл}}{F} \right) \alpha_2 = \left(\frac{1,453}{1,518} \cdot 0,925 \cdot 0,972 \cdot 1,0 + \frac{0,065}{1,518} \right) \cdot 53,6 = 0,905 \cdot 53,6 = 48,5,$$

где μ — коэффициент формы поперечного сечения ребра; для ребер прямоугольного сечения $\mu = 1,0$ [40].

Физические константы воды при ее средней температуре $t = 87,5^\circ C$:

$$\nu_1 = 0,3373 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \lambda = 68 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \quad Pr_1 = 2,015.$$

Площадь внутреннего поперечного сечения трубки, $м^2$,

$$f_1 = \pi d_1^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,021^2 / 4 = 0,0003.$$

Площадь сечения трубок одного хода воды, $м^2$,

$$f_x = f_1 n_1 = 0,003 \cdot 22 = 0,0066.$$

Скорость воды внутри трубок, $м/с$,

$$\omega_1 = V_1 / 3600 f_x = 13 / 3600 \cdot 0,0066 = 0,547.$$

Число Рейнольдса для воды

$$Re_1 = \omega_1 d_1 / \nu_1 = 0,547 \cdot 0,021 / (0,3373 \cdot 10^{-6}) = 34095.$$

Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубы при $Re_1 \geq 10\,000$ вычисляют из критериального уравнения М. А. Михеева:

$$Nu_1 = 0,023 Re_1^{0,8} Pr_1^{0,4} = 0,023 \cdot 34095^{0,8} \cdot 2,015^{0,4} = 128,7;$$

$$\alpha_2 = Nu_1 / \lambda_1 / \alpha = 128,7 \cdot 68 \cdot 10^{-2} / 0,021 = 4160 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

По рекомендации [35] термическое контактное сопротивление, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, биметаллической трубы принимают $R_k = 1,72 \cdot 10^{-4}$.

Коэффициент теплопередачи биметаллической трубы, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$, отнесенный к полной внешней теплоотдающей площади, по уравнению (8) составит

$$K = 1 / \left(\frac{18,2 \cdot 27,3}{4160 \cdot 21} + \frac{18,2 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 58,0} \ln \frac{25,0}{21,0} + \frac{18,2 \cdot 27,3}{21} \cdot 1,72 \cdot 10^{-4} + \frac{18,2 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 210} \ln \frac{27,3}{25} + \frac{1}{48,5} \right) = 29,3,$$

где $\lambda_{ст} = 58,0$ — коэффициент теплопроводности стенки стальной трубы, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Среднелогарифмический температурный напор, $^{\circ}\text{C}$,

$$\Delta t_{л} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln (\Delta t_6 / \Delta t_M)} = \frac{45 - 35}{\ln (45/35)} = 39,8,$$

где $\Delta t_6 = t'_1 - t''_2 = 100 - 55 = 45$ — большая разность температур, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_M = t'_1 - t''_2 = 75 - 40 = 35$ — меньшая разность температур, $^{\circ}\text{C}$.

Температурные коэффициенты [38] вычисляют как

$$R = \delta t_6 / (\delta t_M) = 25/15 = 1,67; \quad P = \delta t_M / (t'_1 - t'_2) = 15/(100 - 40) = 0,25,$$

где $\delta t_6 = t'_1 - t''_1 = 100 - 75 = 25^{\circ}\text{C}$; $\delta t_M = t''_2 + t'_2 = 55 - 40 = 15^{\circ}\text{C}$.

Для принятой схемы движения потоков поправочный коэффициент к среднелогарифмическому температурному напору $\epsilon \Delta t = f(PR)$ принимается по [38] $\epsilon \Delta t = 0,945$.

Средний температурный напор, $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t_{ср} = \Delta t_{л} \epsilon \Delta t = 39,8 \cdot 0,945 = 37,6.$$

Расчетная площадь поверхности теплопередачи секции, м^2 ,

$$F_{рас} = Q_c / K \Delta t_{ср} = 250 \cdot 10^3 / (29,3 \cdot 37,6) = 227.$$

Коэффициент запаса площади теплопередачи

$$K_з = F_{уст} / F_{рас} = 225 / 227 = 1,13.$$

Полученное значение $K_з$ является приемлемой величиной, так как в тепловом расчете термических сопротивлений не учитывались загрязнения с внутренней и наружной сторон трубы. По этим же причинам не нужен повторный тепловой расчет с целью достижения более близкой сходимости значений $F_{уст}$ и $F_{рас}$.

Дальнейший расчет определяет потери напора агента сушки при движении его через пучок секции. Он базируется на формулах, приведенных в работе [35]. Эквивалентный диаметр, мм, сжатого сечения пучка

$$d_э = \frac{2 [S (S_1 - d_0) - 2 \Delta h]}{2h + U} = \frac{22,5 (60 - 27,3) - 2 \cdot 0,6 \cdot 14}{2 \cdot 14 + 2,5} = 4,26$$

Определяющий размер, мм,

$$l = F_{гд} d_0 / F + F_p / F \sqrt{0,785 (d^2 - d_э^2)} = 0,065 \cdot 27,3 / 1,518 + 1,453 / 1,518 \cdot \sqrt{0,785 \cdot 55,3^2 - 27,3^2} = 41,95.$$

Число Рейнольдса для воздуха

$$Re_l = \omega_2 l / \nu_2 = 9,11 \cdot 0,04195 / (22,8 \cdot 10^{-6}) = 16750.$$

Удельный вес, кг/м³, агента сушки (влажного воздуха) определяют по формуле

$$\gamma_2 = \frac{0,465 P_6 (1 + x)}{t_2 + 273 + 438x + 1,6 t_2 x} = \frac{0,465 \cdot 750 (1 + 0,046)}{37,5 + 273 + 438 \cdot 0,046 + 1,6 \cdot 47,5 \cdot 0,046} = 1,06,$$

где $P_6 = 750$ — барометрическое давление, которое принимают для местных условий эксплуатируемой лесосушильной камеры.

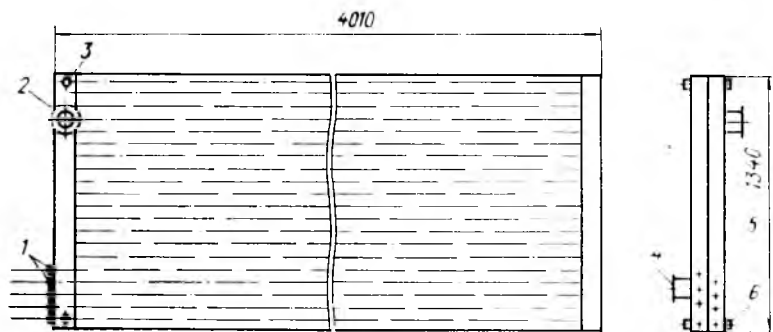


Рис. 39. Схема секции водяного калорифера из биметаллических труб:

1 — заглушки отверстий в крышке водяной камеры; 2, 4 — патрубки ввода и отвода греющей воды; 3 — воздушный клапан; 5 — продольная перегородка в водяной камере; 6 — дренажные вентили

Потеря напора агента сушки, Па, при обтекании двухрядного косо­го пучка секции калорифера составит

$$\Delta P = 5,4 \cdot z C_z' + \varepsilon_{\psi}' (l/d_3)^{0,3} Re_l^{-0,25} \frac{\gamma_2 - \omega_2^2}{2g} = 5,4 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,8 (41,95/4,26)^{0,3} \cdot 16750^{-0,25} \frac{1,06 \cdot 9,11^2}{2 \cdot 9,81} = 18,15 \text{ мм вод. ст.} = 178,5 \text{ [Па]},$$

где $C_z' = 1,2$ — поправочный коэффициент на число рядов в пучке; $\varepsilon_{\psi}' = 1,8$ — поправочный коэффициент по данным литературы [39] на угол атаки труб, равный $\psi_1 = 50^\circ$.

Вентиляторы, установленные в камерах «Валмет», развивают напор, достаточный для преодоления аэродинамического сопротивления биметаллического калорифера разработанной конструкции. Схема секции калорифера показана на рис. 39.

Подобный калорифер по предложению ЦНИИМОДа и АЛТИ изготовлен и установлен на Медвежьегорском ЛДК п/о «Кареллесозэкспорт (1985 г.), а в 1988 г. они установлены на некоторых предприятиях ПО «Северолесэкспорт». Эти калориферы успешно заменили вышедшие из строя импортные,

что обеспечило дальнейшую эксплуатацию камер «Валмет». Такие калориферы необходимо устанавливать и на других камерах непрерывного действия при их ремонте, реконструкции.

Глава 4

МЕХАНИЗАЦИЯ РАБОТ В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

ФОРМИРОВАНИЕ СУШИЛЬНЫХ ШТАБЕЛЕЙ

Формирование, транспортировка и разборка сушильных штабелей — наиболее трудоемкие операции в лесосушильных цехах. Эти технологические операции все более механизмируются, но в целом по отрасли доля ручного труда здесь еще велика. Полностью механизированы эти операции лишь на некоторых крупных лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, выпускающих товарные пиломатериалы.

На небольших деревообрабатывающих и мебельных предприятиях для ручной укладки и разборки штабелей пиломатериалов рекомендуется лифт Д-6,5...15 (рис. 40), выпускаемый Канским заводом бумагоделательного оборудования (проект Гипродревпрома). Лифт предназначен для облегчения ручного труда при формировании или разборке штабеля пиломатериалов на треках или подштабельной тележке. Лифт рассчитан на формирование сушильного штабеля размерами, мм: длина до 6500, ширина до 1800, высота до 2600.

Для формирования штабеля высотой 3 м со стороны укладки штабеля необходимо сделать помост высотой 500 мм. Лифт располагают в прямке, куда опускается платформа по мере набора штабеля. Платформа поднимается и опускается с помощью 4 подъемных винтов, приводимых во вращение от привода через систему коробок конических передач, находящихся на дне прямки.

Опоры каждого подъемного винта монтируют на стойке и коробке конической передачи. Стойки соединены между собой поперечными элементами и образуют жесткую раму. Гайки на подъемных винтах жестко связаны с подъемной платформой.

Крайние верхнее и нижнее положения платформы фиксируются конечными выключателями.

Техническая характеристика лифта Л-6,5-15

Грузоподъемность, т	15
Габаритные размеры подъемной платформы, мм:	
длина	6900
ширина	2200
Ход платформы, мм	2600
Наибольшая высота от уровня головки рельса пола до верха рельса на платформе, мм	715
Расстояние между стойками подъемных винтов, мм:	
по длине	5000
по ширине	2480

Скорость перемещения платформы, м/с	0,0104
Электродвигатель:	
тип	АО2-61-6
мощность, кВт	исп. М 101
частота вращения, мин ⁻¹	10
Редуктор РПД 400-16-8ц	980
Габаритные размеры приемки, мм:	
длина	7000
ширина	3000
высота	3115
Масса, кг	2930,0

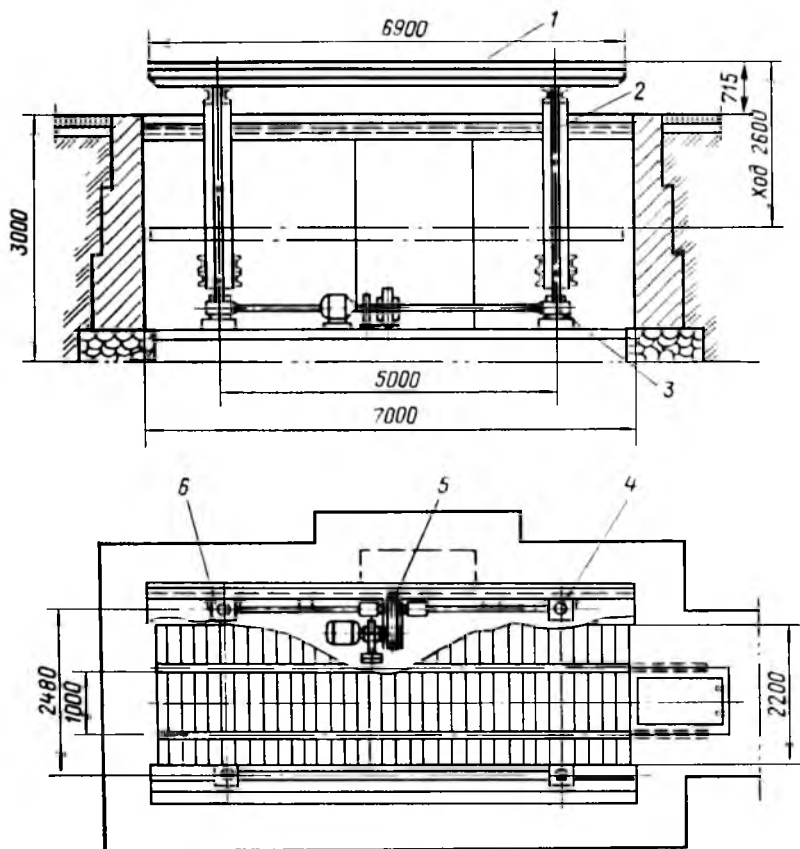


Рис. 40. Схема лифта Л-6,5...15:

1 — платформа; 2 — стойка подъемного винта; 3 — коробка конической передачи; 4, 6 — подъемные винты, левый и правый; 5 — привод платформы

При камерной сушке применяют штабеля двух типов: пакетный и цельный. Для сокращения транспортных операций и улучшения качества сушки лучше использовать цельный беспакетный штабель. Однако в настоящее время промышленность не располагает отечественными конструкциями машин для ук-

ладки цельных штабелей. Это вынуждает применять более трудоемкий пакетный способ формирования штабелей.

Наиболее приемлем пакет размерами $1,8 \times 1,45$ м. Такой пакет формирует отечественная машина ПФМ-10, ранее выпускавшаяся Вологодским станкостроительным объединением по заявкам предприятий. Сборка штабелей из пакетов может осуществляться кранами и автопогрузчиками, выпускаемыми также серийно. С 1986 г. это объединение начало выпускать взамен ПФМ-10 линию формирования сушильных пакетов ПФЛ-1 (рис. 41).

Техническая характеристика линии ПФЛ-1

Размеры формируемого пакета, м:	
ширина	до 1,8
высота	до 1,5
длина	7,0
Число прокладок на щит, шт.	5; 9
Сечение прокладок, мм	25×50
Размеры обрабатываемых обрезных пиломатериалов:	
длина, м	2,1 . . . 6,8
ширина, мм	75 . . . 275
толщина, мм	16 . . . 75
Размеры подаваемого пакета, м:	
длина	2,1 . . . 6,8
ширина	1,35
высота	1,3
Производительность, досок/мин	до 63
Обслуживающий персонал, чел.	3
Установленная мощность, кВт	73; 55
Габаритные размеры линии, м:	
длина	40,8
ширина	14; 17
высота	3,05
Масса линии, т	53
Гидростанция	ЗАМПГ 48-85
Тип установленного насоса	БК 12-24
Подача насоса, $\text{дм}^3/\text{с}$; л/мин	1,17; 101
Номинальное давление, МПа	12,5
Вместимость бака, дм^3	250

Линия состоит из 3 основных участков: загрузки, формирования пакета и выноса пакета. Плотный внутриводской транспортный пакет автолесовозом или автопогрузчиком вместе с колодками устанавливается на конвейер загрузки (см. рис. 41). Оператор включает привод, и конвейер загрузки подает пакет в зону наклонного подъемника, кронштейны которого наклоняются, принимают пакет на себя, поднимаются, и доски рядами поступают на приемный конвейер.

Оператор, управляя приемным конвейером, порциями выдает доски в приямок первой секции наклонного конвейера, с помощью которого они разбираются и образуют однослойный ковер на роликовых шинах механизма поштучной выдачи, который выдает по одной доске в шаг между упорами конвейера с разновысокой цепью.

Все доски, перемещаясь по роликовым конвейерам-торцевым выравнивателям, выравниваются постоянными упорами через одну

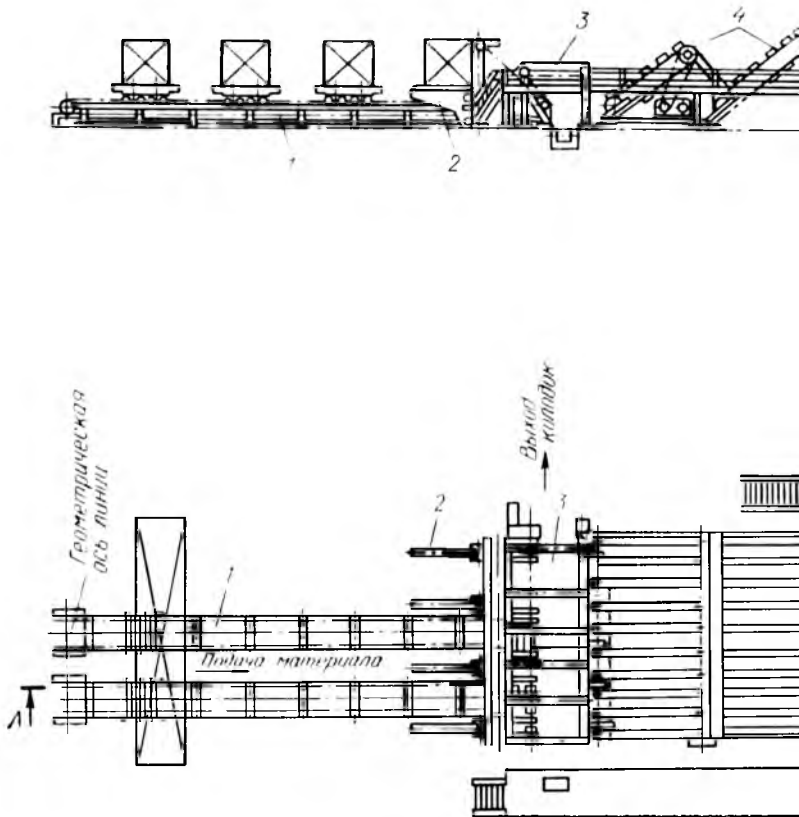


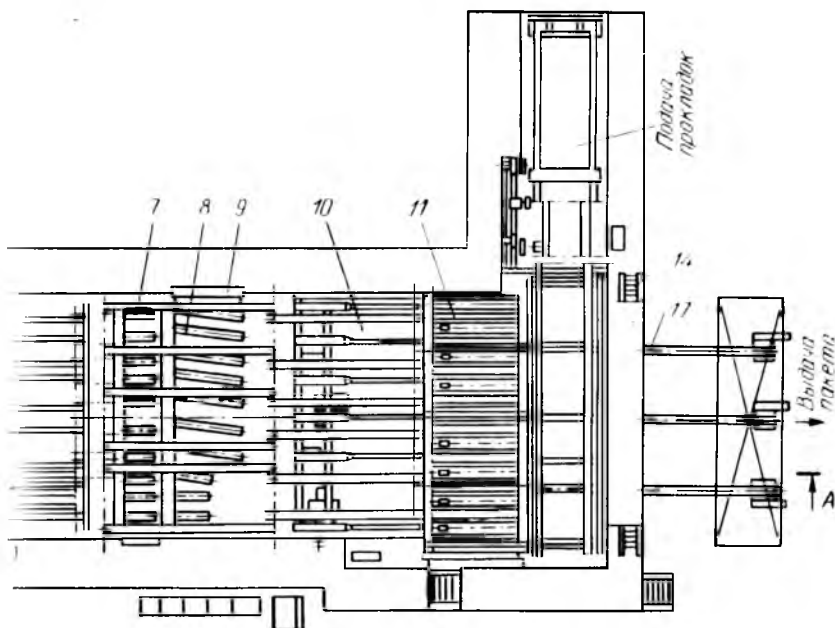
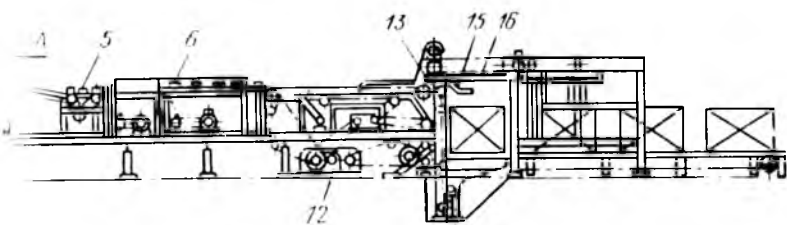
Рис. 41. Линия формирования

1 — конвейер загрузки; 2 — наклонный подъемник; 3 — приемный; 4 — наклонный конвейер роликовые конвейеры-торцевывравниватели; 9 — упор; 10 — щитонаборный конвейер; 11 — конвейер распределения прокладок; 15 — датчик положения пакета; 16 — механизм

по правому и левому торцам. Далее доски поступают на щитонаборный конвейер, где формируется щит с необходимым числом досок.

После набора щита дается команда на подъем рычагов укладчика, щит снимается со щитонаборного конвейера, поднимаются гребенки механизма фиксации щита и набранный щит переносится выносными рычагами на кронштейны вертикального подъемника. Включается конвейер распределения прокладок, с которого захваты механизма выдачи прокладок берут прокладки и укладывают их на щит.

После формирования пакета заданного размера отключается



сушильных пакетов ПФЛ-1:

йеры; 5 — механизм поштучной выдачи; 6 — конвейер с разновысокой цепью; 7, 8 — механизм фиксации щита; 12 — главный привод; 13 — вертикальный подъемник; 14 — выдачи прокладок; 17 — выносной конвейер

главный привод, оператор опускает пакет на цепи выносного конвейера и пакет выносится из зоны вертикального подъемника.

Для импортных камер «Валмет» с высотой сушильного штабеля 5 м в состав линии сушки входят штабелеформирующие машины ШФМ фирмы «Валмет». Фирма выпускает штабелеформирующие машины двух модификаций, отличающихся только стороной подачи прокладок.

В машине левого исполнения прокладки подаются слева по ходу пиломатериалов, в машине правого исполнения — справа. В зависимости от производительности лесосушильного цеха

в отделении формирования штабелей устанавливается одна или две штабелеформирующие машины. Если в отделении сушки установлено 15 лесосушильных камер, то в отделении формирования штабелей необходимо установить 2 машины.

Общая установленная мощность ШФМ 130 кВт. Конструктивная скорость машины 40...115 досок в минуту. В состав ШФМ (рис. 42) входят: пятицепной подающий конвейер длиной около 14 м с приводом от электродвигателя через редуктор; 2 наклонных цепных конвейера для разборки пакета пиломатериалов и поштучной подачи досок на питающий конвейер (они имеют регулируемую скорость и гидравлический электропри-

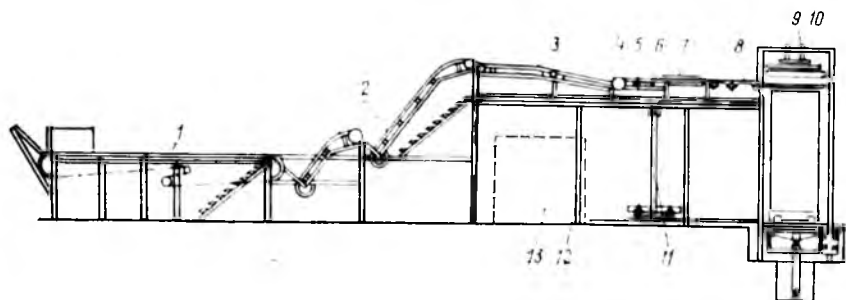


Рис. 42. Штабелеформирующая машина фирмы «Валмет»:

1 — подающий цепной конвейер; 2 — наклонные цепные конвейеры; 3 — питающий конвейер; 4 — распределительное устройство; 5 — торцевыравнивающее устройство; 6 — распределительный конвейер; 7 — перегонные ролики; 8 — сборный конвейер; 9 — устройство для подачи прокладок; 10 — штабелеформирующая установка; 11 — электроталь; 12 — опорная конструкция; 13 — гидропривод

вод); питающий конвейер длиной 5,5 м, имеющий общий привод с распределительным устройством; вращающееся распределительное устройство, автоматически сбрасывающее доски поштучно между захватами распределительного конвейера.

Торцевыравнивающий роликовый конвейер состоит из 7 роликов для перемещения досок влево по направлению движения пиломатериалов с бесступенчатым регулированием скорости; роликовый конвейер — из 7 перегонных роликов для перемещения досок вправо по направлению движения пиломатериалов, который имеет общий привод с торцевыравнивающим роликовым конвейером.

В состав линии также входят: распределительный конвейер с гидравлическим приводом; сборный конвейер, имеющий общий привод с распределительным конвейером; пакетирующая установка, состоящая из перемещающихся рычагов, держателя ряда досок, укладчика прокладок, лифта для тележки и штабеля, устройства для подачи прокладок с гидравлическим приводом общей длиной 14 м, которое состоит из 2 пластинчатых наклонных конвейеров, питающего, роликового и распределительного конвейеров; стальная опорная конструкция, на которой

монтируется ШФМ; 5 гидравлических приводов общей установленной мощностью 121 кВт; электроталь грузоподъемностью 1500 кг для перемещения порожних тележек от линии возврата под ШФМ.

На ШФМ формируется сушильный штабель размерами, мм: ширина 2050, длина 6800, высота 5000. По длине штабеля укладывается 7 прокладок. С открытого склада пакеты пиломатериалов автопогрузчиком подают на подающий конвейер ШФМ. Один из торцов пакета должен быть выровнен. Допускается неточность выравнивания другого торца не более 600 мм. Максимальная длина доски, подаваемой на ШФМ, не более 6,8 м.

Выровненный торец пакета должен располагаться с левой стороны по ходу движения подающего конвейера и быть прижатым к упорному брусу. На выровненном конце могут быть вершинные или комлевые торцы досок в зависимости от взаимного расположения ШФМ, сушильных камер и линии сортировки и пакетирования. Вершинные торцы должны быть всегда расположены со стороны кабины управления линии сортировки.

Во время всех автоматических и гидравлических перемещений ковер пиломатериалов движется безостановочно. По окончании формирования штабеля лифт автоматически опускается и штабель на тележке передвигается по рельсам к траверсному каналу. Новая подштабельная тележка с ШФМ автоматически поступает на лифт.

Лифт поднимается, и начинается формирование нового штабеля. Тележки под ШФМ подают с помощью электротали, которая забирает порожние подштабельные тележки с устройства их возврата. Прокладки в ШФМ поступают автоматически по конвейеру возврата прокладок фирмы «План-Селл» на подающий конвейер устройства для подачи прокладок фирмы «Валмет», а затем в накопители 2 последовательно расположенных наклонных пластинчатых конвейеров, которые поднимают прокладки и поштучно подают их на питающий конвейер. Последний через дозирующий конвейер передает их на захваты распределительного конвейера укладчика прокладок, который укладывает по 7 прокладок на каждый ряд пиломатериалов.

ШФМ обслуживают двое рабочих. Один наблюдает за работой отдельных узлов машин, другой следит за подачей прокладок в дозировочное устройство. Полный сушильный штабель подается по рельсовому пути на склад промежуточного хранения к одной из лесосушильных камер. Перед каждой камерой накапливают до 9 штабелей из пиломатериалов одной породы и толщины.

СРЕДСТВА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПАКЕТОВ И ШТАБЕЛЕЙ

В камерах периодического действия сушильный штабель укладывают на подштабельные тележки или треки, которые перемещают его по рельсовым путям как в цехе, так и в камере.

В некоторых камерах непрерывного действия (СП-5КМ, «Вал-мет») штабеля укладывают на подштабельные балки (шины) и перемещают их в камере по роликовым конвейерам.

Трек представляет собой двухколесную тележку (рис. 43), устанавливаемую на 1 рельс. Обычно штабель укладывают на 3 пары треков. В камерах периодического действия раньше в основном применялись треки такого типа. Сейчас рекомендуют укладывать штабель на подштабельные тележки, что улучшает качество сушки за счет обеспечения жесткого горизонтального основания. Пример тележки, разработанной Гипродревпромом, показан на рис. 44.

Однако до сих пор не организован серийный выпуск подштабельных тележек для камер с поперечной и продольной загрузкой штабелей, в том числе для камер периодического действия. Выпуск тележек может быть налажен на заводах-изготовителях лесосушильных камер, а также на заводах Минлесбумпрома СССР.

При формировании сушильного штабеля из пакетов применяют автопогрузчики. Рекомендуется автопогрузчик Львовского завода автопогрузчиков модели 4008-М — универсальная подъемно-транспортная машина большой производительности. Он может работать с вилами длиной 1,5 м для перегрузки штучных грузов массой от 10 т и длиной 3 м для перемещения крупногабаритных грузов. Вилы длиной 3 м включают в поставку по условиям заказа.

Для перевозки штабелей пиломатериалов и заготовок с одного пути на другой, параллельный ему, в сушильно-раскромочных цехах и на складах пиломатериалов, а также для загрузки и выгрузки сушильных камер применяют электрифицированные траверсные тележки. На рис. 45 дана схема траверсной тележки ЭТ2-6,5М, разработанной Гипродревпромом и выпускаемой Канским заводом бумагоделательного оборудования.

Грузовая платформа имеет 8 катков, 4 из них ведущие, которые сидят на одном валу. Привод механизма передвижения и ведущий вал связаны цепной передачей. Привод механизма передвижения тележки состоит из электродвигателя, электромагнитного тормоза и редуктора. Лебедка состоит из электродвигателя, редуктора, открытой зубчатой передачи и барабана.

Трос, закрепленный одним концом на барабане лебедки, проходит под грузовой платформой и с противоположной стороны ее, огибая блоковую батарею, состоящую из 1 горизонтального и 2 вертикальных блоков, выводится на эту платформу. На конце троса вплетен захват или крюк в зависимости от конструкции специальной тележки или трека. Для управления тележкой предназначены 1 контроллер и кнопочный пост.

Для мебельных предприятий при сушке заготовок в камерах применяют также траверсную тележку ЭТ-4,5, которая отличается от приведенной выше длиной штабеля — 4,5 м.

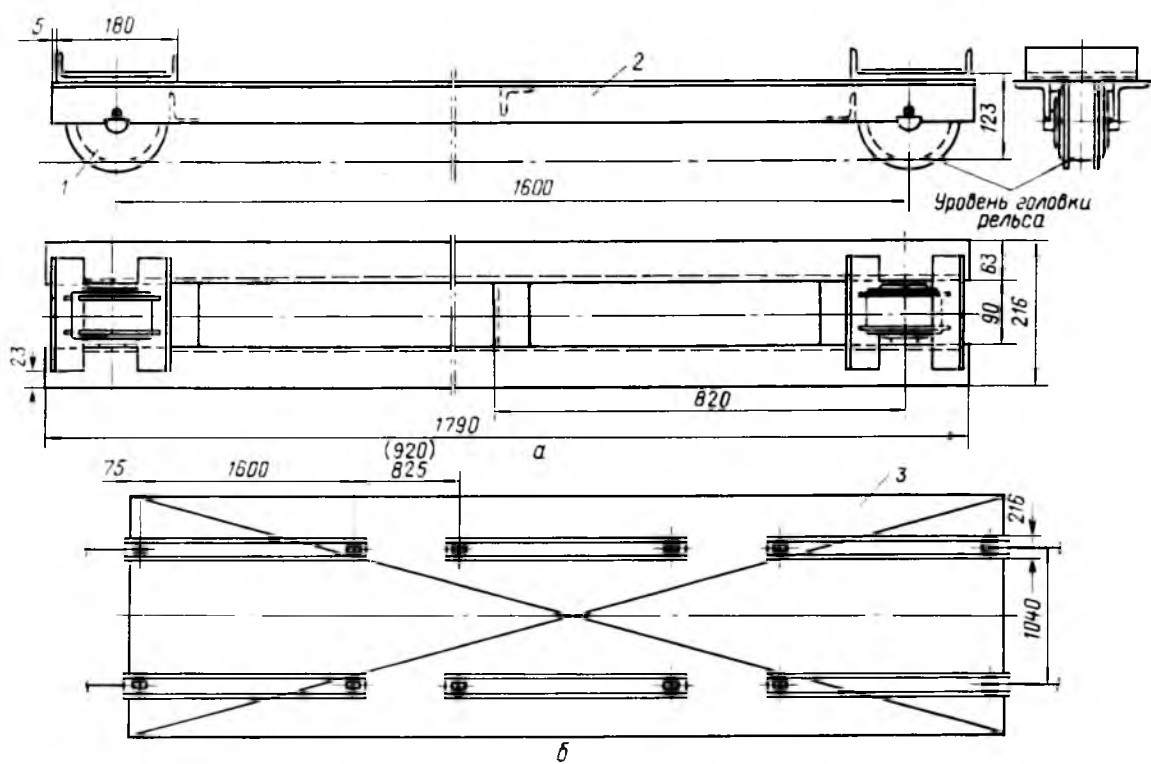


Рис. 43. Схема подштабельного трека:

a — трек; *b* — размещение треков в штабеле; 1 — колеса; 2 — швеллер; 3 — штабель

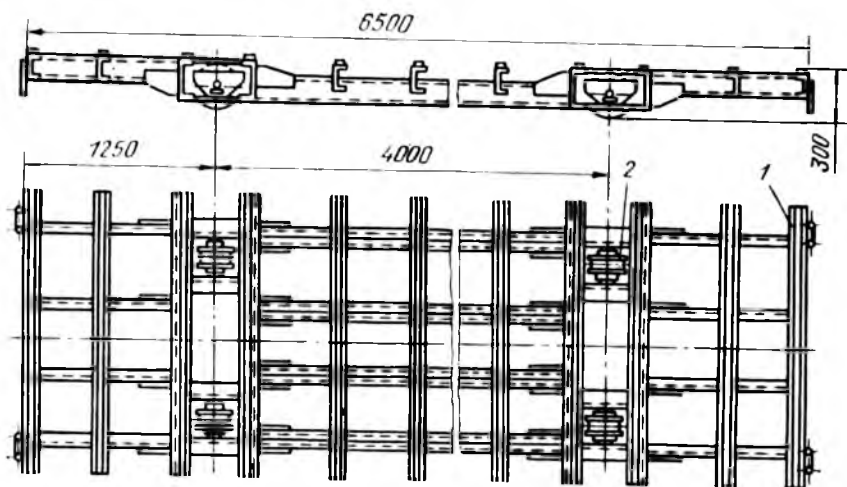


Рис. 44. Подштабельная тележка:

1 — рама; 2 — колесо

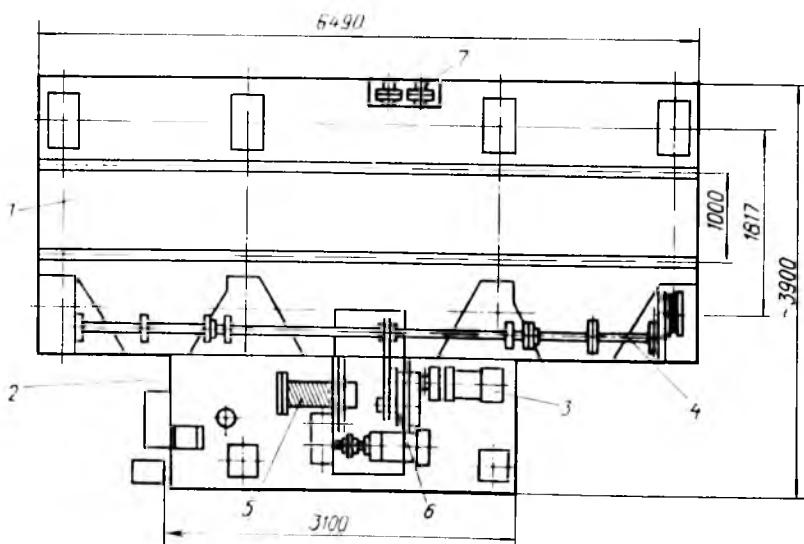


Рис. 45. Схема траверсной тележки ЭТ2-6,5М:

1 — платформа грузовая; 2 — платформа машиниста; 3 — привод передвижения тележки; 4 — ведущий вал; 5 — лебедка; 6 — цепная передача; 7 — блоковая батарея

Техническая характеристика тележки

Допускаемые габаритные размеры штабеля для перевозки на специальных тележках или треках, мм:	
длина	6 500
ширина	1 800
высота	2 600; 3000
Допускаемые габаритные размеры штабеля для перевозки на 3 специальных тележках или треках, мм:	
длина	2 000
ширина	1 800
высота	2 600; 3000
Грузоподъемность тележки, кг	15 000
Скорость передвижения тележки, м/мин	21,66
Скорость передвижения троса лебедки, м/мин	7,92
Число рельсовых путей для тележки, шт.	4
Общая установленная мощность, кВт	9
В том числе:	
передвижения тележки	5
лебедки	4
Габаритные размеры тележки, мм:	
длина	3 900
ширина	6 490
высота общая от головки рельса	1 660
высота между головками нижнего и верхнего рельсов	215
ширина колеи траверсного пути	2 000
Масса тележки, кг	3 000

Необходимо также организовать производство электрифицированных траверсных тележек ЭТП-6,8—1,8 (разработка Гипродрева) для камер с поперечной загрузкой на роликовых шинах и траверсных тележек для камер непрерывного действия с поперечной загрузкой штабелей с передвижением их на подштабельных тележках по рельсовым путям.

Для больших объемов обработки пиломатериалов, не требующих специальной сортировки и подготовки пакетов пиломатериалов определенных длин, целесообразно разработать специальное расформировочное устройство, предназначенное для разборки высушенных штабелей и укладки сухих пиломатериалов в плотный пакет.

Объединение ПФМ, сушильных камер и линий обработки пиломатериалов после сушки в единый технологический комплекс позволит в перспективе комплексно механизировать трудоемкие операции в лесосушильных цехах.

Примером такой комплексной механизации является оборудование линий сушки и пакетирования, поставленных Финляндией на некоторые лесопильно-деревообрабатывающие комбинаты.

ЛИНИЯ СОРТИРОВКИ И ПАКЕТИРОВАНИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ФИРМЫ «ПЛАН-СЕЛЛ»

Финская линия «План-Селл» предназначена для торцовки, сортировки по сортам и длинам, маркирования высушенных пиломатериалов и формирования из них транспортных пакетов

или блок-пакетов. Линии «План-Селл» применяют на лесопильных предприятиях с годовой производительностью 150 тыс. м³, вырабатывающих экспортные пиломатериалы [41, 42].

На рис. 46 дана схема линии «План-Селл». По технологическим операциям линия включает следующие участки: загрузки и разборки сушильного штабеля; возврата подштабельных тележек и прокладок; торцовки и сортировки пиломатериалов; маркирования и пакетирования; обработки пакетов и разгрузки; сбора и переработки отходов.

Сушильный штабель, поданный в зону разборки, попадает на наклонный подъемник, который поднимает и наклоняет штабель так, что ряды досок поочередно попадают на питающий конвейер, а прокладки падают между его цепями и уносятся ленточным конвейером.

С помощью питающего конвейера доски перемещаются в приемное устройство разборщика, откуда подаются к торцевыравнивательному роликовому конвейеру, где выравниваются по комлевым торцам, а затем по наклонным роликовым шинам, образуя плотный ряд, попадают к механизму поштучной выдачи, который по одной подает доски на торцовочный конвейер.

Участок торцовки и сортировки — основной в линии «План-Селл». Здесь обрабатывают комлевый конец доски, определяют ее сорт путем осмотра обеих пластей и кромок, выбирают план раскроя, обрабатывают вершинный конец доски и распределяют доски на группы в соответствии с сортом и длиной [42].

Около механизма поштучной выдачи расположены пульта управления операторов зоны торцовки комлевых концов досок. Доски от механизма поштучной выдачи поступают на роликовый конвейер, смещаются до упора сопровождения и по команде оператора от них отпиливаются отрезки длиной 150; 300; 550 или 1200 мм.

Далее доски поступают на перегонный роликовый конвейер и конвейер оценки. Здесь расположены 3 кантователя, позволяющие операторам-сортировщикам (3 оператора при максимальной производительности линии) осмотреть обе пласти и кромки досок. Операторы определяют качество, задают команду на величину торцовки вершинных торцов и сорт доски. Затем на конвейере автоматически измеряется с помощью фотореле длина досок. Отрезки досок после торцовки подают в рубительную машину.

С торцовочного конвейера доски переходят на ускорительный конвейер, а затем на крючья распределительного конвейера, который в зависимости от сорта и длины перемещает доску в определенный накопитель. Число поступающих досок контролирует счетчик.

Сортированные доски из накопителей по команде с пульта управления подаются на выносные цепные конвейеры, где разборщики пачек обеспечивают однорядную подачу досок к механизму поштучной выдачи, а затем к маркировочному устрой-

ству, на котором сначала маркируют вершинные торцы, а затем вторым маркировочным устройством — комлевые торцы. С маркировочного конвейера доски поступают на механизм формирования ряда с заданным числом досок, который затем передается на пакетоформирующий подъемник.

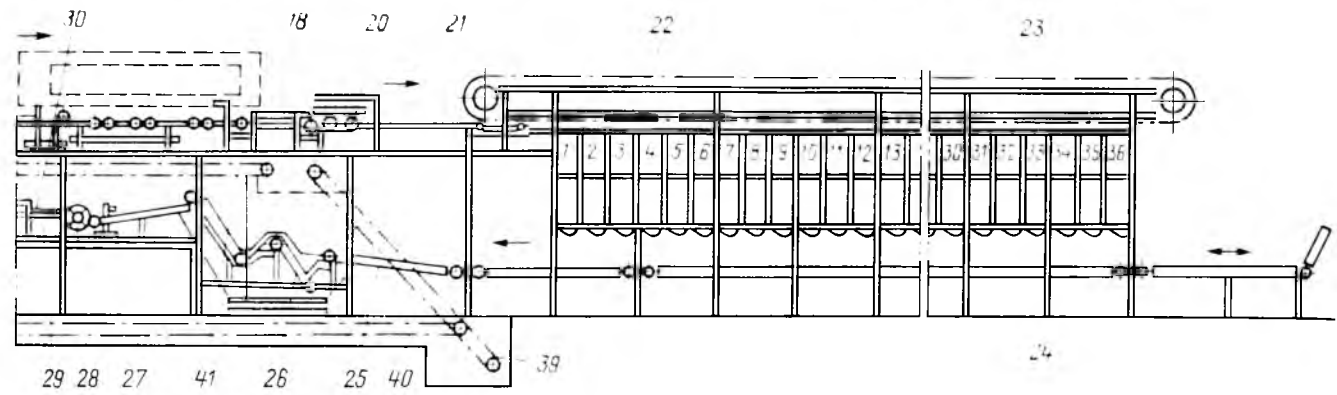
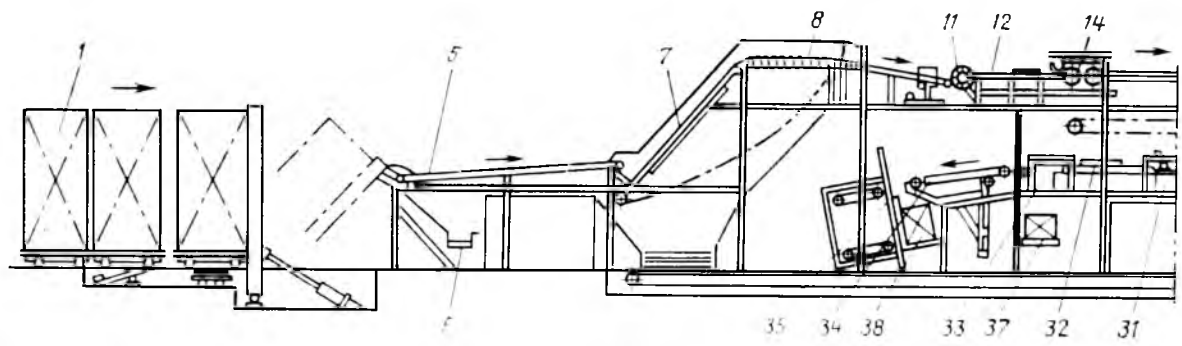
Подъемник опускает сформированный пакет на роликовые конвейеры, которые подают пакеты в станки для обжима и обвязки пакетов. Участок обеспечивает формирование малых (500×500 мм) и больших (1200×1200 мм) транспортных пакетов. На каждый пакет с помощью ЭВМ составляется паспорт. По поперечным конвейерам пакеты поступают в зону разгрузки линии автопогрузчиком.

Техническая характеристика линии «План-Селл»

Размеры (ширина×высота) подаваемого сушильного штабеля, мм:	
малых	(450 . . . 600)×(450 . . . 600)
больших	(800 . . . 1300)×(500 . . . 1300)
Размеры (ширина×высота) блок-пакетов, мм:	
малых	(900 . . . 1200)×(900 . . . 1200)
больших	(1600 . . . 2600)×(1000 . . . 2600)
Градация длин, мм	250; 300
Возможный размер торцовки с комлевого конца доски, мм	40; 150; 300; 500
Возможные размеры торцовки с вершинного конца доски, мм	300; 600; 900; 1200; 1500 и остаток, не кратный 300 мм; 250; 500; 750; 1000; 1250; 1500 и остаток, не кратный 250 мм
Число сортов пиломатериалов	6
Пропускная способность линии, досок/мин	300 . . . 90
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), м	220×53,2×9,6
Число сортировочных накопителей . . .	17; 36
Установленная мощность, кВт	573
Обслуживающий персонал, чел	10
Производительность машины, тыс. м ³ .	150

Рассмотренные выше линии сушки «Валмет», включая штабелеформирующие машины, линии сортировки и пакетирования, входят в состав единого цеха. Проекты таких цехов в зависимости от требуемой производительности включают различное число линий сушки и другого оборудования. Цехи построены и успешно работают на ряде предприятий страны.

На рис. 47 показана схема цеха, имеющего линии сушки, сортировки и пакетирования пиломатериалов. Линия сушки состоит из одной пакетоформирующей машины и 5 лесосушильных камер. Сырые пиломатериалы поступают на пакетоформирующую машину фирмы «Валмет». Сформированные штабеля передаются на склад промежуточного хранения, а из него в лесосушильные камеры. Производительность цеха по сушке 87,5 тыс. м³/г условных пиломатериалов. Сухие пиломатериалы поступают из камер в остывочное помещение, где их выдерживают



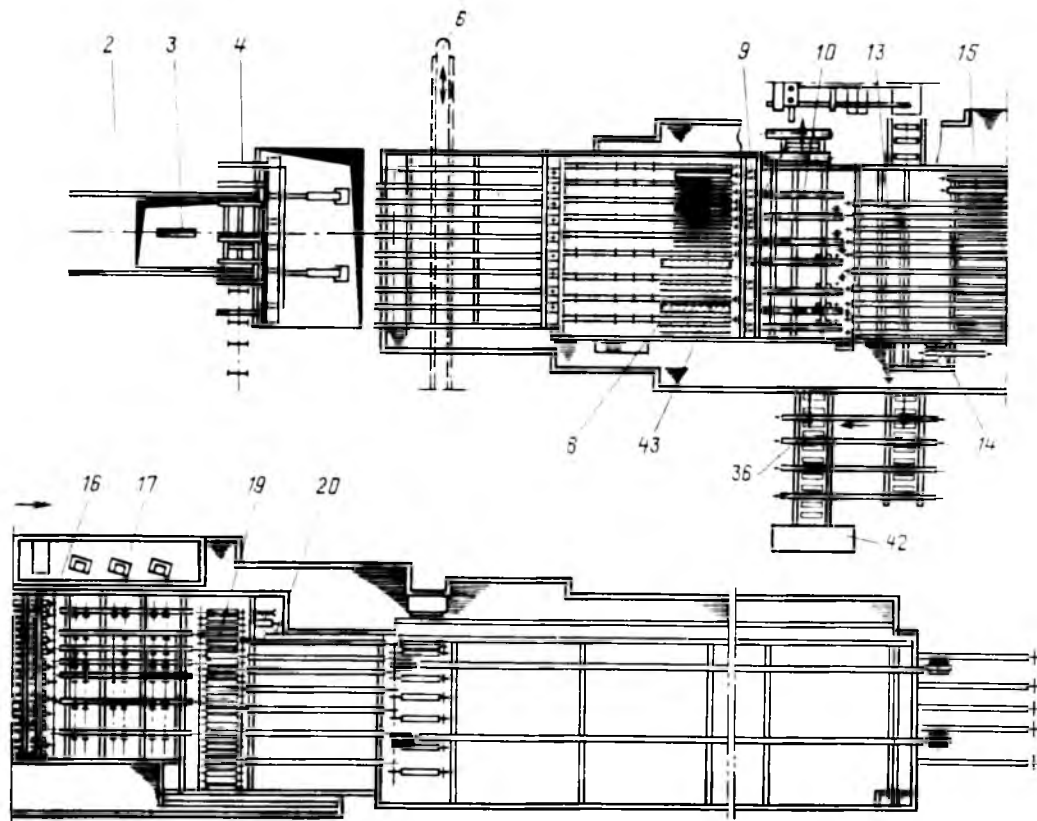


Рис. 46. Схема линии сортировки и пакетирования фирмы «План-Селл»:

1 — штабеля, 2 — рельсовый путь; 3 — дозировочное устройство; 4 — разборочный лифт; 5, 6 — соответственно разборочный и ленточный конвейеры; 7 — наклонный цепной конвейер; 8 — выравнивающий ролик; 9 — винтовые ролики; 10 — роликовые шины; 11, 28 — механизмы поштучной подачи досок; 12 — дощичный конвейер; 13, 15, 30, 32 — торцевые роликовые конвейеры; 14 — комбевые торцовочные пилы; 16 — черметающие верхние упоры; 17 — кабины операторов — оценщиков качества досок; 18 — конвейер с препятствующими упорами; 19 — роликовый конвейер; 20 — вершинные горбовочные пилы; 21 — загрузочный конвейер; 22 — сортировочный конвейер; 23 — накопители; 24 — сборочный конвейер; 25 — подающий конвейер; 26 — механизм поштучной разборки; 27 — наклонные роликовые шины; 29 — конвейер маркировочного участка; 31, 33 — маркировочные устройства; 34 — буферный (накопительный) конвейер; 35 — пакетоформующее устройство; 36 — выносной роликовый конвейер; 37, 38 — пакеты пиломатериалов сечением соответственно 500×500 и 1300×1300 мм; 39, 40, 41 — конвейеры для отходов; 42, 43 — автоматический обвязочный пресс

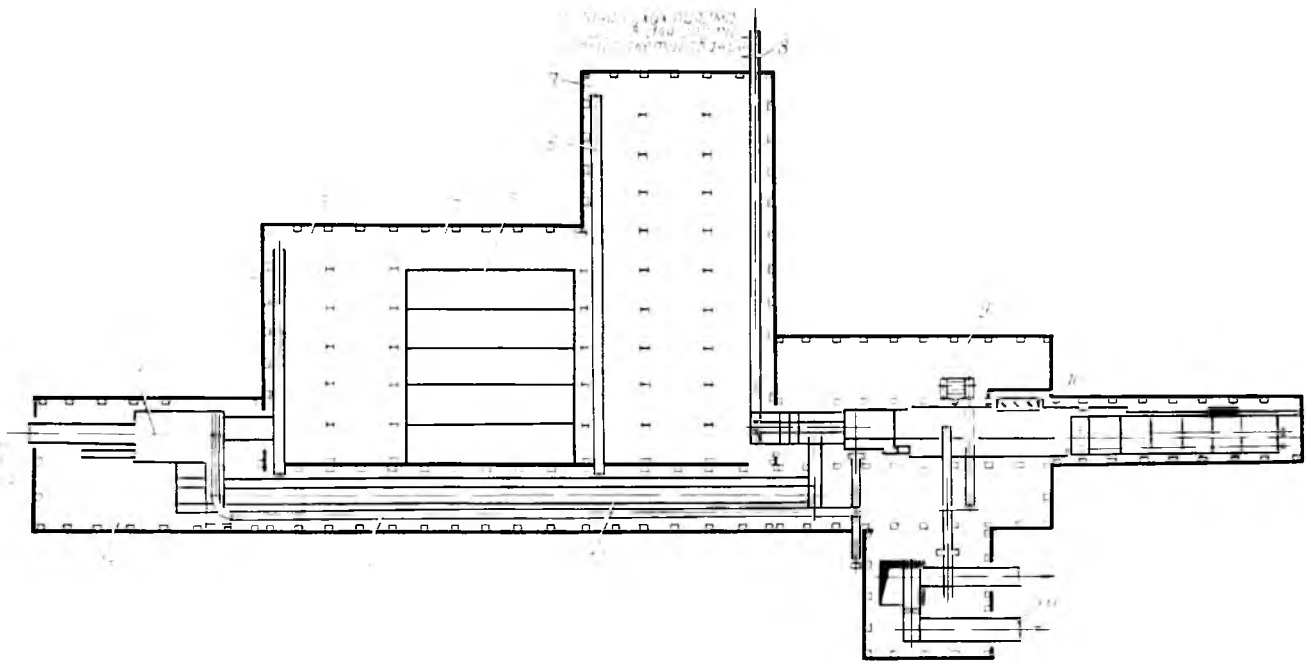


Рис. 47. Схема цеха сушки, сортировки и пакетирования:

1 — пакетоформирующая машина фирмы «Валмет» (подача прокладок справа); 2 — подача сырых пиломатериалов на промежуточный склад; 3 — склад промежуточного хранения штабелей сырых пиломатериалов; 4 — вспомогательные помещения (электроцентр, лаборатория, теплоцентр, гидроцентр); 5 — лесосушильные камеры; 6 — подача сухих пиломатериалов на склад; 7 — склад промежуточного хранения штабелей сухих пиломатериалов; 8 — подача сухих пиломатериалов на сортировку и пакетирование; 9 — линия сортировки и пакетирования фирмы «План-Селл»; 10 — кабина управления; 11 — выдача сухих транспортных пакетов; 12 — конвейер возврата прокладок фирмы «План-Селл»; 13 — конвейер возврата тележек фирмы «План-Селл»; 14 — отделение формирования штабелей

вают 1...6 сут, в зависимости от сечения пиломатериалов, тонкие пиломатериалы, например, выдерживают 1...2 сут.

Из остывочного помещения пиломатериалы на траверсной тележке доставляют в отделение сортировки и пакетирования фирмы «План-Селл» производительностью 150 тыс. м³ с учетом того, что в отделение могут дополнительно поступать сухие пиломатериалы, высушенные атмосферным или другим способом. Сформированные в отделении сортировки и пакетирования плотные пакеты выносятся из цеха конвейером. Подштабельные тележки и прокладки в отделение формирования штабелей возвращаются также с помощью конвейера.

В таких цехах сушки, сортировки и пакетирования единая технологическая линия ускоряет выпуск и поставку сухих пакетированных пиломатериалов, при этом не требуются склады большой емкости, сокращается потребность в рабочей силе благодаря механизации процессов формирования и транспортировки как сушильных штабелей, так и транспортных пакетов.

Глава 5

ТЕХНОЛОГИЯ КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

УКЛАДКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ШТАБЕЛЯ

На лесозаводах применяют камеры как непрерывного, так и периодического действия, поэтому рассмотрим технологию для камер обоих типов.

Одно из важнейших условий, обеспечивающих надлежащую эксплуатацию сушильных камер и высокое качество сушки, — это правильная укладка пиломатериалов в штабеля. При укладке должны обеспечиваться: механическая прочность штабеля; стабильность его формы; равномерный обдув всех досок в штабеле циркулирующим сушильным агентом. При правильной укладке значительно снижается брак от коробления и растрескивания и улучшается равномерность просыхания пиломатериалов в штабеле.

При сушке древесины изменяются ее линейные размеры и объем (усушка), причем возникающие деформации имеют различную величину в радиальном и тангенциальном направлениях. Изменение заданной формы пиломатериалов при сушке называется короблением. Различают два типа коробления: поперечное и продольное, соответственно в поперечной и продольной плоскостях доски.

Поперечная покособленность возникает вследствие усушки, большей в тангенциальном, чем в радиальном направлении [44]. На рис. 48, *a* показано, что доска 1 чисто радиальной распиловки не коробится при сушке. Доски 2 и 3, выпиленные из левой или правой части бревна, приобретают желобчатую покособленность. Так как направление волокон внутренней (обра-

щенной к центру бревна) пласти доски ближе к радиальному, чем наружной, то она усыхает меньше, и доска изгибается выпуклостью к центру бревна. Это и обуславливает важность правильной укладки штабеля пиломатериалов, что позволяет предотвратить коробление (кроме верхних рядов досок в штабеле) при сушке.

Продольное коробление досок при сушке вызывается различием между усушкой вдоль и поперек волокон. Доски выпиливают не строго параллельно волокнам, поэтому после сушки доска или заготовка может иметь покоробленность по кромке (рис. 48, б) или по пласти (рис. 48, в). Эти виды коробления

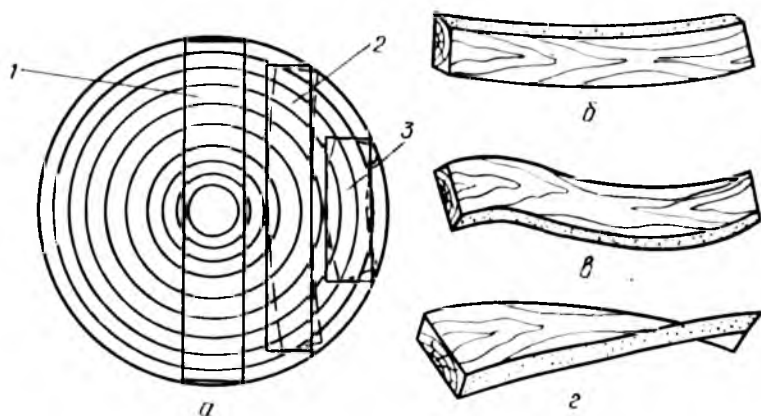


Рис. 48. Виды коробления:

а — поперечное; *б* — продольное по кромке; *в* — продольное по пласти; *г* — винтовая покоробленность
1 — радиальное; *2, 3* — смешанное направление волокон («желобчатая» покоробленность) при распиловке

особенно присущи доскам, имеющим неоднородные по строению участки, например крень. Винтовая покоробленность (рис. 48, г) возникает у досок с наклоном волокон (отклонение волокон от продольной оси бревна).

Рассмотренные виды коробления возникают при сушке досок в свободном состоянии. Единственный способ предупреждения коробления — сушка досок в зажатом состоянии под нагрузкой. При этом во время сушки доска сохраняет плоскую форму, так как возникающие упругие деформации перерождаются в остаточные [44]. Правила укладки регламентируются Руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки древесины [43].

Штабель следует формировать из пиломатериалов одной породы древесины и одной толщины. Подштабельное основание должно быть прочным, жестким, а его верх — горизонтальным. Длина основания должна равняться длине штабеля. В качестве

подштабельного основания рекомендуется использовать подштабельные тележки.

При камерной сушке используют штабеля двух типов:

1) пакетный штабель (рис. 49, а), формируемый при помощи подъемно-транспортных средств из нескольких пакетов, предварительно уложенных на пакетоформирующей машине или вручную;

2) цельный штабель (рис. 49, б) полностью формируемый штабелеформирующей, пакетоформирующей машинами или вручную на лифте.

Форма поперечного сечения пакетов и штабелей должна быть прямоугольной, а торцы их выравнивают по вертикали с обеих боковых сторон штабеля. Размеры пакетов и штабелей

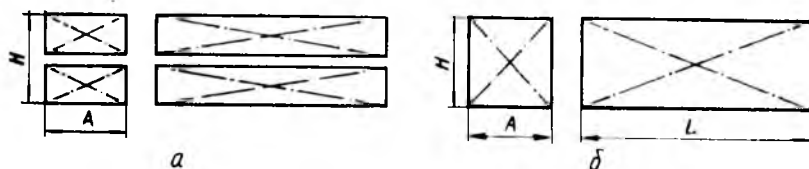


Рис. 49. Типы штабелей:

а — пакетный; б — цельный

должны соответствовать типам камер. Рекомендуемые размеры пакетов и штабелей приведены в табл. 8. Длина пакета или штабеля определяется максимальной длиной укладываемых пиломатериалов, ширина и высота — типом сушильных камер и параметрами механизмов, применяемых при укладке.

8. Размеры пакетов и штабелей, м

Габаритные размеры	Камеры		
	периодического действия	непрерывного действия с закаткой штабелей	
		продольной	поперечной
Ширина	1,8	1,8	1,8; 2,0
Высота	2,6; 3,0	2,6; 3,0	3,0; 5,0
Длина*	2,5; 4,5; 6,5	4,5; 6,5	6,8**

* В камерах периодического действия при сушке заготовок длина штабеля равна или кратна длине заготовок.

** В зависимости от ширины камеры допускается длина штабеля до 7 м.

В зависимости от характера циркуляции агента сушки через штабель пиломатериалы укладывают: а) сплошными рядами, без промежутков (шпаций) между досками (рис. 50, а) для камер с горизонтальной циркуляцией поперек штабелей; б) с промежутками (шпациями) между досками (рис. 50, б) для камер

с горизонтальной циркуляцией вдоль штабелей и с вертикальной, в том числе естественной, циркуляцией.

Необрезные доски укладывают комлями в разные стороны. Если доски имеют разную ширину, то узкие укладывают в середину, а широкие — по краям пакета или штабеля. Если по ширине пакета или штабеля целое число досок не размещается, то оставляют зазор в середине. В штабелях или пакетах со шпациями общая ширина шпаций должна составлять, %: при укладке обрезных досок — 35, необрезных — 57 от ширины штабеля. Шпации распределяют равномерно по ширине штабеля.

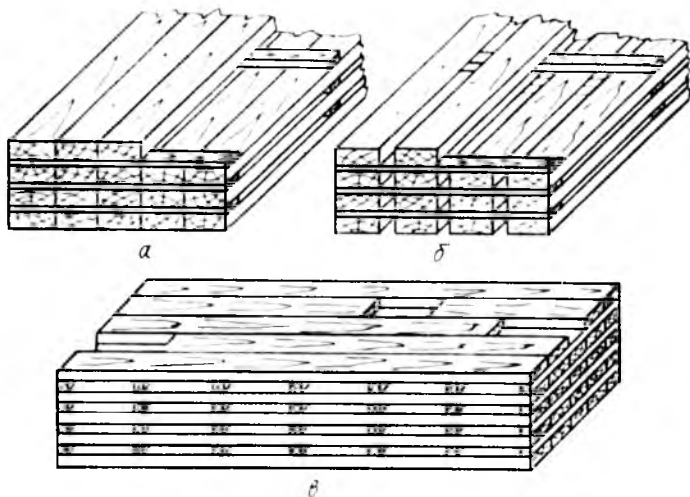


Рис. 50. Примеры укладки пиломатериалов в штабеля без шпаций (а), со шпациями (б), в ряду пакета или штабеля (в)

Допускается укладка в один пакет или штабель пиломатериалов, различных по длине, вразбежку. При этом длинные доски укладывают по краям пакета или штабеля, короткие — в середине. Стыкуемые пиломатериалы располагают не менее чем на двух прокладках, при этом внешние торцы выравниваются по торцам пакета или штабеля (рис. 50, в).

Горизонтальные ряды пиломатериалов в пакетах и штабелях должны разделяться межрядовыми прокладками, а пакеты по высоте штабеля — межпакетными. Для закладки контрольных образцов в пакетах или штабелях оставляют свободные места. Контрольный образец должен располагаться не менее чем на 2 прокладках.

Число межрядовых прокладок по длине пакета или штабеля устанавливают в зависимости от породы, толщины пиломатериалов и длины штабеля (табл. 9).

По высоте штабеля прокладки следует укладывать вертикально одну над другой. Крайние прокладки рекомендуется ук-

ладывать на расстоянии не более 25 мм от торцов пиломатериалов. Концы прокладок не должны выступать за боковые поверхности пакета или штабеля более чем на 25 мм.

При формировании пакетов и штабелей на машинах допускается размещать крайние прокладки на расстоянии до 100 мм от торцов штабеля и устанавливать число прокладок по длине в соответствии с техническими параметрами формирующей машины.

9. Рекомендуемое число прокладок в горизонтальном ряду пиломатериалов по длине пакета или штабеля

Толщина пиломатериалов, мм	Хвойные породы			Лиственные породы		
	Длина пакета или штабеля, мм					
	2,5	4,0—4,5	6,5—6,8	2,5	4,9—4,5	6,5—6,8
16 . . . 19	5	8	12	7	10	14
22 . . . 25	5	7	10	6	9	12
32 . . . 40	4	5	7	5	7	9
50 и более	3	4	6	4	5	7

Число межпакетных прокладок по длине пакетного штабеля должно быть равным числу межрядовых прокладок. При формировании штабеля межпакетные прокладки должны размещаться в одном вертикальном ряду с межрядовыми прокладками пакетов.

По назначению прокладки подразделяют на межрядовые для разделения рядов пиломатериалов, уложенных в штабель или пакет, и межпакетные для разделения пакетов при формировании пакетного штабеля. Размеры прокладок приведены в табл. 10.

10. Габаритные размеры прокладок, мм

Назначение прокладок	Толщина	Ширина	Длина
Межрядовые	25*	40	1800; 2000
Межпакетные	75; 100	75; 100	1800; 2000

* В штабелях высотой до 3 м допускается применять прокладки толщиной 22 мм; в штабелях высотой 5 м — толщиной до 32 мм и шириной до 50 мм.

Отклонения от установленных размеров допускают не более, мм: по толщине ± 1 ; ширине ± 2 ; длине ± 10 . При укладке в штабель заготовок в качестве прокладок допускается использовать сами заготовки, если толщина их не более 32 мм, а ширина не более 70 мм.

Прокладки изготовляют из древесины хвойных и лиственных пород, не имеющей гнили и синева. Влажность древесины для изготовления прокладок при сушке пиломатериалов до транспортной влажности не должна превышать 22 %, при сушке до эксплуатационной влажности — 10 %.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

Процесс сушки пиломатериалов и заготовок в камерах всех типов характеризуют следующие технологические и контрольные операции: определение начальной и текущей влажности древесины; назначение режима сушки; загрузка камеры и начальный прогрев древесины; управление сушильной камерой; контроль за режимом сушки и состоянием материала; влаго-теплообработка древесины; кондиционирующая обработка древесины.

Определение влажности древесины при сушке. Начальную влажность древесины определяют по секциям, а текущую — по контрольным образцам, выпиленным из досок. Схема отбора секций влажности и контрольного образца показана на рис. 51. Контрольный образец вырезают длиной не менее 1 м. Секции выпиливают из досок, характерных для данной партии по строению, плотности и влажности, без гнили, засмолков, сучков и трещин, затем зачищают от заусенцев и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Взвешенные секции укладывают в сушильный шкаф, так, чтобы они не соприкасались с поверхностями внутренней обшивки, и высушивают при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Влажность секций определяют согласно ГОСТ 16588—79 сушильно-весовым методом.

Первый раз секции взвешивают через 5..6 ч после начала сушки, последующие — через каждые 2 ч. Если результат последнего взвешивания совпадает с предыдущим или отличается от него не более чем на 0,02 г, его принимают за массу абсолютно сухой секции, записывают в журнал, и сушку заканчивают.

Перед взвешиванием секции охлаждают в эксикаторах с безводным хлористым кальцием или серной кислотой концентрацией не менее 94 % (плотностью 1,84).

Начальную влажность секций подсчитывают по формуле

$$W_{\text{нач}} = 100(m_{\text{нач}} - m_{\text{с}})/m_{\text{с}}, \quad (19)$$

где $m_{\text{нач}}$ — начальная масса секции, г; $m_{\text{с}}$ — масса абсолютно сухой секции, г.

Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям доски (заготовки), принимают за начальную влажность $W_{\text{нач}}$ контрольного образца. По контрольному образцу определяют текущую влажность в процессе сушки.

В каждый сушильный штабель укладывают по 2 контрольных образца в места интенсивной и замедленной сушки, устанавливаемые из опыта эксплуатации камер. Средняя влажность их принимается за начальную влажность пиломатериалов в штабеле.

Контрольные образцы нумеруют, торцы очищают и покрывают густотертой масляной краской. После этого их взвешивают на торговых весах с точностью до 5 г. Массу записывают на образцах и в журнале.

Образцы укладывают заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже, так, чтобы их легко можно было вынуть. В процессе сушки через определенные промежутки времени (8...24 ч) в зависимости от характеристик пиломатериалов

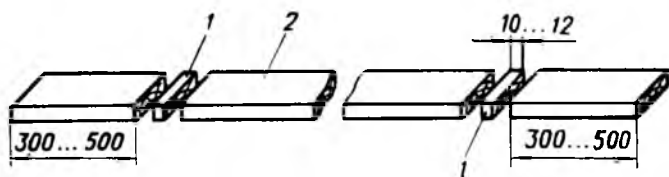


Рис. 51. Схема отбора секций влажности (1) и контрольного образца (2)

образцы вынимают из штабеля и взвешивают. В камерах непрерывного действия образцы вынимают для взвешивания только тогда, когда штабель с контрольным образцом подойдет к разгрузочной части. Текущую влажность образцов находят по формуле

$$W_t = \frac{M_t - M_c}{M_c} 100 \%, \quad (20)$$

где M_t — масса образца в момент определения текущей влажности, т; M_c — масса образца в абсолютно сухом состоянии, г.

$$M_c = \frac{100M_{нач}}{100W_{нач}}, \quad (21)$$

где $M_{нач}$ — начальная масса образца, г.

По текущей влажности медленно сохнущего образца судят о времени перехода с одной ступени режима на другую, по средней влажности всех образцов, закладываемых в штабель, — о времени окончания процесса сушки. При этом необходимо учитывать, что контрольные образцы высыхают быстрее, чем остальные доски в штабеле, к концу сушки разница в ряде случаев может достигать 2...3 %.

Если средняя влажность пиломатериалов (заготовок) в штабеле больше требуемой, пиломатериалы досушивают. При меньшем значении средней влажности пиломатериалы подлежат влаготеплообработке.

Для уточнения средней конечной влажности после выкатки штабеля из камеры рекомендуется провести контрольную проверку путем взятия секций влажности из отдельных зон штабеля. Возможно определение влажности пиломатериалов после выкатки штабеля при толщине их не более 40 мм и электро-влажномером согласно ГОСТ 16588—79.

Режимы сушки. Режимом сушки называют расписание параметров сушильного агента, координированное по времени или по состоянию древесины. Стандартные режимы координированы по влажности древесины. При сушке пиломатериалов применяют режимы с повышающейся по ходу процесса жесткостью. Жесткость режима характеризует скорость испарения влаги из материала в среде заданного этим режимом состояния. При повышении температуры и снижении степени насыщенности (повышении психрометрической разности) сушильного агента жесткость режима увеличивается.

Безопасность режима — обеспечение сохранения целостности древесины при сушке. Если внутренние напряжения, возникающие в древесине при сушке, меньше предела прочности древесины в режимных условиях, то безопасность обеспечивается. В противном случае могут возникнуть нарушения целостности древесины — трещины. Характер развития внутренних напряжений при сушке обуславливает требования к допустимой жесткости режима, параметрам среды во время сушки [45].

В начальной стадии при определенной заданной температуре поддерживается высокая степень насыщенности, а затем при снижении влажности древесины температура повышается, а степень насыщенности уменьшается.

Если при сушке такой вид брака, как покоробленность, зависит от правильности укладки пиломатериалов в штабеля, достаточно плотного зажатия досок при сушке, то второй распространенный вид дефектов сушки — трещины — определяется главным образом, режимными параметрами среды и условиями проведения процесса. Наиболее типичные виды трещин: наружные (пластовые и кромочные), внутренние (свищи или раковины), торцовые и радиальные.

Пластовые и кромочные трещины образуются вследствие чрезмерно интенсивного испарения влаги с поверхности при излишне жестком режиме в первый период сушки, когда наружные слои пересыхают и внутренние напряжения растяжения в них достигают предела прочности.

Образовавшиеся поверхностные трещины обычно углубляются и расширяются до момента перемены знака внутренних напряжений. После перемены знака напряжений трещины начинают закрываться и в конце сушки могут быть незаметны. Прочность пиломатериалов при этом понижается. Наружному растрескиванию больше подвержены сердцевинные доски, в которых образуются так называемые радиально направленные трещины (боковые), выходящие на боковую поверхность

вследствие различной усушки древесины в радиальном и тангенциальном направлениях.

Торцовые трещины — следствие высокой влагопроводности древесины вдоль волокон. Торцы пиломатериалов испаряют влагу интенсивнее, чем остальная их поверхность. Понижение влажности в торцах вызывает их усушку, вследствие чего возникают внутренние напряжения растяжений, которые являются причиной образования трещин.

Внутренние трещины образуются в конце процесса сушки, когда растягивающие внутренние напряжения в центре сортифта достигают предела прочности древесины. Эти трещины характерны для толстых пиломатериалов, особенно из твердых пород древесины. Для их предупреждения в начальной стадии процесса необходимо применять режимы с небольшой жесткостью и проводить периодическую влаготеплообработку древесины.

Таким образом, растрескивание пиломатериалов происходит из-за несоблюдения или неправильно выбранного, слишком жесткого режима сушки, а также режимов влаготеплообработки.

В стандартных режимах в качестве определяющих параметров сушильного агента приняты: температура t ; степень насыщенности ϕ ; психрометрическая разность $\Delta t = t - t_m$, где t_m — температура смоченного термометра психрометра.

Режимы сушки регламентируют состояние сушильного агента при входе его в штабель. Это обуславливает место установки в камере психрометров. Если по конструктивным причинам датчики установлены не на месте входа потока в штабель, в их показания должны вводиться поправки, устанавливаемые путем контрольных измерений.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству древесины, пиломатериалы могут высушиваться режимами различных категорий по температурному уровню. Различают режимы низкотемпературного и высокотемпературного процессов.

Режимы низкотемпературного процесса предусматривают использование в качестве сушильного агента влажного воздуха с температурой в начальной стадии ниже 100°C . Установлены категории этих режимов: мягкие, нормальные и форсированные [46].

Режимы высокотемпературного процесса предусматривают использование в качестве сушильного агента перегретого пара атмосферного давления с температурой выше 100°C .

Режимы той или иной категории в каждом конкретном случае выбирают с учетом характера их воздействия на свойства древесины. В связи с тем, что в лесопильно-деревообрабатывающей промышленности высокотемпературные режимы почти не применяют, так как они вызывают потемнение древесины и некоторое снижение ее прочности, здесь их не рассматриваем.

Мягкие режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при полном сохранении естественных физико-механических свойств древесины, в том числе прочности и цвета, рекомендуют для сушки до транспортной влажности экспортных пиломатериалов и в отдельных случаях пиломатериалов высших сортов внутрисоюзного потребления.

Нормальные режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при практически полном сохранении прочностных показателей древесины с возможными незначительными изменениями ее цвета, рекомендуют для сушки пиломатериалов внутрисоюзного потребления до любой конечной влажности.

Форсированные режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при сохранении прочности на статический изгиб, растяжение и сжатие, но при некотором (до 20%) снижении прочности на скалывание и раскалывание с возможным потемнением древесины, рекомендуют для сушки до эксплуатационной влажности пиломатериалов, предназначенных для изделий и узлов, работающих с большим запасом прочности.

В противоточных камерах подготовку сушильного агента производят только перед подачей его в разгрузочный конец. Состояние сушильного агента по длине камеры изменяется без промежуточного регулирования только за счет испарения влаги из материала, при этом температура по смоченному термометру сохраняется приблизительно постоянной. Режимы характеризуются стабильным (для данного материала) состоянием сушильного агента в разгрузочном и загрузочном концах камеры.

Основное назначение противоточных камер — сушка до транспортной влажности 0 (нулевая категория качества) пиломатериалов хвойных пород толщиной до 75 мм. Допускается сушка до эксплуатационной влажности пиломатериалов мягких хвойных пород (сосны, ели, пихты, кедра) такой же толщины и мягких лиственных пород (березы, осины) толщиной до 60 мм по III категории, а в отдельных случаях, в камерах с отсеками для конечной влаготеплообработки, по II категории качества.

Режимы сушки до транспортной и эксплуатационной влажности пиломатериалов мягких хвойных пород в камерах непрерывного действия согласно ГОСТ 18867—84 приведены в табл. 11. Конкретный режим обозначен номером, характеризующим группы толщин, и прописной буквой (М, Н, Ф), указывающей категорию режима. Например, нормальный режим сушки до транспортной влажности досок или заготовок толщиной 50 мм обозначается 5-Н.

Непосредственно по табл. 11 выбирают режимы сушки сосновых, кедровых и пихтовых пиломатериалов. Для еловых пиломатериалов режимы назначают по ближайшей меньшей группе толщин, для пиломатериалов мягких лиственных пород —

11. Режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, пихты, кедра

Номер и индекс режима	Толщина пиломатериалов, мм	Состояние сушильного агента в разгрузочном конце камеры			Максимальная психрометрическая Δt_2 в загрузочном конце при начальной влажности древесины, %	
		$t_1, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_1, ^\circ\text{C}$	Φ	более 50	до 50

Мягкие режимы при средней конечной влажности древесины 18 ... 22 %

1-М	До 22	55	15	0,40	4	6
2-М	Свыше 22 до 25	55	14	0,44	4	5
3-М	» 25 » 32	55	12	0,50	3	5
4-М	» 32 » 40	55	11	0,53	3	4
5-М	» 40 » 50	55	10	0,57	3	4
6-М	» 50 » 60	55	9	0,60	2	3
7-М	» 60 » 75	55	8	0,64	2	3

То же при 10 ... 12 %

8-М	До 22	58	19	0,31	4	6
9-М	Свыше 22 до 25	58	17	0,36	4	5
10-М	» 25 » 32	58	15	0,42	3	5
11-М	» 32 » 40	58	13	0,48	3	4
12-М	» 40 » 50	58	12	0,51	3	4
13-М	» 50 » 60	58	11	0,54	2	3
14-М	» 60 » 75	58	10	0,58	2	2

Нормальные режимы при средней конечной влажности древесины 18 ... 22 %

1-Н	До 22	94	25	0,35	7	9
2-Н	Свыше 22 до 25	92	23	0,38	6	9
3-Н	» 25 » 32	89	20	0,43	5	8
4-Н	» 32 » 40	87	18	0,46	5	8
5-Н	Свыше 40 до 50	85	16	0,50	5	8
6-Н	» 50 » 60	83	14	0,54	4	7
7-Н	» 60 » 75	80	11	0,61	4	6

То же при 10 ... 12 %

8-Н	До 22	102	33	0,25	7	9
9-Н	Свыше 22 до 25	100	31	0,28	6	9
10-Н	» 25 » 32	97	28	0,31	5	8
11-Н	» 32 » 40	94	25	0,35	5	8
12-Н	» 40 » 50	91	22	0,39	5	8
13-Н	» 50 » 60	87	18	0,46	4	7
14-Н	» 60 » 75	84	15	0,51	4	6

Форсированные режимы при средней конечной влажности древесины 10 ... 12 %

1-Ф	До 22	112	35	0,26	7	10
2-Ф	Свыше 22 до 25	110	33	0,28	6	10
3-Ф	» 25 » 32	107	30	0,31	5	9
4-Ф	» 32 » 40	104	27	0,34	5	8
5-Ф	» 40 » 50	101	24	0,38	5	8
6-Ф	» 50 » 60	98	21	0,43	4	7
7-Ф	» 60 » 75	95	18	0,48	4	7

по ближайшей большей группе толщин. В зависимости от назначения пиломатериалов сушку проводят: до транспортной влажности — нормальными режимами; если требуется сохранить естественный цвет древесины, в частности экспортных пиломатериалов, — мягкими;

до эксплуатационной влажности — нормальными режимами; в случаях, когда предъявляют особенно высокие требования к прочности древесины, — мягкими, а если допустимо снижение прочности древесины — форсированными.

Режимы сушки до транспортной влажности пиломатериалов из древесины лиственницы согласно ГОСТ 18867—84 приведены в табл. 12. Обозначение конкретного режима состоит из индекса Л (лиственница) с номером, характеризующим группу толщин, и прописной буквы (М, Н, Ф), указывающей категорию

12. Режимы сушки пиломатериалов из древесины лиственницы до транспортной влажности 18 . . . 22 %

Номер и индекс режима	Толщина пиломатериалов, мм	Состояние сушильного агента в разгрузочном конце камеры		
		t_1 , °C	Δt_1 , °C	φ

Мягкие режимы

Л 1-М	До 22	55	15	0,40
Л 2-М	Свыше 22 до 25	55	14	0,44
Л 3-М	» 25 » 32	55	12	0,50
Л 4-М	Свыше 32 до 40	55	11	0,53
Л 5-М	» 40 » 50	55	10	0,57
Л 6-М	» 50 » 60	55	9	0,60
Л 7-М	» 60 » 75	55	8	0,64

Нормальные режимы

Л 1-Н	До 22	85	23	0,35
Л 2-Н	Св. 22 до 25	85	20	0,41
Л 3-Н	» 25 » 32	85	17	0,47
Л 4-Н	» 32 » 40	85	15	0,52
Л 5-Н	» 40 » 50	85	13	0,57
Л 6-Н	» 50 » 60	85	11	0,63
Л 7-Н	» 60 » 75	85	9	0,69

Форсированные режимы

Л 1-Ф	До 22	105	20	0,46
Л 2-Ф	Свыше 22 до 25	105	18	0,50
Л 3-Ф	» 25 » 32	105	16	0,55
Л 4-Ф	» 32 » 40	105	14	0,60
Л 5-Ф	» 40 » 50	105	12	0,64
Л 6-Ф	» 50 » 60	105	11	0,67
Л 7-Ф	» 60 » 75	105	10	0,69

Примечание. Максимальная психрометрическая разность Δt_2 в разгрузочном конце камеры $\Delta t_2 = 1$.

18. Исходная продолжительность $\tau_{исх}$ начального прогрева, ч, пиломатериалов в камерах

Толщина пиломатериалов S_1 , мм	Ширина пиломатериалов S_2 , мм	$\tau_{исх}$ при скорости циркуляции, м/с					
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
До 16	Любая	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
19	»	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1
22	»	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1
25	»	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2
32	»	2,6	2,2	1,9	1,7	1,6	1,5
40	»	3,7	3,0	2,6	2,3	2,1	1,9
50	60 . . . 70	4,3	3,6	3,0	2,7	2,4	2,2
50	более 70	4,8	3,9	3,2	2,9	2,7	2,4
60	60 . . . 70	4,8	3,9	3,2	2,9	2,7	2,5
60	80 . . . 130	5,1	4,2	3,5	3,2	2,8	2,7
60	140 и более	5,5	4,5	3,8	3,4	3,0	2,8
70	80 . . . 100	5,6	4,5	3,8	3,4	3,1	2,9
70	110 . . . 130	6,2	4,9	4,2	3,8	3,4	3,2
70	140 . . . 180	6,5	5,1	4,4	4,0	3,6	3,3
70	Более 180	6,6	5,2	4,6	4,1	3,8	3,5
75	80 . . . 100	5,9	4,6	3,9	3,5	3,2	2,9
75	110 . . . 130	6,7	5,2	4,5	3,1	3,7	3,4
75	140 . . . 180	7,2	5,6	4,8	4,4	3,9	3,7
75	Более 180	7,8	6,0	5,2	4,7	4,2	3,9

Примечание. При реверсивной циркуляции продолжительность прогрева уменьшается на 10 %. Для камер с циркуляцией слабой интенсивности начальный прогрев проводят без реверсирования.

19. Значения коэффициента A_T

Начальная температура t_0 , °C	A_T при температуре среды при прогреве t_{np} , °C			
	60	70 . . . 80	90	100
Ниже —20	1,05	1,1	1,15	1,2
—20 . . . 0	0,95	1,0	1,05	1,1
Выше 0	0,75	0,85	0,95	1,0

20. Значения коэффициента A_B

Начальная температура t_0 , °C	A_B при влажности древесины W , %						
	30	40	60	80	100	120	140
Ниже 0	0,84	0,87	1,02	1,10	1,30	1,38	1,45
Выше 0	0,90	0,94	1,0	1,08	1,15	1,22	1,28

Пример. Выбрать режим и рассчитать продолжительность начальной обработки при следующих условиях: прогреваются сосновые доски сечением 40×100 мм с начальной влажностью 80 %. Температура материала $t_0 = -20^\circ\text{C}$. Скорость циркуляции агента обработки в камере $\omega_{\text{мат}} = 2,5$ м/с. Сушка предполагается в нормальном режиме.

1) Режим начальной обработки. В соответствии с табл. 17 принимаем температуру среды при прогреве $t_{\text{пр}} = 90^\circ\text{C}$.

2) Продолжительность обработки. Исходная продолжительность (см. табл. 18) для реверсивной циркуляции составляет $\tau_{\text{исх}} = 2,1$ ч; коэффициент температуры $A_T = 1,05$ (см. табл. 19); коэффициент влажности $A_B = 1,10$ (см. табл. 20); коэффициенты породы $A_{\text{п}}$ и ширины штабеля $A_{\text{ш}}$ равны 1. Продолжительность прогрева, ч, составит

$$\tau = \tau_{\text{исх}} \cdot A_T \cdot A_B \cdot A_{\text{п}} \cdot A_{\text{ш}} = 2,1 \cdot 1,05 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,4.$$

Рекомендации по проведению прогрева древесины распространяются на камеры периодического действия, снабженные увлажнительной системой, и камеры непрерывного действия с отсеками для начальной влаготеплообработки.

В действующих противоточных камерах непрерывного действия прогрев материала осуществляется непосредственно влажным сушильным агентом, поступающим в загруженный штабель. Поэтому специальные режимы и продолжительность начального прогрева не регламентируют. Для того чтобы охлаждение сушильного агента во вновь загруженном штабеле не приводило к длительному нарушению заданного режима сушки, необходимо загружать и выгружать материал по одному штабелю.

Влаготеплообработка древесины. Для снятия или уменьшения остаточных внутренних напряжений, возникающих в древесине при сушке, проводят конечную и промежуточную обработку древесины в среде повышенной температуры и влажности, называемую влаготеплообработкой. Для создания такой среды в сушильное пространство камеры периодического действия или в отсек влаготеплообработки разгрузочного конца камеры непрерывного действия подают пар или распыленную горячую воду при включенных калориферах, работающих в вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах.

Если сушильные камеры не оборудованы увлажнительными системами или отсеками, конечная влаготеплообработка высушенных пиломатериалов может проводиться в специально предназначенных для этого пропарочных камерах. Влаготеплообработке подвергают пиломатериалы, высушиваемые до эксплуатационной влажности по I и II категориям качества сушки. Независимо от категории качества влаготеплообработку проводят при сушке пиломатериалов твердых лиственных пород и лиственницы.

Конечную влаготеплообработку проводят после достижения древесиной заданной конечной влажности. Во время обработки температуру среды в камерах периодического действия поддер-

живают на 8°C выше температуры на последней ступени режима сушки (в отсеках камер непрерывного действия на 6°C выше температуры в разгрузочном конце), но не более 100°C .

Психрометрическую разность устанавливают равной $0,5\dots 1^{\circ}\text{C}$ (в отсеках камер непрерывного действия — $1\dots 2^{\circ}\text{C}$). Если тепловая мощность камер недостаточна, допускается влаготеплообработка при температуре, соответствующей последней ступени процесса сушки.

Продолжительность влаготеплообработки должна быть такой, чтобы зубцы силовых секций, выпиленных из контрольных образцов, досок или заготовок (см. ниже), после выдержки их в сушильном шкафу имели относительную деформацию изгиба не более 2% .

После конечной влаготеплообработки пиломатериалы выдерживают в камере в течение $2\dots 3$ ч при психрометрической разности последней ступени режима сушки, затем прекращают подачу пара в калориферы и охлаждают древесину до $30\dots 40^{\circ}\text{C}$ при открытых приточно-вытяжных каналах.

В случаях, когда в древесине могут появиться внутренние трещины, проводят промежуточную влаготеплообработку. Рекомендуется подвергать промежуточной влаготеплообработке пиломатериалы, толщина которых превышает, мм: для сосны, ели, пихты, кедра, осины, липы, тополя — 60 ; для березы, ольхи — 50 ; для лиственницы, бука, клена — 40 ; для дуба, ильма, ореха, граба, ясеня — 32 .

Промежуточную влаготеплообработку назначают в камерах периодического действия при переходе со второй на третью ступень при низкотемпературных режимах сушки. Температуру среды поддерживают на 8°C выше температуры предшествующей обработке ступени режима сушки, но не более 100°C , а психрометрическую разность устанавливают равной $1,5\dots 2^{\circ}\text{C}$.

Продолжительность промежуточной влаготеплообработки должна быть такой, чтобы зубцы силовой секции, выпиленной из контрольных образцов, досок или заготовок, имели после выравнивания влажности относительную деформацию не более 2% . Допускается уменьшить продолжительность промежуточной обработки настолько, чтобы относительные деформации зубцов силовой секции не превышали $3\dots 4\%$, или вообще не проводить ее, если контрольными опытными сушками установлено, что не наблюдается внутренних трещин.

Ориентировочная общая продолжительность влаготеплообработок в зависимости от породы и толщины пиломатериалов приведена в табл. 21.

При отсутствии промежуточной обработки данные табл. 21 характеризуют продолжительность конечной обработки. В случаях, когда проводятся и промежуточная, и конечная обработки, на первую используют до $1/3$, а на вторую остальную часть указанного в таблице времени. При влаготеплообработке остывшего материала в специальных пропарочных камерах ее про-

должительность по сравнению с указанной в таблице сокращается в 2 раза.

Поскольку необходимую продолжительность влаготеплообработок определяет ряд переменных факторов — параметры внешней среды, теплопроводность и герметичность ограждений, давление пара, фактическая температура среды при обработке и др., — приведенные в табл. 21 рекомендации можно корректировать в зависимости от конкретных условий и в соответствии с результатами контроля остаточных напряжений.

21. Продолжительность влаготеплообработок, ч

Толщина пиломатериалов, мм	Порода древесины				
	сосна, осина, ель, пихта, кедр, липа, тополь	береза, ольха	лиственница	бук, клен	дуб, вильм, орех, граб, ясень
До 22	1,5	2	3	3,5	4
Свыше 22 до 32	2	3	4	5	6
Свыше 32 до 40	3	6	8	10	12
Свыше 40 до 50	6	12	14	16	20
Свыше 50 до 60	9	18	21	24	30
Свыше 60 до 75	14	30	35	40	50
Свыше 75	24	60	65	70	80

Кондиционирующая обработка древесины. Для выравнивания влажности древесины по объему штабеля и толщине пиломатериалов проводят кондиционирующую обработку. С этой целью в камере с помощью калориферов и увлажнительных устройств поддерживают такое состояние среды, при котором недосушенные сортименты подсыхают, а пересушенные увлажняются.

При сушке низкотемпературными режимами температура среды во время кондиционирующей обработки поддерживается на уровне, соответствующем последней ступени режима сушки, но не выше 100 °С, а степень насыщенности должна соответствовать по диаграмме равновесной влажности (рис. 52) (средней заданной конечной влажности, увеличенной на 1 %).

Пример 1. Определить состояние среды при кондиционирующей обработке, если температура на последней ступени режима $t_c = 85^\circ\text{C}$, а заданная конечная влажность $W_k = 7\%$. Устанавливаем необходимую при обработке равновесную влажность $W_p = 7 + 1 = 8\%$. Определяем по диаграмме (рис. 52) требуемую степень насыщенности φ . При $t_c = 85^\circ\text{C}$ и $W_p = 8\%$ $\varphi = 0,62$.

Пример 2. Определить состояние среды во время кондиционирующей обработки после сушки форсированным режимом, если температура на последней ступени $t_m = 110^\circ\text{C}$, а заданная конечная влажность $W_k = 7\%$. Необходимая при обработке равновесная влажность, как и в предыдущем примере, $W_p = 8\%$, а температура $t_c = 100^\circ\text{C}$. Определяем по диаграмме (см. рис. 52) требуемую степень насыщенности. При $t_c = 100^\circ\text{C}$ и $W_p = 8\%$ $\varphi = 0,69$.

Продолжительность кондиционирующей обработки зависит от многих факторов и назначается в соответствии с категорией качества сушки, а также особенностями камеры и материала. Для пиломатериалов I категории качества кондиционирующая обработка обязательна. Ее продолжительность ориентировочно равна половине продолжительности конечной влаготеплообработки.

При сушке пиломатериалов по II и III категориям качества кондиционирующую обработку проводят, если требуемая равномерность влажности до-

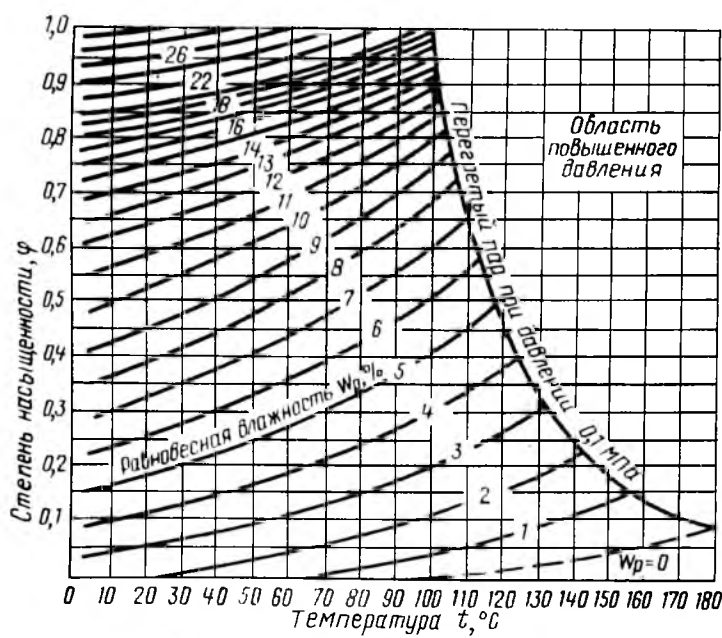


Рис. 52. Диаграмма равновесной влажности древесины

сок по объему штабеля в соответствии с результатами по предшествующим сушкам аналогичного материала не была достигнута. В камерах непрерывного действия кондиционирование проводят в случаях, когда имеются отсеки для влаготеплообработки.

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ СУШКИ

Транспортная и эксплуатационная влажность пиломатериалов и заготовок. При массовой сушке товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях основная цель сушки — обеспечение сохранности пиломатериалов на период их хранения и транспортирования от биологического разрушения, гниения. В табл. 22 приведены требования к влажности пиломатериалов, заготовок и изделий из древесины по соответствующим стандартам.

22. Влажность изделий из древесины, регламентируемая стандартами

Наименование изделия	Требуемая влажность, %	Стандарт
Пиломатериалы хвойных пород северной сортiroвки, поставляемые для экспорта	Не более 22	ГОСТ 26002—83Э
Пиломатериалы хвойных пород	Для пиломатериалов отборного I, II, III сортов, поставляемых с 1 мая по 1 октября, должна быть не более 22 + 3	ГОСТ 8486—66
Пиломатериалы лиственных пород	Пиломатериалы изготовляют сухими (с влажностью не более 22 %); сырыми (с влажностью более 22 %) и сырыми антисептированными. Антисептирование — по ГОСТ 10950—78. В период с 1 мая по 1 октября изготовление сырых пиломатериалов допускается с согласия потребителя	ГОСТ 2695—83
Пиломатериалы хвойных пород черноморской сортiroвки, поставляемые для экспорта	Не более 22	ГОСТ 9302—83Э
Пиломатериалы авиационные (бруски и доски)	То же	ГОСТ 968—68
Заготовки из древесины хвойных пород	Для заготовок не более 22; для клееных и калиброванных заготовок для паркетных покрытий должны соответствовать влажности деталей	ГОСТ 9685—61
Заготовки лиственных пород	Не более 22. В период с 1 октября по 1 мая допускается по согласованию с потребителем изготовление заготовок с влажностью более 22 %	ГОСТ 7897—83
Заготовки авиационные хвойных пород	Не более 15. По соглашению сторон допускается поставка антисептированных заготовок с влажностью древесины не более 20	ГОСТ 2646—71
Заготовки авиационные лиственных пород	Не более 15	ГОСТ 2996—79

Наименование изделия	Требуемая влажность, %	Стандарт
Заготовки деревянные резонансные для музыкальных инструментов	Номинальные размеры заготовок по толщине и ширине установлены при влажности 15 % Влажность неантисептированных заготовок, поставляемых в период с 1 мая по 1 октября, не должна превышать 25. При влажности более 25 % заготовки антисептируют по ГОСТ 10950—78	ГОСТ 6900—83
Детали деревянные для сельскохозяйственных машин	Для древесины неокрашенных деталей не более 18, кроме брусков сечением 100×100 мм и выше, влажность которых не более 22 %	ГОСТ 7072—71
Заготовки лыжные	Размеры заготовок установлены для древесины с влажностью 15 %	ГОСТ 48—76
Бочки для вин, соков и морсов	Не более 18	ГОСТ 248—75
Брусья переводные деревянные для железных дорог широкой колеи	То же	ГОСТ 9371—76
Бочки деревянные заливные и сухотарные	Не должна превышать: 9 — для бочек под консистентные нефтепродукты, лакокрасочную продукцию для южных районов; 12 — для других районов; 15 — для бочек под технический рыбий жир, жир морских зверей, икру лососевых пород рыб, технический йод, древесную смолу и пек для заливных бочек, изготавливаемых в IV климатической зоне СССР; 18 — для заливных бочек, изготавливаемых в других районах страны, и сухотарных бочек; влажность древесины пробок и нагелей должна быть на 3 . . . 5 % ниже влажности клепок	ГОСТ 8777—80Е
Ящики дощатые для продукции пищевой промышленности	Не должна превышать 18 для макарон и маргарина и 22 для остальных видов продукции	ГОСТ 13360—84
Ящики деревянные многооборотные для продукции легкой промышленности	Должна быть не более 22 и не менее 12	ГОСТ 6215—82

Наименование изделия	Требуемая влажность, %	Стандарт
Ящики дощатые неразборные для кондитерских изделий	Не более 18	ГОСТ 13357—81
Ящики дощатые для консервов	Не более 22 и не менее 12	ГОСТ 13358—84
Ящики дощатые для овощей и фруктов	Не более 22	ГОСТ 13359—84
Ящики деревянные многооборотные для продукции пищевой промышленности	Не более 22; для хлебных лотков на шиповых соединениях 18	ГОСТ 11354—82
Обрешетки дощатые для грузов массой до 500 кг	Не более 22	ГОСТ 12082—82
Доски подоконные деревянные	Влажность древесины подоконных досок 12 ± 3 ; влажность древесины заделок (пробок, планок) на 2...3 % меньше влажности подоконных досок	ГОСТ 17280—79
Детали деревянные, фрезерованные для строительства	12 ± 3	ГОСТ 8242—75
Детали и изделия деревянные для малоэтажных жилых и общественных зданий	В строганных деталях, предназначенных для применения внутри помещения, 15, снаружи помещения 18	ГОСТ 11047—72
Ящики дощатые неразборные для мясной, молочной и птицеводческой продукции	Не более 20; для дощечек и планок ящиков или комплектов для сливочного масла не более 18	ГОСТ 13361—84Е
Ящики дощатые неразборные	Для дощечек, планок ящиков или комплектов не более 20	ГОСТ 2991—76
Окна и двери деревянные	Для коробок наружных и тамбуров дверей 12 ± 3 %; внутренних дверей и дверных полотен 9 ± 3 %	ГОСТ 475—78
Плиты столярные	8 ± 2	ГОСТ 13715—78
Паркет штучный	9 ± 3	ГОСТ 862.1—76
Паркет мозаичный	9 ± 3	ГОСТ 862.2—76
Паркетные доски	8 ± 2	ГОСТ 862.3—77
Паркетные щиты	8 ± 2	ГОСТ 862.4—77
Мебель	Для деталей из массивной древесины 8 ± 2 . Для деталей из древесных материалов должна соответствовать указанной в нормативно-технической документации на эти материалы; для древесины тары и для упаковки мебели не более 22	ГОСТ 16371—84
Мебель для сидения и лежания	Влажность деталей из древесины и древесных материалов должна соответствовать требованиям ГОСТ 16371—84	ГОСТ 19917—80

Как видно из табл. 22 в большинстве случаев для пиломатериалов и заготовок предельная влажность устанавливается не более 22 %. При сушке штабеля наблюдается разброс влажности в отдельных досках относительно средней влажности, поэтому, чтобы влажность отдельных досок не превысила предельную, равную 22..23 %, штабель необходимо высушивать до более низкой влажности.

По экспериментальным данным ЦНИИМОДа [48], фактическое распределение влажности пиломатериалов, высушенных до транспортной влажности, по объему штабелей при атмосферной и камерной сушке в основном близко к нормальному и его можно характеризовать средним значением влажности $W_{ср}$ и величиной среднего квадратического отклонения влажности σ_w .

Пример кривых распределения влажности в партии высушенных пиломатериалов приведен на рис. 53. При атмосферной и камерной сушке пиломатериалов среднее квадратическое отклонение зависит от влажности партии. Например, среднее квадратическое отклонение при атмосферной сушке пиломатериалов толщиной 40 мм, до средней влажности 18 % составляет $\pm 1,5$ %, а при сушке в камерах непрерывного действия типа «Валмет» до той же влажности — ± 2 %, что с вероятностью 95 % обеспечивает влажность досок в партии в диапазоне 15..21 % или 14..22 %.

В этом случае показатели равномерности сушки удовлетворяют нормам, по которым при сушке до транспортной влажности по нулевой категории качества материал необходимо высушить до 18 % влажности при допустимых отклонениях ± 4 %. Требования к влажности пиломатериалов, предназначенных для перевозки и хранения, предусматривают, что древесина при этом не должна подвергаться грибковым заболеваниям.

На основании ранее проведенных исследований [49] можно считать, что хвойная древесина не поражается синевой при влажности 22...23 % и ниже. Чтобы не выйти за указанные пределы и иметь га-

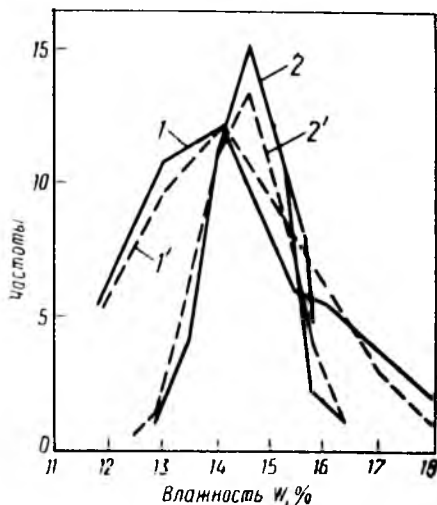


Рис. 53. Кривые распределения влажности в партии пиломатериалов:

1 — атмосферная сушка; 2 — сушка в камерах «Валмет», фактическое распределение; 1', 2' — то же при расчетном нормальном распределении

рантию от поражения пиломатериалов синевой, необходимо правильно выбирать среднюю влажность, до которой надо сушить пиломатериалы на лесопильных заводах, а также устанавливать требования к допускаемым отклонениям от средней влажности.

Производственный опыт сушки пиломатериалов в камерах непрерывного действия показывает, что при сушке тонких пиломатериалов до средней конечной влажности свыше 17 % диапазон колебаний уже значительно больше допустимого, причем чаще встречаются доски с влажностью, превышающей 22 %.

Наблюдается также зависимость величины σ_w от средней конечной влажности и толщины пиломатериалов. Чем выше конечная влажность, тем больше значение σ_w (рис. 54), и чем тоньше пиломатериалы, тем выше среднее квадратическое отклонение при тех же значениях средней влажности. Если исходить из того, что рекламации за повышенную влажность пиломатериалов предъявляют в том случае, когда влажность контролируемых досок в партии непакетированных пиломатериалов превышает 25 % [44], то при средней влажности тонких пиломатериалов, равной 20 %, и диапазоне колебаний $W_{cp} = \pm 3\sigma$ досок с влажностью, большей 25 %, не избежать.

Для уточнения средней влажности пиломатериалов, надежно предохраняющей их от появления синевы и плесени во время хранения и транспортировки, ЦНИИМОДом проведены наблюдения.

Сосновые пиломатериалы, как наименее стойкие к поражению деревоокрашивающими грибами, сечением 25×150 мм, рассортированные по влажности после камерной сушки, были уложены на хранение в пакеты: 1) из досок с влажностью до 18 % ($W_{cp} = 16,7$ %); 2) из досок с влажностью в пределах 18...22 %; 3) из досок влажностью больше 22 %.

В середину каждого пакета закладывали сырую доску, пораженную синевой. Пакеты обертывали влагонепроницаемой бумагой и устанавливали в склад пиломатериалов. Контроль за влажностью и появлением синевы осуществляли через 10 дней в течение 2 мес.

Опыт был повторен дважды. Первый раз пакеты укладывали в мае, разбирали в июле, второй — закладывали в августе, разбирали в октябре. Несмотря на различные погодные условия опытов, результаты хранения пакетов оказались аналогичными.

В пакетах пиломатериалов с влажностью до 18 %, несмотря на наличие объекта заражения, синева не появилась. Во второй группе пакетов в среднем половина досок поражена синевой, а в пакетах с влажностью досок выше 22 % большая часть досок оказалась пораженной.

Аналогичные результаты получены ЦНИИМОДом в 1975 г. [50] во время проверки качества пиломатериалов при хранении

в Ленинградском лесном порту и на предприятиях г. Архангельска. Установлено, что при верхнем пределе влажности 22...23 % средняя влажность пиломатериалов, укладываемых в пакет, не должна превышать 18...19 %. Опыт сушки пиломатериалов в зарубежных странах (США, Швеции, Канаде) подтверждает целесообразность сушки до 18 % и ниже [52].

Как показывают результаты обследования, на наших предприятиях экспортные пиломатериалы, особенно тонкие сортаменты, в основном сушат до более низкой конечной влажности, чем предусмотрено ГОСТами 8486—66, 3808.1—85, 26002—83Э и прежними руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов. Соблюдение технологической дисциплины и

Рис. 54. Зависимости среднего квадратического отклонения влажности от средней влажности партии пиломатериалов толщиной, мм:
1 — 22...25; 2 — 32...47; 3 — 50...75



режимов обеспечивает хорошее качество сушки. Пересортица по дефектам сушки незначительна и составляет 2...3 %, т. е. не больше, чем при сушке до средней конечной влажности 20 %.

На рис. 55 показаны величины фактической средней конечной влажности пиломатериалов, высушенных в камерах «Валмет», в зависимости от их толщины. Аналогичная зависимость для средней влажности высушиваемых пиломатериалов от их толщины получена на предприятиях Швеции и Финляндии [51, 52], где считают целесообразным для выравнивания разброса конечной влажности тонкие пиломатериалы сушить до более низкой средней влажности.

Таким образом, к величине средней конечной влажности надо подходить дифференцированно, назначать конечную влажность высушиваемых пиломатериалов в зависимости от их толщины. Величина эксплуатационной влажности древесины зависит от условий эксплуатации деталей и изделий и изменяется в широких пределах.

Климатические условия эксплуатации (среднегодовая температура и относительная влажность воздуха) определяют требования к влажности древесины пиломатериалов и заготовок, идущих на изготовление изделий. Из табл. 22 видно, что средняя эксплуатационная влажность изменяется в пределах от 6 до 15 %.

Пиломатериалы для производства столярно-строительных изделий, мебели и т. п., как правило, сушат в камерах периодического действия. В этих камерах распределение конечной влажности по объему штабеля хорошо описывается кривыми нормального распределения (см. рис. 53), поэтому разброс влажности можно характеризовать величиной среднего квадратического отклонения.

Данные табл. 22 подтверждают выводы главы 1 о том, что большинство пиломатериалов и заготовок внутрисоюзного потребления могут проходить одноэтапную сушку на лесопильных предприятиях, в том числе до эксплуатационной влажности 10...15%. Только паркетные доски, щиты, мебель и некоторые строительные детали должны проходить досушку у потребителя до конечной влажности 7...10%.

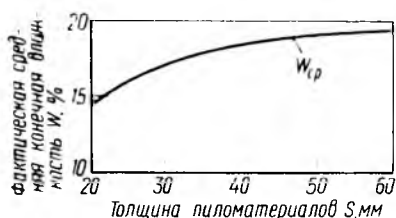


Рис. 55. Зависимость фактической средней конечной влажности пиломатериалов от их толщины (сушка в камерах «Валмет»)

Нормы требований к качеству камерной сушки и методы контроля показателей качества. В зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов установлены 4 категории качества камерной сушки пиломатериалов и заготовок:

О — сушка до транспортной влажности пиломатериалов экспортных и внутрисоюзного потребления;

I — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 «Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски и посадки» для высокоточных составных частей изделий, влияющих на эксплуатационные показатели изделий (соединения механики клавишных инструментов, точное машиностроение и приборостроение, деревянные клееные несущие конструкции, производство моделей, лыж и т. п.);

II — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для ответственных составных частей изделий, от которых зависит их качество (мебельное производство, футляры для радио- и телеаппаратуры, столярно-строительные изделия, деревянные строительные клееные ограждающие конструкции, пассажирское вагоно- и автостроение и т. п.);

III — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для менее ответственных составных

частей изделий (производство погонажных столярно-строительных изделий, товарное вагоностроение, сельхозмашиностроение, рядовая тара и т. п.).

К показателям качества сушки относят: а) среднюю влажность высушенных пиломатериалов (заготовок) в штабеле; б) величину отклонений влажности отдельных досок или заготовок от средней влажности пиломатериалов в штабеле; в) перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок); г) остаточные напряжения в высушенных пиломатериалах (заготовках).

Нормы показателей качества сушки пиломатериалов и заготовок устанавливают в зависимости от условий эксплуатации изделий, толщины пиломатериалов и категории качества (табл. 23).

В табл. 23 приняты предельные значения конечной влажности — для 3 основных случаев:

1) $W_k = 7\%$, отапливаемые помещения со среднегодовой температурой $t_{cp} = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительной влажностью $\varphi_{cp} = 0,4 \pm 0,1$;

2) $W_k = 10\%$, отапливаемые помещения с повышенной влажностью при $t_{cp} = 7 \dots 20^\circ\text{C}$ и $\varphi_{cp} = 0,6 \pm 0,1$;

3) $W_k = 15\%$, наружные условия эксплуатации при $t_{cp} = 4,3 \pm 1^\circ\text{C}$, $\varphi_{cp} = 0,75 \pm 0,2$.

Конкретные значения средней конечной влажности допускается назначать в соответствии с техническими условиями на изделия и продукцию. Для пиломатериалов, высушиваемых по О категории качества до транспортной влажности, конечную влажность назначают в зависимости от толщины пиломатериалов с тем, чтобы с вероятностью 95% влажность отдельных досок не превысила 22...23%.

Для определения средней влажности партии пиломатериалов из контролируемого штабеля из различных его зон при разборке отбирают не менее 9 досок (заготовок). Зоны быстрого и замедленного просыхания устанавливает предприятие для каждой камеры путем опытных сушек.

Из каждой отобранной доски (заготовки) на расстоянии не менее 0,3 м от торцов перпендикулярно длине вырезают 2 поперечных среза (секции влажности) с размером вдоль волокон 10...12 мм (см. рис. 51) и определяют их влажность согласно ГОСТ 16588—79 сушильно-весовым методом.

Влажность пиломатериалов штабеля вычисляют как среднее арифметическое из значений влажности отобранных досок (заготовок). Древесина секций не должна содержать кору и видимые пороки по ГОСТ 2140—71. Влажность пиломатериалов (заготовок) в штабеле при толщине их не более 40 мм допускается контролировать электровлагомером согласно ГОСТ 16588—79.

Отклонение влажности отдельных досок (заготовок) в штабеле от средней конечной контролируют по среднему квадра-

23. Нормативные показатели качества сушки пиломатериалов и заготовок

Показатели качества сушки	Категории качества			
	I	II	III	О
Средняя конечная влажность пиломатериалов или заготовок в штабеле, %	7; 10**	7; 10; 15**	10; 15**	—
То же при толщине пиломатериалов, мм:	—	—	—	16
32 и менее	—	—	—	—
38 . . . 50	—	—	—	18
свыше 50	—	—	—	20
Отклонения влажности отдельных досок (заготовок) от средней влажности штабеля пиломатериалов*, не более, %	±2	±3	±4	—
То же при толщине пиломатериалов, мм:	—	—	—	±6
32 и менее	—	—	—	±4
38—50	—	—	—	±2,5
свыше 50	—	—	—	—
Среднее квадратическое отклонение влажности, S, %	±1,0	±1,5	±2,0	—
То же при толщине пиломатериалов, мм:	—	—	—	±3
32 и менее	—	—	—	±2
38—50	—	—	—	±1,25
свыше 50	—	—	—	Не контролируется
Перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок), не более, %	—	—	—	Не контролируется
То же при толщине, мм:	—	—	—	—
13 . . . 22	1,5	2,0	2,5	—
25 . . . 40	2,0	3,0	3,5	—
45 . . . 60	2,5	3,5	4,0	—
70 . . . 90	3,0	4,0	5,0	—
Условный показатель остаточных напряжений (относительная деформация зубов силовой секции), %	Не более 1,5	Не более 2,0	Не контролируется	—

* Допустимые отклонения влажности отдельных досок (заготовок) от средней влажности штабеля пиломатериалов принимаются равными $\pm 2S$.

** При сушке до эксплуатационной влажности среднюю конечную влажность пиломатериалов в штабеле следует назначать по средней устойчивой влажности при увлажнении и высыхании в зависимости от средних температур и относительной влажности воздуха в условиях эксплуатации изделий [53].

тическому отклонению S , которое вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{cp})^2}{n-1}}, \quad (23)$$

где W_i — влажность отдельных секций; %; W_{cp} — средняя влажность партии, %; n — число секций или замеров электровлагомером.

Перепад влажности по толщине материала контролируется по I, II и III категориям качества.

Из отобранной доски рядом с секцией для определения общей влажности выпиливают секцию для определения послойной влажности (см. рис. 51). Эту секцию раскалывают для досок толщиной до 32 мм по схеме на рис. 56, а, для досок толщиной свыше 32 мм — по схеме на рис. 56, б. Разница во влажности боковых (взвешиваемых вместе) и средней полосок показывает перепад влажности, %:

$$\Delta W = W_{вн} - W_{пов},$$

где $W_{вн}$ — влажность внутренних слоев древесины секции; $W_{пов}$ — влажность поверхностных слоев (средняя).

Число досок, из которых вырезают секции, должно быть не менее 5 для I категории качества, и не менее 3 для II и III категорий. При сушке по III категории качества перепад влажности определяют в том случае, если пиломатериалы поступают на раскрой по толщине. Контроль остаточных напряжений проводят в пиломатериалах, высушиваемых по I и II категориям качества.

Из 3—4 отобранных досок рядом с секцией послойной влажности выпиливают силовые секции размером вдоль волокон 10 мм. Секции после выравнивания их влажности путем выдержки в сушильном шкафу при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 2...3 ч раскалывают по схеме на рис. 57.

Для пиломатериалов I и II категорий качества сушки относительное отклонение зубцов секций f (в вершине) от нормального положения не должно превышать 1,5...2 % длины зубца. Это отклонение измеряют индикаторной скобой или штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм и определяют по отношению

$$f = \frac{T - T_1}{2l} 100 \%,$$

где l — длина зубца, мм.

Дефекты сушки и мероприятия по их уменьшению. На Всесоюзной конференции по сушке древесины (1980 г., Архангельск), а также на Всесоюзном научно-техническом совещании (1985 г., Архангельск) отмечалось, что качество сушки пиломатериалов на ряде предприятий находится на недостаточном

высоком уровне, наблюдается значительное коробление, переход из высоких сортов в более низкие, неравномерность просыхания пиломатериалов по объему штабеля, особенно в сушильных цехах с устаревшими, непроизводительными камерами.

Товарные пиломатериалы обезличенного назначения (в том числе экспортные), вырабатываемые на лесопильных предприятиях, сушат до транспортной влажности атмосферным способом или в камерах мягкими режимами. При этом требования к качеству сушки ограничены двумя показателями: средней влаж-

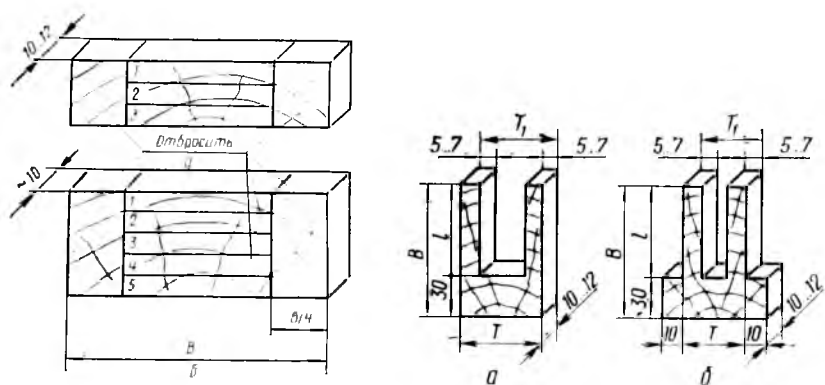


Рис. 56. Схема раскроя секций послойной влажности для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 32 мм (а), свыше 32 мм (б):
 B — ширина пиломатериалов (заготовок); 1, 3, 4, 5 — поверхностные слои древесины секции; 2 — внутренние слои древесины секции

Рис. 57. Схема раскроя секции напряжений для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 40 мм (а), более 40 мм (б):
 B — ширина пиломатериалов, мм; T — толщина секции, мм; T_1 — расстояние между внешними гранями зубцов, мм; l — длина зубцов, мм

ностью и отклонением влажности отдельных досок от средней. Однако эти показатели не дают полного представления о качестве просушенных пиломатериалов.

Дефекты сушки и брак при этом не регламентированы и, как правило, постоянно не контролируются в процессе сушки. Главное требование при сушке до транспортной влажности — обеспечить минимальные потери высушиваемых пиломатериалов. Но потери как при атмосферной, так и при камерной сушке неизбежны, т. е. из-за дефектов сушки происходит переход некоторой части пиломатериалов из высоких в более низкие сорта.

В ЦНИИМОДе неоднократно проводили работы с целью определения потерь древесины на лесопильных предприятиях при сушке пиломатериалов до транспортной влажности. Например, по данным предприятий п/о «Северолесэкспорт» за 1984 г. составлена табл. 24 по средним величинам перехода

пиломатериалов в низшие сорта после камерной сушки. Средняя величина пересортицы находится в пределах 2,4..5,5 %.

При этом технология сушки на предприятиях отлажена, соответствует принятым рекомендациям руководящих материалов, применяются стандартные режимы сушки. Основные причины перехода из высоких в более низкие сорта: крыловатость, продольная покоробленность, трещины и, в ряде случаев, загрязнение. Загрязнение вызвано организационными неполадками при пакетировании и транспортировке досок и легко может быть устранено.

24. Средний переход пиломатериалов, %, в низкие сорта после камерной сушки на предприятиях п/о «Северолесэкспорт» за 1984 г.

Месяц проверки	Наименование предприятия									
	ЛДК 1	ЛДК 2	ЛДК 3	ЛДК им. В. И. Ленина	Центролесский ЛДК	Соломбальский ЛДК		Кеостровский	Кузнецовский	Онежский ЛДК
						головной	филиал 1			
Январь	3,2/3,5	5,2	4,4/3,1	3,1	4,5	4,1/1,7	2,9	6,3	4,2	—
Февраль	3,6/3,0	4,5	4,9/3,5	2,5	2,4	—	3,1	3,2	2,8	6,0
Март	3,1/3,0	5,0	9,0/3,9	1,3	1,8	3,8/2,2	—	3,5	3,2	7,0
Апрель	3,5/3,3	6,7	4,9/3,3	2,1	3,5	3,8/8,1	—	3,8	4,0	5,2
Май	3,8/3,6	5,0	4,3/3,8	2,9	3,2	4,3/9,9	—	5,5	—	—
Июнь	3,3/3,5	4,6	—	3,3	2,9	4,8/2,2	9,0	2,3	3,9	—
Июль	3,3/3,5	4,5	—	—	3,1	4,6/2,1	4,0	3,5	2,8	5,7
Август	3,5/3,3	4,6	—	1,6	2,8	4,7/1,5	1,9	4,3	3,8	4,7
Сентябрь	3,4/3,4	5,0	—	2,9	3,1	4,1/2,0	2,0	—	4,5	3,0
Октябрь	2,9/3,1	4,2	—	2,6	2,6	3,9/6,2	4,3	—	4,9	4,2
Ноябрь	2,5/3,6	4,4	—	2,5	4,6	3,4/2,3	2,4	—	2,5	4,0
Декабрь	3,4/3,4	5,2	—	2,1	3,5	4,6/5,6	5,5	—	3,7	9,8
Среднегодовой переход	3,3/3,3	4,9	—	2,4	3,2	4,1/4,0	3,9	4,0	3,7	5,5

Примечание. В числителе приведены данные по сушке в блоках камер «Валмет», в знаменателе — в линиях сушки «Валмет» с повышенной высотой штабелей.

Переходность из-за трещин составляет 0,5..1,7 %, что свидетельствует о соблюдении режимов сушки. Очевидно меньшей пересортицы добиться сложно, так как вероятность появления трещин в досках из-за изменчивости свойств древесины может достигать и более 3 %.

Коробление ряда досок (особенно верхних рядов) при существующей технологии также неизбежно. Поэтому при камерной сушке пиломатериалов неизбежны потери качества пиломатериалов. Ожидаемый минимально допустимый уровень этих потерь при учете современной технологии зависит от ряда причин, в том числе и от породы древесины, сечения пиломатериалов, типа камер и т. п. Например, в новых линиях сушки

«Валмет» в Ленинградском лесном порту средняя пересортица составляет 7...9 %, а на Архангельских СЛДК и ЛДК № 3 — до 5 % [54].

Учитывая, что потери при сушке неизбежны, требуется нормировать минимально допустимые нормы пересортицы, причем нормы должны быть дифференцированы с учетом характеристик пиломатериалов и условий сушки на отдельных предприятиях.

На деревообрабатывающих предприятиях контроль переходности пиломатериалов в более низкие сорта не ведется, но результаты обследования показывают, что брак из-за дефектов сушки может достигать значительных величин (до 20 %), особенно при сушке пиломатериалов из древесины твердых лиственных пород.

Проблема сохранения качества пиломатериалов при сушке затрагивает комплекс вопросов, как экономических (себестоимость сушки, расход тепловой и электрической энергии), так и технологических (дефекты сушки, связанные, например, с понижением сортности пиломатериалов, применение различных категорий режимов сушки в зависимости от назначения пиломатериалов, различные требования к качеству сушки и т. д.).

Поэтому важно определить оптимальные требования к качеству сушки пиломатериалов в зависимости от их назначения для того, чтобы при минимальных затратах обеспечить необходимое качество, так как неоправданно повышенные требования к сушке ведут к непроизводительным затратам (уменьшению производительности камер, увеличению себестоимости сушки и т. п.).

Следовательно, должны быть установлены, с одной стороны, ограничения по качеству, с другой — экономические критерии сушки древесины. В зависимости от назначения пиломатериалов, требований к ним на лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях должны определяться как способ сушки, так и выбор сушильного оборудования и технологии сушки.

Для обеспечения требуемого качества сушки необходимо также наладить на предприятиях учет и контроль качества камерной сушки пиломатериалов. Некоторые мероприятия, внедрение которых способствует предупреждению и снижению растрескивания и коробления, приведены ниже.

Правильный выбор и соблюдение режима сушки — одно из основных условий, предупреждающих растрескивание пиломатериалов, особенно образование наружных и внутренних трещин. При этом в камерах периодического действия обязательно соблюдение и правильное проведение начальной, промежуточных и конечной тепловлагообработки древесины в зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов.

Предупредить торцовое растрескивание можно путем уменьшения испарения влаги с торцов пиломатериалов. Для этого тщательно выравнивают при укладке торцы штабеля, а край-

ние прокладки укладывают как можно ближе к торцам досок.

При сушке толстых и широких досок, особенно твердолиственных пород и лиственницы, рекомендуется применять замазку торцов влагонепроницаемыми составами: масляными густотертými красками (белилами, охрой, суриком), эмульсиями, специальными замазками. Например, для ручной и механизированной обмазки торцов рекомендуется следующий состав, %: ацетона 77, перхлорвиниловой смолы 15, канифоли (или канифольных масел) 8. Хорошие результаты дает также обмазка торцов 30 %-ной поливинилацетатной эмульсией ПВАЭ.

В камерах непрерывного действия с поперечной закаткой штабелей снижение торцовых трещин наблюдается, как показали исследования ЦНИИМОДа, при применении приторцовых экранов в разгрузочном конце камеры. На рис. 58 показан пример выполнения приторцовых экранов.

Экраны закрывают приторцовые части штабелей примерно на 0,8...1 м с обеих сторон, препятствуя их обдуву сушильным агентом. В разгрузочной части камер непрерывного действия в последних 2 штабелях сушка заканчивается, а так как торцы сохнут быстрее, то они практически достигли заданной конечной влажности. Поэтому приторцовые экраны предохраняют торцы досок от пересыхания, а следовательно, и уменьшают вероятность растрескивания. При установке таких экранов доски по длине высыхают более равномерно.

Коробление пиломатериалов — один из основных дефектов сушки. Основное средство предупреждения и уменьшения коробления — правильная укладка пиломатериалов в штабель для камерной сушки (см. выше). Однако и при правильной укладке верхние ряды досок, не зажатые весом самого штабеля, коробятся, а зачастую и нижние ряды досок подвергаются короблению.

Для предупреждения коробления нижних рядов достаточно укладывать каждый штабель на прочное, жесткое горизонтальное основание, например применяя подштабельные тележки. Для устранения коробления верхних рядов необходимо зажимать их. Можно использовать груз, обеспечивающий равномерное давление на штабель. Вес груза в зависимости от размеров штабеля и толщины пиломатериалов выбирают в пределах 1,5...2,5 т.

Для сжатия верхних рядов пиломатериалов ЦНИИМОДом предложены пружинные стяжки, которые и при усадке штабеля в процессе сушки надежно зажимают верхние ряды пиломатериалов (рис. 59). Пружинные стяжки несложны по конструкции и поэтому их можно изготовить в любой механической мастерской деревообрабатывающих предприятий.

Стяжки для сжатия штабеля состоят из зажима, талрепа и тяг. Зажим служит для окончательной установки стяжек на штабеле, т. е. для полного расчетного растяжения пружины. Он представляет собой систему из рычага и тяг, шарнирно соеди-

ненных между собой. В нижней части зажима в рычаге есть отверстие для присоединения пружины.

В верхней части зажима сварная тяга имеет проушину для присоединения ее с помощью пальца к тяге талрепа. Талреп, который состоит из стяжки и двух тяг, предназначен для предварительного растяжения пружины при установке стяжки на штабеле. Длина талрепа может изменяться в пределах 1325—1625 мм.

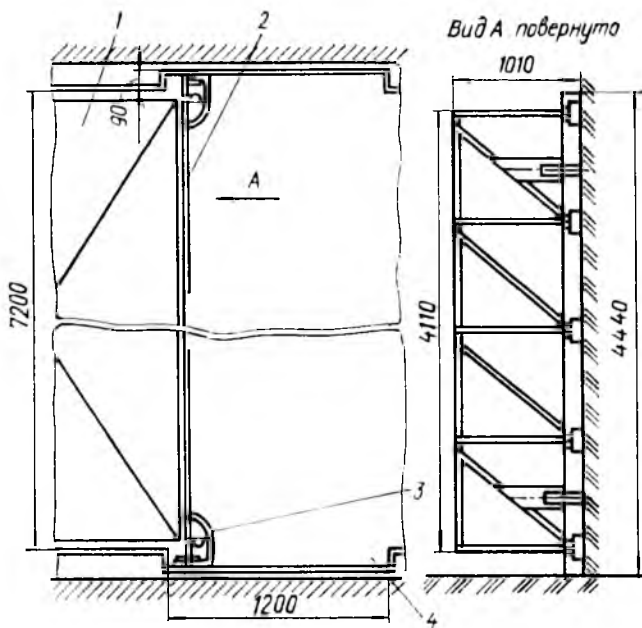


Рис. 58. Приторцовые экраны:

1 — штабель пиломатериалов; 2 — приторцовый экран; 3 — упругий элемент для прижатия экрана к штабелю; 4 — ниша

Пружина — одна из основных деталей зажимного устройства обеспечивает постоянное сжатие штабеля во время сушки. Каждая пружина давит на штабель силой 1000...1200 Н. Число устанавливаемых устройств зависит от толщины высушиваемого материала и длины штабеля, что и определяет первоначальное давление на штабель.

По мере усушки штабеля по высоте давление на него будет уменьшаться, но штабель все время будет находиться в зажатом состоянии. Это обеспечивается соответствующей длиной пружины. Для расчета длины пружины за исходную величину принимают усушку штабеля по высоте и высоту самого штабеля.

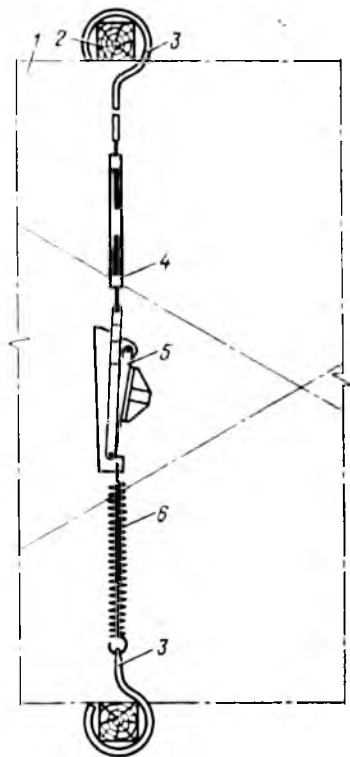
Устанавливают зажимное устройство так: на верх и под низ штабеля (пакета) укладывают брусья сечением 80×80 мм. Предварительно собранные зажимные устройства навешивают при помощи талрепа, затем в гнездо кронштейна на зажиме

Рис. 59. Зажимное устройство:

1 — штабель; 2 — брус; 3 — тяги; 4 — талреп;
5 — замок; 6 — пружина

вставляют ломик, и поворотом его вниз закрывают зажим. Пружина при этом растягивается, т. е. зажимное устройство приводится в рабочее состояние.

Ленинградская лесотехническая академия для сжатия штабелей во время сушки рекомендует использование специальных пневмоприжимов [55]. Для этого в камере над штабелем устанавливают специальные пневмоцилиндры, соединенные с прижимной рамкой, которая прижимается к штабелю после подачи сжатого воздуха в пневмоцилиндры с заданным усилием. Хотя эта система и проста по принципу действия, но конструктивно ее трудно устанавливать в действующих камерах.



ХРАНЕНИЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ СУШКИ

Высушенные пиломатериалы, предназначенные для длительного хранения (более 15 сут), укладывают в пакетные штабеля. Для кратковременного хранения перед окончательной обработкой пиломатериалы укладывают также в пакетные штабеля под навесы или на открытой площадке. Высота фундамента не менее 300 мм. Штабеля, уложенные на открытом складе, покрывают съемными крышами или водонепроницаемой бумагой со свесами на всю высоту штабеля. Плотные пакеты формируют в соответствии с ГОСТ 19041—73.

Каждый штабель пиломатериалов укладывают на фундамент из стационарных или переносных элементов — железобетонных, бетонных, деревянных опор и железобетонных или деревянных прогонов. Фундаменты на открытых складах устраивают в соответствии с ГОСТ 3808.1—85 и ГОСТ 7319—85.

В закрытых неотапливаемых складах и под навесом высота фундамента, мм, должна быть не менее 300, в отапливаемых не менее 100. Схемы подштабельных деревянных фундаментов для укладки пакетных штабелей в закрытом неотапливаемом складе краном и под навесом автопогрузчиком приведены на рис. 60.

Размеры фундаментов и размещение опор должны соответствовать нагрузке от массы штабеля, размерам пакетов, конструкции штабеля, виду механизации, используемой при укладке штабелей. В закрытом отопляемом складе фундамент устраивают из деревянных брусков сечением не менее 100×100 мм. Закрытые склады оборудуют системами противопожарного водоснабжения согласно строительным нормам и правилам, утвержденным Госстроем СССР, и системами противопожарной автоматики.

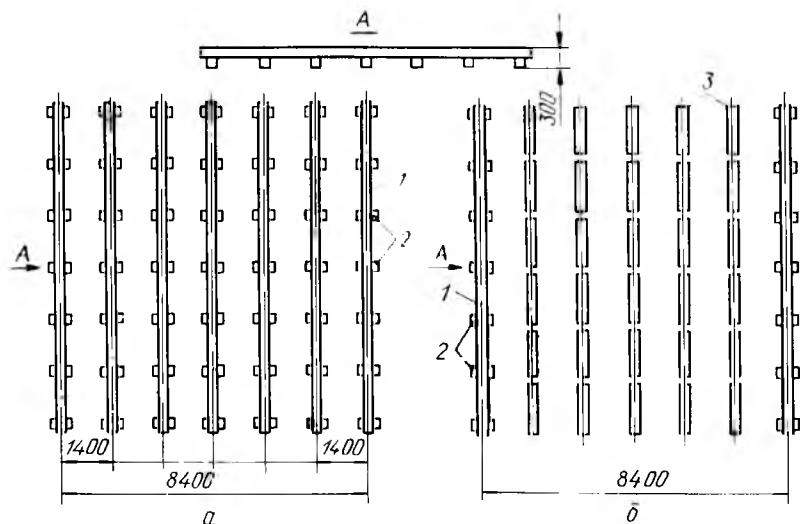


Рис. 60. Схема подштабельных фундаментов для укладки пакетных штабелей кранов в закрытом неотапливаемом складе (а) и автопогрузчиком под навесом (б):

1 — прогон; 2 — опоры-подкладки; 3 — переносные подставки

Упаковку пиломатериалов в водонепроницаемые обертки проводят согласно «Рекомендациям по хранению и отгрузке пакетированных пиломатериалов в водонепроницаемых обертках» (ЦНИИМОД, 1977). Пакетный штабель пиломатериалов формируют из пакетов, одинаковых по размерам поперечного сечения, которые укладывают на фундамент горизонтальными и вертикальными рядами. Пакеты различной длины стыкуются по длине, в нижний ряд укладывают более длинные пакеты.

Ширина штабеля определяется максимальной длиной укладываемых или суммой длин стыкуемых пакетов и должна быть не более 12 м. Высота штабеля зависит от типа склада и средств механизации и определяется ГОСТ 12.3.011—77, длина его — нормативно-технической документацией.

При укладке краном штабеля могут быть сплошные и секционные. В сплошном штабеле все вертикальные ряды пакетов связаны между собой межпакетными прокладками, в секцион-

ном — несколько вертикальных рядов (не менее 3) связаны общими межпакетными прокладками. Разрывы между секциями не менее 0,8 м.

В штабель укладывают пакеты, сформированные из пиломатериалов одинаковых сорта, сечения и породы древесины. В секционный штабель допускается укладывать пиломатериалы нескольких сорторазмерных групп. На сторонах штабелей, обращенных к проездам, укрепляют табличку, в которой указаны порода, сорт, сечение, число пиломатериалов, средняя влажность с допускаемым отклонением, дата укладки.

Горизонтальные ряды пакетов в штабеле отделяются друг от друга межпакетными прокладками квадратного сечения не менее 100×100 мм. Прокладки изготовляют из пиломатериалов влажностью не более 22 %, без гнили и синевы. Число межпакетных прокладок в горизонтальном ряду штабеля должно соответствовать числу прогонов в фундаменте.

Длина межпакетных прокладок в штабелях, формируемых автопогрузчиком, принимается равной ширине пакета, при формировании кранами — из расчета перекрытия прокладками не менее 3 смежных пакетов. При стыковании коротких пакетов допускается укладка дополнительных прокладок, чтобы каждый пакет опирался не менее чем на 2 прокладки. Расстояние между вертикальными рядами пакетов зависит от параметров грузозахватных приспособлений.

В закрытом складе пиломатериалы укладывают в пакетные штабеля группами, отделяемыми друг от друга проездами или противопожарными разрывами. Штабеля в группе отделяют друг от друга и от выступающих частей здания разрывом шириной не менее 0,8 м. Ширина проезда должна быть не менее 6 м. Рекомендуемые схемы размещения пакетов и штабелей на складах приведены на рис. 61.

На открытом складе пиломатериалы укладывают в пакетные штабеля отдельными группами с учетом параметров подъемно-транспортного оборудования, а также требований противопожарных норм проектирования складов лесных материалов по СН 473—75. Штабеля в группе отделяют друг от друга межштабельными разрывами шириной не менее 1 м. Законченный вертикальный ряд пакетов (или несколько рядов) закрывают односкатной или двускатной секционной съемной крышей.

Перед укладкой на хранение пиломатериалов, высушенных до транспортной влажности, проверяют влажность пиломатериалов в пакете, которая должна удовлетворять требованиям, изложенным выше. Влажность определяют по ГОСТ 16588—79. Пиломатериалы, высушенные в камере до эксплуатационной влажности, могут храниться в закрытом отапливаемом складе, в открытом складе или в закрытом неотапливаемом складе с ограниченными сроками хранения.

В отапливаемом складе температура и относительная влажность (степень насыщенности) воздуха поддерживается отопи-

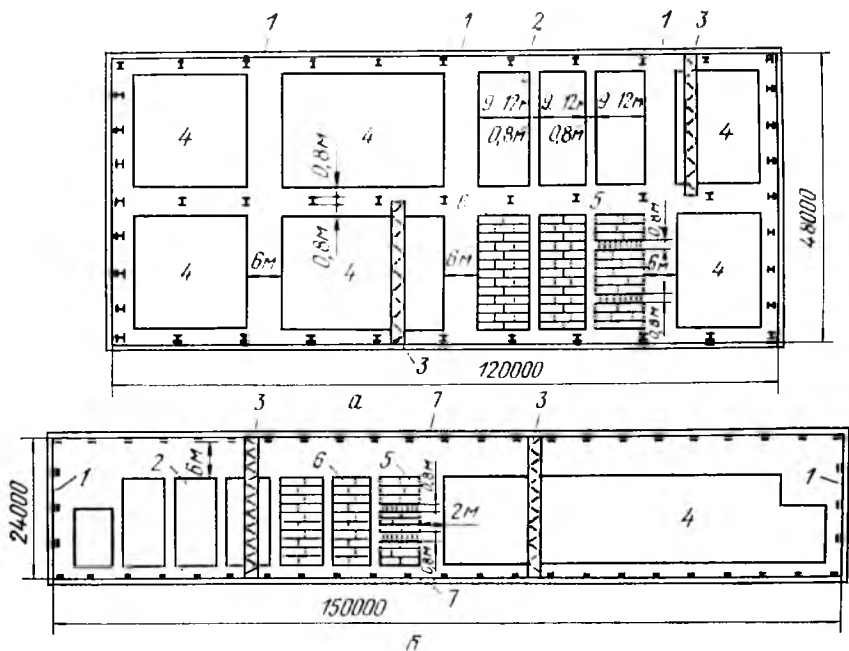


Рис. 61. Схема размещения штабелей и пакетов в закрытых складах с поперечными (а) и продольными (б) проездами:
 1 — ворота; 2 — штабель; 3 — мостовой кран; 4 — группа штабелей; 5 — размещение пакетов в секционном штабеле; 6 — размещение пакетов в сплошном штабеле; 7 — дверь

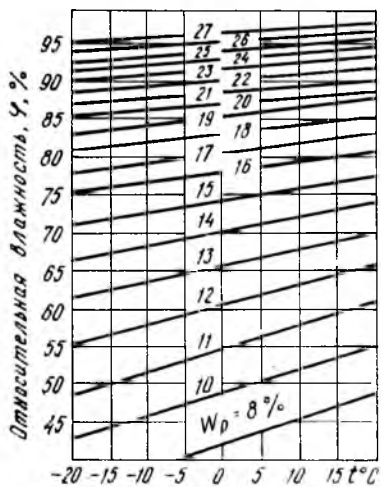


Рис. 62. Диаграмма равновесной влажности W_p

тельно-вентиляционной системой. Сроки хранения определяют в зависимости от конечной влажности пиломатериалов, категории качества сушки и равновесной влажности (при положительных температурах) по табл. 25.

Например, для пиломатериалов, высушенных по II категории качества до 10 %-ной влажности, нужно установить допустимый срок хранения, если средняя температура в складе 15 °С, а относительная влажность воздуха 70 %. По данным параметрам воздуха (рис. 62) определяем равновесную влажность $W_p = 13,3$ %. По табл. 25 допустимый срок хранения составляет 2 мес.

25. Наибольшая допустимая равновесная влажность древесины, %, в помещении отопляемого склада при положительных температурах

Категория качества сушки	Конечная влажность пиломатериалов W_k , %	Длительность хранения, мес		
		до 1	от 1 до 2	свыше 2
I	7±2	11	11	10
	10±2	14	14	13
II	7±3	12	11	10
	10±3	15	14	13
	15±3	20	19	18
III	10±4	16	14	13
	15±4	21	19	18

При длительности хранения 1...2 мес средняя влажность пакета при заданных в табл. 25 значениях равновесной влажности может увеличиваться на 1 %, но влажность досок за допустимые верхние границы при этом не выйдет, так как среднее квадратическое отклонение влажности досок в пакете при хранении уменьшается.

При длительности хранения более 2 мес равновесную влажность задают так, чтобы средняя влажность пакета не изменялась более чем на 0,5 %. При хранении пиломатериалов в складе равновесную влажность сравнивают с приведенными в табл. 25 значениями для уточнения возможного срока хранения.

Допускается хранение пиломатериалов на открытом складе, если пакеты защищены с 5-ти сторон водонепроницаемой упаковкой со сроками хранения, приведенными в табл. 26.

Например, для пиломатериалов, высушенных по I категории качества до влажности 10 %, установить допустимые месяцы и срок хранения на открытом складе, расположенном в Ленинградской области. По ГОСТ 3808.1—85 определяем

номер климатической зоны Ленинградской области — 2. Допустимое время хранения по табл. 26 — с апреля по июль включительно, срок — 4 мес.

26. Сроки хранения пиломатериалов на открытом складе

Категория качества сушки	Конечная влажность пиломатериалов $W_n, \%$	Климатические зоны и время хранения				Равновесная влажность $W_{р.ст.}, \%$
		1	2	3	4	
I	10 ± 2	Май — июнь	Апрель — июль	Апрель — август	Апрель — сентябрь	14
II	7 ± 3	Май, июнь*	Май, июнь*	Май — июнь	Май — июль	12
II, III	10 ± 3 ; 10 ± 4	Апрель — июль	Апрель — август	Апрель — август	Апрель — сентябрь	15
II, III	15 ± 3 ; 15 ± 4	Январь — октябрь	Январь — октябрь	Январь — ноябрь	Январь — ноябрь	20

* Срок хранения в течение одного из указанных месяцев.

Глава 6

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУШКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАМЕР

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ В КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Методы расчета продолжительности камерной сушки пиломатериалов разработаны Московским лесотехническим институтом [56, 57]. Теоретические уравнения для расчетов продолжительности сушки сложны в производственных условиях, поэтому МЛТИ разработал укрупненные методы определения продолжительности с помощью таблиц и коэффициентов, которые ниже и рассматриваются. Эти методы рекомендуются для расчета производительности камер, составления календарных планов работы сушильных цехов и т. п.

Общую продолжительность сушки, τ , включая начальный прогрев и влаготеплообработки, находят по выражению

$$\tau = \tau_{исх} A_p A_{ц} A_k A_v A_d, \quad (24)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность собственно сушки пиломатериалов заданной породы, толщиной S_1 и шириной S_2 при нормальных режимах в камерах с принудительной реверсивной циркуляцией средней интенсивности (расчетная скорость воздуха 1 м/с; ширина штабеля 1, 5... 2 м) от начальной влажности 60 до конечной влажности 12 %; определяется $\tau_{исх}$

по табл. 27; A_p — коэффициент, учитывающий жесткость применяемого режима сушки; для мягких режимов $A_p=1,7$, нормальных — 1,0, форсированных — 0,8. $A_{ц}$ — коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере; определяется по табл. 28 в зависимости от произведения $\tau_{исх}A_p$ и скорости циркуляции $\omega_{мат}$ в штабеле пиломатериалов.

В случаях, когда $\omega_{мат}$, м/с, неизвестна, для приближенных предварительных расчетов ее можно принимать следующей: для камер в строительных ограждениях с естественной циркуляцией — 0,2, с циркуляцией слабой интенсивности (например, ЦНИИМОД-39) — 0,5, с циркуляцией средней интенсивности (например, ЦНИИМОД-23, ВИАМ, эжекционные Гипродревпрома) — 1, с циркуляцией повышенной интенсивности (например, ВК-4, СПМ-2К, СПЛК-2) — 2; для сборно-металлических камер с реверсивной циркуляцией (например, СПВ-62, УЛ-1, УЛ-2М) — 2,5.

Коэффициент $A_{в}$, зависящий от начальной W_n и конечной W_k влажности, определяют по табл. 29.

Коэффициент $A_{к}$, учитывающий длительность влаготеплообработки и кондиционирования древесины в камере, имеет следующие значения: в зависимости от категории качества: I — 1,2; II — 1,15; III — 1,05; O — 1,00.

Коэффициент длины A_d для заготовок находят в зависимости от отношения длины материала L к ее толщине S_1 . Для пиломатериалов $A_d=1$. Значения коэффициента приведены ниже.

Отношение длины заготовок
к ее толщине

L/S_1	≥ 40	35	30	25	20	15	10	7	5
A_d	1	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,80	0,7	0,6

Если заданные для расчетов определяющие факторы имеют промежуточные, не указанные в табл. 27..29 и на с. 163 значения, исходную продолжительность сушки и коэффициенты $A_{ц}$, $A_{в}$ находят по таблицам путем интерполяции.

Пример 1. Определить продолжительность сушки в нормальном режиме сосновых обрезных заготовок сечением 40×150 мм, длиной 2 м по II категории качества от начальной влажности 50 % до конечной 7 % в камере УЛ-1 (реверсивная циркуляция, $\omega_{мат}=2,5$ м/с).

Продолжительность сушки $\tau = \tau_{исх} A_p A_{ц} A_{в} A_{к} A_d$. Находим: $\tau_{исх}=88$ ч (табл. 27); $A_p=1,00$, $A_{ц}=0,75$ (табл. 28); $A_{в}=1,22$ (табл. 29); $A_{к}=1,15$; $A_d=1,00$ (см. с. 163). Отсюда $\tau=88,1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,22 \cdot 1,15 \cdot 1=92,8$ ч.

Пример 2. Определить продолжительность сушки в форсированном режиме березовых необрезных пиломатериалов толщиной 50 мм, длиной 6 м по III категории качества от начальной влажности 70 % до конечной 10 % в камере СПЛК-2 (реверсивная циркуляция, $\omega_{мат}=2$ м/с). Находим: $\tau_{исх}=158$ ч (табл. 27); $A_p=0,8$; произведение $\tau_{исх}A_p=158 \cdot 0,8=126,5$; $A_{ц}=0,876$ (по табл. 28 с интерполяцией); $A_{в}=1,21$ (табл. 29); $A_{к}=1,05$ $A_d=1$ (см. с. 163). Отсюда $\tau=158 \cdot 0,8 \cdot 0,876 \cdot 1,21 \cdot 1,05 \cdot 1=141$ ч.

27. Исходная продолжительность сушки $\tau_{исх}$, ч, пиломатериалов [формула (24)], в камерах периодического действия при низкотемпературном процессе

Толщина пиломатериалов S_1 , мм	Ширина пиломатериалов S_2 , мм					
	40 . . . 50	60 . . . 70	80 . . . 100	110 . . . 130	140 . . . 180	более 180 и для необрезных

Сосна, ель, пихта, кедр

До 16	23	25	26	27	27	27
19	29	31	32	33	33	33
22	34	37	39	39	39	39
25	45	50	53	54	55	55
32	59	63	68	72	73	73
40	71	79	84	88	88	88
50	—	93	99	100	104	105
60	—	103	114	122	125	130
70	—	—	147	161	178	194
75	—	—	156	177	197	218
100	—	—	340	354	379	432

Лиственница

До 16	58	63	64	67	68	68
19	68	72	74	77	77	77
22	75	80	83	86	87	87
25	83	88	91	92	93	94
32	94	99	104	108	110	113
40	113	129	144	157	166	175
50	—	182	224	256	279	304
60	—	235	304	361	400	443
70	—	—	431	521	585	635
75	—	—	466	574	650	737

Осина, липа, тополь

До 16	29	31	33	34	34	34
19	36	38	39	40	40	40
22	43	45	47	53	54	54
25	59	62	64	66	67	68
32	73	80	84	88	89	91
40	81	87	93	96	99	102
50	—	98	109	116	119	123
60	—	112	128	140	152	164
75	—	—	253	282	311	344

Бук, клен, берест, ясень, ильм

До 16	58	59	61	63	63	63
19	65	68	71	73	73	74
22	73	77	80	81	82	83
25	91	94	96	99	101	102
32	102	109	115	118	120	122
40	114	126	140	152	159	167
50	—	170	199	225	239	255
60	—	250	296	339	367	396
75	—	—	591	657	728	805

Толщина пило- материалов S_1 , мм	Ширина пиломатериалов S_2 , мм					
	40 . . . 50	60 . . . 70	80 . . . 100	110 . . . 130	140 . . . 180	более 180 и для необрез- ных

Береза, ольха

До 16	36	37	37	38	39	39
19	44	45	47	47	48	48
22	50	51	53	54	55	55
25	67	73	78	- 81	83	84
32	81	85	88	- 91	92	94
40	93	96	100	101	105	107
50		115	130	141	149	158
60		155	187	213	231	249
75			377	420	463	514

Дуб, орех, граб

До 16	84	85	85	87	87	88
19	88	91	94	96	96	97
22	97	101	104	105	106	107
25	117	125	132	136	138	140
32	146	173	193	206	214	221
40	183	234	269	293	307	321
50		365	431	488	520	551
60		562	679	777	841	905
75			1086	1209	1340	1483

28. Значения коэффициента $A_{ц}$, формула (24),
для камер с реверсивной циркуляцией

Произведение $\tau_{исх} A_{р'}$ ч	Скорость циркуляции $\omega_{мат}$, м/с							
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
20	3,14	1,80	1,00	0,78	0,63	0,54	0,49	0,46
40	2,40	1,65	1,00	0,81	0,67	0,59	0,54	0,52
60	2,03	1,58	1,00	0,84	0,71	0,64	0,60	0,58
80	1,76	1,42	1,00	0,85	0,76	0,72	0,68	0,67
100	1,56	1,32	1,00	0,88	0,81	0,79	0,78	0,77
140	1,31	1,15	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
180	1,15	1,10	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
220 и более	1,08	1,05	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95

Примечание. При нереверсивной циркуляции табличный коэффициент $A_{ц}$ умножают на 1,1.

29. Значения коэффициента A_n , формула (24)

Начальная влажность W_n , %	Конечная влажность W_k , %											
	22	20	18	16	14	12	11	10	9	8	7	6
120	1,07	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,49	1,55	1,61	1,68	1,76	1,86
110	1,00	1,06	1,12	1,20	1,28	1,37	1,43	1,49	1,55	1,62	1,71	1,81
100	0,94	1,00	1,06	1,14	1,22	1,31	1,37	1,43	1,50	1,57	1,65	1,75
90	0,87	0,93	1,00	1,07	1,16	1,25	1,30	1,36	1,43	1,51	1,58	1,68
80	0,80	0,86	0,93	1,00	1,09	1,18	1,23	1,29	1,35	1,43	1,51	1,61
70	0,72	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10	1,15	1,21	1,27	1,35	1,43	1,52
65	0,67	0,74	0,80	0,87	0,96	1,05	1,10	1,16	1,23	1,30	1,38	1,48
60	0,62	0,68	0,75	0,82	0,91	1,00	1,05	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43
55	0,57	0,63	0,69	0,77	0,85	0,94	1,00	1,06	1,12	1,20	1,28	1,38
50	0,51	0,57	0,63	0,71	0,79	0,89	0,94	1,00	1,06	1,14	1,22	1,32
45	0,44	0,50	0,57	0,64	0,73	0,82	0,87	0,93	1,00	1,07	1,15	1,25
40	0,37	0,43	0,49	0,57	0,65	0,75	0,80	0,86	0,93	1,00	1,08	1,18
35	0,29	0,35	0,43	0,49	0,57	0,66	0,72	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10
30	0,19	0,25	0,32	0,39	0,48	0,57	0,62	0,68	0,75	0,82	0,90	1,00
28	0,15	0,21	0,27	0,35	0,43	0,53	0,58	0,64	0,71	0,78	0,86	0,96
26	0,10	0,16	0,23	0,31	0,38	0,48	0,54	0,59	0,66	0,73	0,82	0,91
24	0,06	0,11	0,18	0,27	0,33	0,43	0,49	0,54	0,61	0,68	0,77	0,86
22	—	0,06	0,13	0,22	0,28	0,38	0,43	0,49	0,56	0,63	0,71	0,81
20	—	—	0,07	0,14	0,22	0,32	0,37	0,43	0,49	0,57	0,65	0,75

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ
В КАМЕРАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

По принципу работы и характеру циркуляции агента сушилки камеры непрерывного действия делят на камеры с поперечной циркуляцией и противоточные камеры. В камерах с поперечной циркуляцией в загрузочном конце поддерживается состояние сушительного агента по первой, а в разгрузочном — по третьей ступени стандартных режимов сушки.

Продолжительность сушки пиломатериалов в этих камерах определяется по формуле (24) и рекомендациям, приведенным выше. В противоточных камерах непрерывного действия продолжительность сушки, ч, включая начальный прогрев и влаготеплообработку (если ее проводят в камере), находят по формуле

$$\tau = \tau_{исх} A_n A_{ц} A_{в} A_{к}, \quad (25)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность сушки сосновых пиломатериалов заданных размеров от начальной влажности 60 % до конечной 12 % в камерах с поперечной штабелевкой при объеме циркулирующего сушительного агента, обеспечивающем минимальную себестоимость процесса при сохранении целостности материала, ч; A_n , $A_{ц}$, $A_{в}$, $A_{к}$ — коэффициенты, учитывающие: породу древесины A_n , интенсивность циркуляции $A_{ц}$, начальную и конечную влажность $A_{в}$, качество сушки $A_{к}$.

Исходную продолжительность сушки $\tau_{исх}$ находят в зависимости от категории режимов, а также толщины S_1 и ширины S_2 пиломатериалов по табл. 30.

Установлены следующие значения коэффициента A_n в зависимости от породы: ель, пихта — 0,90; сосна, кедр — 1,00; осина — 1,10; береза — 1,45; лиственница 2,30. Коэффициент A_n для лиственницы в связи с недостатком опыта сушки в камерах непрерывного действия является ориентировочным и может уточняться по результатам опытных сушек на конкретном предприятии.

30. Исходная продолжительность сушки пиломатериалов из сосны, ч, в противоточных камерах непрерывного действия

Толщина пиломатериалов S_1 , мм	$\tau_{исх}$ при ширине пиломатериалов S_2 , мм					
	40 . . 50	60 . . 70	80 . . 100	110 . . 130	140 . . 180	более 180 и для необрезного
<i>Мягкие режимы</i>						
До 16	27	29	31	32	32	33
19	35	39	42	43	45	46
22	42	48	52	54	55	57
25	48	56	62	64	66	68
32	61	72	80	86	90	93
40	72	90	112	121	126	132
50	—	112	133	148	160	169
60	—	130	168	190	201	216
70	—	—	203	237	256	286
75	—	—	220	265	290	319
<i>Нормальные режимы</i>						
До 16	16	17	18	18	18	18
19	21	22	24	24	25	26
22	25	28	30	31	32	32
25	29	32	35	37	38	39
32	36	42	46	48	50	52
40	41	51	59	63	65	68
50	—	63	74	81	87	92
60	—	75	90	102	110	118
70	—	—	107	125	136	148
75	—	—	116	138	149	163
<i>Форсированные режимы</i>						
До 16	11	12	12	13	13	13
19	14	15	16	16	17	17
22	17	19	20	21	21	22
25	20	22	24	24	25	27
32	26	30	33	35	36	37
40	32	38	45	48	50	52
50	—	49	57	62	66	70
60	—	59	72	82	86	93
70	—	—	87	100	108	118
75	—	—	94	111	121	132

Коэффициент $A_{ц}$ для обрезного материала находят по табл. 31 в зависимости от толщины материала S_1 , конструкции камер, категории режимов сушки и расчетной скорости циркуляции $\omega_{габ.р}$, м/с, которая представляет собой отношение секундной производительности циркуляционных вентиляторов $V_{в.с}$, м³/с, к площади габаритного сечения штабеля $F_{габ}$, м², перпендикулярного направлению в нем сушильного агента.

$$\omega_{габ.р} = V_{в.с} / F_{габ}. \quad (26)$$

Для необрезного материала табличные значения коэффициента $A_{ц}$ умножают на поправочный коэффициент из табл. 32. Производительность вентиляторов определяют непосредственными измерениями скорости сушильного агента в циркуляционном канале или принимают по паспортной характеристике вентиляторной установки (для ориентировочных расчетов).

Коэффициент $A_{к}$, учитывающий длительность влаготеплообработки при наличии специального отсека, примыкающего к разгрузочному концу камеры, равен

$$A_{к} = n_{общ} / (n_{общ} - n_{отс}), \quad (27)$$

где $n_{общ}$ — общее число штабелей в камере; $n_{отс}$ — число штабелей в отсеке.

При отсутствии отсека для влаготеплообработки значение $A_{к}$ принимают в соответствии с категорией качества по рекомендациям для камер периодического действия. Если заданные для расчетов определяющие факторы имеют промежуточные, не указанные в табл. 31...33 значения, исходную продолжительность сушки и коэффициенты $A_{ц}$, $A_{в}$ находят по таблицам путем интерполяции.

Пример 3. Определить продолжительность сушки по 0 категории качества сосновых обрезных досок сечением 40×150 мм при мягком режиме от начальной влажности 60 до конечной 18 % в камере с поперечной штабелевой типа СП-5КМ (длина штабеля 7 м, высота 2,9 м) при производительности вентиляторной установки 120 тыс. м³/ч.

Площадь габаритного сечения штабеля $F_{габ} = 7,0 \cdot 2,9 = 20,3$ м². Расчетная скорость $\omega_{габ.р} = V_{в.ч} / (3600 F_{габ}) = 120\,000 / (3600 \cdot 20,3) = 1,64$ м/с. Продолжительность сушки $\tau = \tau_{исх} A_{п} A_{ц} A_{в} A_{к}$. Находим: $\tau_{исх} = 126$ ч (см. табл. 30). $A_{п} = 1,0$; $A_{ц} = 0,83$ (см. табл. 31); $A_{в} = 0,85$ (см. табл. 33); $A_{к} = 1,0$. Отсюда $\tau = 126 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 89$ ч.

Пример 4. Определить продолжительность сушки нормальным режимом по III категории качества еловых обрезных досок сечением 50×175 мм от начальной влажности 55 до конечной 10 % в камере ЦНИИМОД-32 с зигзагообразной циркуляцией, без отсека для влаготеплообработки (длина штабеля 6,5 м, высота 2,6 м) при производительности вентиляторной установки 35 тыс. м³/ч.

Площадь габаритного сечения штабеля $F_{габ} = 6,5 \cdot 2,6 = 16,9$ м². Расчетная скорость $\omega_{габ.р} = V_{в.ч} / (3600 F_{габ}) = 35\,000 / (3600 \cdot 16,9) = 0,575$ м/с. Находим: $\tau_{исх} = 87$ ч (см. табл. 30); $A_{п} = 0,9$; $A_{ц} = 0,872$ (см. табл. 31 с интерполяцией); $A_{в} = 1,005$ (см. табл. 33 с интерполяцией); $A_{к} = 1,05$. Отсюда продолжительность сушки $\tau = 87 \cdot 0,9 \cdot 0,872 \cdot 1,005 \cdot 1,05 = 71,7$ ч.

31. Значение коэффициента $A_{ц}$, [формула (25)] для камер различной конструкции

С поперечной штабелевой и прямолинейной циркуляцией				С зигзагообразной циркуляцией				С продольной штабелевой и прямолинейной циркуляцией	
Скорость $\omega_{\text{габ.р.}}$, м/с	$A_{ц}$ при режимах			Скорость $\omega_{\text{габ.р.}}$, м/с	$A_{ц}$ при режимах			Скорость $\omega_{\text{габ.р.}}$	$A_{ц}$ при нормальных режимах
	мягких	нормальных	форсированных		мягких	нормальных	форсированных		

Толщина пиломатериалов 16 мм

0,6	1,94	2,24	2,80	0,3	2,30	2,60	—	0,9	1,89
0,8	1,50	1,71	2,40	0,4	1,62	1,88	—	1,0	1,64
1,0	1,18	1,37	1,97	0,5	1,36	1,44	2,60	1,2	1,32
1,2	0,97	1,12	1,68	0,6	1,15	1,22	1,99	1,4	1,10
1,4	0,85	0,95	1,44	0,7	1,00	1,14	1,65	1,6	0,97
1,6	0,77	0,84	1,26	0,8	0,90	0,91	1,43	2,0	0,79
2,0	0,71	0,66	0,97	0,9	0,83	0,80	1,27	2,4	0,64
2,8	0,68	0,49	0,72	1,0	0,78	0,72	1,15	2,8	0,53

Толщина пиломатериалов 22 мм

0,6	1,77	1,94	2,47	0,2	3,0	—	—	0,9	1,61
0,8	1,32	1,45	2,03	0,3	1,85	2,20	—	1,0	1,43
1,0	1,03	1,16	1,68	0,4	1,39	1,60	2,90	1,2	1,17
1,2	0,88	0,95	1,41	0,5	1,12	1,20	1,86	1,4	1,01
1,4	0,80	0,81	1,18	0,6	0,97	1,03	1,47	1,6	0,90
1,6	0,77	0,71	1,01	0,7	0,86	0,90	1,27	2,0	0,73
2,0	0,72	0,56	0,80	0,8	0,79	0,78	1,13	2,4	0,60
2,8	0,70	0,48	0,67	0,9	0,75	0,70	1,03	2,8	0,52

Толщина пиломатериалов 32 мм

0,6	1,46	1,68	2,20	0,2	2,40	—	—	0,9	1,36
0,8	1,07	1,27	1,75	0,3	1,48	1,94	2,80	1,0	1,21
1,0	0,93	1,00	1,40	0,4	1,11	1,32	1,80	1,2	1,04
1,2	0,88	0,84	1,16	0,5	0,95	1,05	1,39	1,4	0,94

Толщина пиломатериалов 32 мм

1,4	0,86	0,75	0,98	0,6	0,86	0,92	1,15	1,6	0,88
1,6	0,84	0,72	0,90	0,7	0,82	0,84	1,03	2,0	0,80
2,0	0,80	0,68	0,80	0,8	0,80	0,80	0,94	2,4	0,74
2,8	0,77	0,66	0,76	0,9	0,80	0,76	0,88	2,8	0,69

Толщина пиломатериалов 40 мм

0,6	1,25	1,58	2,01	0,2	2,00	—	—	0,9	1,27
0,8	0,99	1,18	1,57	0,3	1,26	1,77	2,40	1,0	1,15
1,0	0,90	0,96	1,24	0,4	1,01	1,22	1,59	1,2	1,06
1,2	0,87	0,85	1,04	0,5	0,93	0,97	1,22	1,4	0,93
1,4	0,85	0,80	0,94	0,6	0,88	0,89	1,06	1,6	0,89
1,6	0,83	0,76	0,88	0,7	0,85	0,83	0,98	2,0	0,84
≥2,0	0,82	0,73	0,82	0,8	0,84	0,81	0,92	2,4	0,80
				0,9	0,83	0,80	0,88	2,8	0,76

С поперечной штабелевой и прямой циркуляцией				С зигзагообразной циркуляцией				С продольной штабелевой и прямой циркуляцией		
Скорость $\omega_{г.б.р.}$ м/с	$A_{ц}$ при режимах			Скорость $\omega_{г.б.р.}$ м/с	$A_{ц}$ при режимах			Скорость $\omega_{г.б.р.}$	$A_{ц}$ при режимах	нормальных режимов
	мягких	нормальных	форсированных		мягких	нормальных	форсированных			

Толщина пиломатериалов 50 мм

0,4	1,53	2,29	2,73	—	—	—	—	—	—
0,6	1,04	1,50	1,82	0,2	1,65	—	—	0,9	1,17
0,8	0,92	1,10	1,40	0,3	1,08	1,60	2,00	1,0	1,06
1,0	0,88	0,93	1,08	0,4	0,94	1,10	1,36	1,2	0,96
1,2	0,86	0,86	0,96	0,5	0,90	0,91	1,11	1,4	0,92
1,4	0,85	0,83	0,90	0,6	0,88	0,86	0,99	1,6	0,90
1,6	0,84	0,80	0,86	0,7	0,88	0,84	0,93	2,0	0,86
2,0	0,83	0,76	0,83	0,8	0,87	0,83	0,88	2,4	0,84
—	—	—	—	0,9	0,87	0,82	0,87	2,8	0,81

Толщина пиломатериалов 60 мм

0,4	1,22	2,13	2,49	—	—	—	—	—	—
0,6	0,94	1,40	1,65	0,2	1,35	2,60	2,80	0,9	1,12
0,8	0,89	1,04	1,27	0,3	0,99	1,45	1,76	1,0	1,03
1,0	0,86	0,92	1,00	0,4	0,91	1,04	1,26	1,2	0,95
1,2	0,85	0,89	0,92	0,5	0,89	0,92	1,06	1,4	0,91
1,4	0,84	0,85	0,89	0,6	0,88	0,88	0,96	1,6	0,90
1,6	0,84	0,82	0,85	0,7	0,87	0,86	0,91	2,0	0,87
2,0	0,83	0,78	0,83	0,8	0,87	0,86	0,90	2,4	0,85
—	—	—	—	0,9	0,87	0,85	0,89	2,8	0,82

Толщина пиломатериалов 75 мм

0,2	1,93	3,48	4,48	—	—	—	—	—	—
0,4	0,99	1,95	2,28	—	—	—	—	—	—
0,6	0,88	1,27	1,45	0,2	1,06	2,07	2,50	0,9	1,04
0,8	0,85	0,98	1,11	0,3	0,92	1,23	1,55	1,0	0,98
1,0	0,85	0,92	0,96	0,4	0,88	1,01	1,12	1,2	0,93
1,2	0,84	0,90	0,91	0,5	0,88	0,94	0,99	1,4	0,91
1,4	0,84	0,86	0,88	0,6	0,87	0,91	0,93	1,6	0,90
1,6	0,84	0,84	0,85	0,7	0,87	0,90	0,90	2,0	0,88
2,0	0,83	0,80	0,84	0,8	0,87	0,89	0,90	2,4	0,86
—	—	—	—	0,9	0,87	0,89	0,90	2,8	0,84

32. Поправочный коэффициент к величине $A_{ц}$ для необрезного материала

Скорость $\omega_{г.б.р.}$ м/с	Толщина пиломатериалов $S_{л}$, мм, при режимах					
	мягких			нормальных и форсированных		
	до 25	32 . . . 40	50 и более	до 25	32 . . . 40	50 и более
0,4	0,61	0,71	0,86	0,57	0,57	0,64
0,6	0,68	0,80	0,90	0,63	0,64	0,76
0,8	0,73	0,85	0,93	0,65	0,82	0,82

Скорость $\omega_{\text{габ р}}$ м/с	Толщина пиломатериалов S_1 , мм. при режимах					
	мягких			нормальных и форсированных		
	до 25	32 ... 40	50 и более	до 25	32 ... 40	50 и более
1,0	0,80	0,91	0,95	0,67	0,76	0,88
1,2	0,84	0,94	0,97	0,72	0,82	0,92
1,4	0,88	0,96	0,98	0,75	0,88	0,95
1,6	0,90	0,97	0,99	0,80	0,91	0,97
2,0	0,95	0,99	1,00	0,85	0,96	1,00
2,8	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98	1,00

33. Значения коэффициента $A_{\text{в}}$, формула (25), при начальной влажности $W_{\text{н}}$, %

Толщина пиломатериалов S_1 , мм	Нормальные и форсированные режимы					Мягкие режимы		
	Конечная влажность $W_{\text{к}}$, %							
	8	10	12	18	20 ... 22	10 ... 12	18	20 ... 22
$W_{\text{н}} = 120$								
16	2,30	2,23	2,20	2,20	2,20	1,84	1,72	1,65
19	2,22	2,14	2,09	2,06	2,06	1,70	1,54	1,46
22	2,14	2,06	2,00	1,96	1,94	1,60	1,41	1,32
25	2,08	1,99	1,92	1,86	1,83	1,54	1,33	1,23
32	1,98	1,87	1,78	1,66	1,64	1,46	1,22	1,13
40	1,91	1,77	1,68	1,52	1,49	1,43	1,18	1,08
$W_{\text{н}} = 110$								
16	2,09	1,01	1,99	1,99	1,99	1,70	1,58	1,51
19	2,03	1,95	1,91	1,87	1,87	1,59	1,43	1,35
22	1,98	1,89	1,84	1,79	1,71	1,52	1,32	1,23
25	1,93	1,85	1,77	1,71	1,69	1,46	1,26	1,15
32	1,86	1,76	1,66	1,55	1,50	1,41	1,17	1,07
40	1,80	1,68	1,57	1,43	1,39	1,38	1,11	1,03
$W_{\text{н}} = 100$								
16	1,90	1,85	1,80	1,80	1,80	1,56	1,44	1,37
19	1,84	1,77	1,72	1,69	1,69	1,48	1,32	1,24
22	1,80	1,72	1,66	1,61	1,60	1,41	1,22	1,13
25	1,78	1,69	1,62	1,55	1,53	1,37	1,16	1,06
32	1,74	1,63	1,54	1,42	1,40	1,33	1,09	1,00
40	1,70	1,57	1,47	1,32	1,28	1,31	1,06	0,96
50	1,65	1,52	1,41	1,23	1,16	1,31	1,06	0,96
$W_{\text{н}} = 90$								
16	1,69	1,63	1,59	1,59	1,59	1,42	1,30	1,22
19	1,66	1,59	1,54	1,50	1,50	1,35	1,19	1,11
22	1,64	1,56	1,50	1,44	1,44	1,31	1,12	1,03
25	1,63	1,55	1,47	1,41	1,39	1,29	1,08	1,07
32	1,62	1,51	1,42	1,30	1,27	1,26	1,01	0,94
40	1,59	1,46	1,36	1,22	1,18	1,25	1,00	0,89
50	1,55	1,42	1,31	1,14	1,07	1,25	1,00	0,89
60 и более	1,54	1,38	1,28	1,05	0,97	1,2	1,00	0,89

Толщина пилонате- риалов S, мм	Нормальные и форсированные режимы					Мягкие режимы		
	Конечная влажность W_k , %							
	8	10	12	18	20 ... 22	10 ... 12	18	20 ... 22
$W_H = 80$								
16	1,50	1,43	1,40	1,40	1,40	1,28	1,16	1,09
19	1,49	1,42	1,37	1,34	1,34	1,23	1,07	0,99
22	1,48	1,40	1,34	1,29	1,28	1,21	1,02	0,93
25	1,48	1,39	1,32	1,25	1,23	1,20	0,99	0,89
32	1,48	1,37	1,28	1,18	1,14	1,18	0,94	0,85
40	1,47	1,35	1,25	1,11	1,06	1,18	0,93	0,83
50	1,45	1,32	1,21	1,03	0,96	1,18	0,93	0,83
60 и более	1,44	1,29	1,18	0,95	0,87	1,18	0,93	0,83
$W_H = 70$								
16	1,31	1,23	1,21	1,20	1,19	1,14	1,02	0,95
19	1,31	1,22	1,19	1,16	1,14	1,12	0,96	0,88
22	1,32	1,23	1,17	1,12	1,11	1,01	0,92	0,82
25	1,32	1,24	1,16	1,10	1,07	1,11	0,90	0,80
32	1,33	1,22	1,13	1,03	1,00	1,10	0,86	0,77
40	1,34	1,23	1,12	0,99	0,94	1,10	0,85	0,74
50	1,35	1,22	1,11	0,93	0,86	1,10	0,85	0,74
60 и более	1,37	1,22	1,11	0,89	0,80	1,10	0,85	0,74
$W_H = 60$								
16	1,10	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,81
19	1,12	1,05	1,00	0,98	0,97	1,00	0,84	0,76
22	1,14	1,06	1,00	0,95	0,94	1,00	0,81	0,72
25	1,16	1,07	1,00	0,93	0,91	1,00	0,79	0,69
32	1,20	1,09	1,00	0,88	0,86	1,00	0,76	0,67
40	1,23	1,11	1,00	0,85	0,81	1,00	0,75	0,65
50	1,24	1,11	1,00	0,82	0,75	1,00	0,75	0,65
60 и более	1,26	1,11	1,00	0,78	0,69	1,00	0,75	0,65
$W_H = 50$								
16	0,89	0,83	0,79	0,79	0,79	0,86	0,74	0,68
19	0,91	0,85	0,81	0,78	0,78	0,87	0,71	0,64
22	0,98	0,89	0,84	0,77	0,77	0,89	0,71	0,60
25	1,00	0,91	0,84	0,77	0,74	0,89	0,69	0,58
32	1,05	0,95	0,85	0,74	0,71	0,89	0,65	0,55
40	1,11	0,99	0,88	0,72	0,68	0,83	0,64	0,54
50	1,13	0,90	0,89	0,71	0,64	0,88	0,64	0,54
60 и более	1,15	1,00	0,89	0,66	0,57	0,88	0,64	0,54
$W_H = 40$								
16	0,69	0,64	0,59	0,59	0,59	0,71	0,59	0,52
19	0,75	0,67	0,63	0,59	0,59	0,73	0,58	0,50
22	0,79	0,61	0,65	0,60	0,57	0,75	0,57	0,47

Толщина пилomite- риатов S , мм	Нормальные и форсированные режимы					Мягкие режимы		
	Конечная влажность W_k , %							
	8	10	12	18	20...22	10...12	18	20...22
25	0,83	0,73	0,67	0,60	0,57	0,75	0,54	0,43
32	0,89	0,80	0,69	0,59	0,56	0,75	0,51	0,42
40	0,96	0,83	0,73	0,58	0,53	0,74	0,50	0,39
50	0,99	0,85	0,75	0,57	0,51	0,74	0,50	0,39
60 и более	1,11	0,86	0,75	0,53	0,43	0,74	0,50	0,39
$W_n = 30$								
16	0,50	0,43	0,40	0,40	0,40	0,54	0,42	0,35
19	0,55	0,48	0,43	0,40	0,40	0,56	0,40	0,32
22	0,59	0,51	0,45	0,40	0,39	0,57	0,38	0,29
25	0,63	0,54	0,47	0,40	0,38	0,57	0,36	0,26
32	0,72	0,61	0,52	0,40	0,37	0,57	0,33	0,24
40	0,78	0,65	0,55	0,40	0,36	0,57	0,32	0,22
50	0,81	0,68	0,57	0,39	0,32	0,57	0,32	0,22
60 и более	0,83	0,68	0,57	0,33	0,26	0,57	0,32	0,22
$W_n = 25$								
16	0,39	0,32	0,29	0,29	—	0,40	0,28	—
19	0,43	0,36	0,31	0,29	—	0,42	0,26	—
22	0,48	0,40	0,34	0,29	—	0,44	0,25	—
25	0,52	0,43	0,36	0,29	—	0,46	0,23	—
32	0,60	0,49	0,40	0,28	—	0,47	0,23	—
40	0,66	0,54	0,43	0,28	—	0,47	0,22	—
50	0,68	0,55	0,44	0,26	—	0,47	0,22	—
60 и более	0,71	0,56	0,45	0,23	—	0,47	0,22	—
$W_n = 20$								
16	0,30	0,23	0,20	0,20	—	0,27	0,15	—
19	0,34	0,27	0,22	0,20	—	0,30	0,14	—
22	0,38	0,30	0,24	0,19	—	0,31	0,12	—
25	0,42	0,33	0,26	0,19	—	0,32	0,11	—
32	0,49	0,38	0,29	0,17	—	0,32	0,08	—
40	0,53	0,41	0,30	0,15	—	0,32	0,07	—
50	0,56	0,43	0,32	0,14	—	0,32	0,07	—
60 и более	0,58	0,43	0,32	0,10	—	0,32	0,07	—

Коэффициент A_v определяют в зависимости от начальной W_n и конечной W_k влажности, а также толщины пиломатериалов и категорий режимов сушки по табл. 33.

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях камерной сушке могут подвергаться пиломатериалы и заготовки различных пород древесины и размеров. Срок сушки различных

пиломатериалов может сильно отличаться, поэтому в практике важно правильно определить производственную мощность сушильных камер и цеха для сушки заданной спецификации пиломатериалов.

Для планирования работы сушильных камер, ее учета, сопоставления и оценки эффективности различных сушильных камер расчеты производительности выполняют для сушки условных пиломатериалов. Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 40 мм, шириной 150 мм, высушиваемые по II категории качества от начальной влажности 60 до конечной 12 %.

До 1986 г. принятый условный материал имел толщину 50 мм, поэтому расчетная производительность камер на новом условном материале больше примерно на 15...30 %, в зависимости от типа камер, принятых режимов сушки и т. д.

Расчет производительности лесосушильных камер на материале заданной характеристики. Производительность камеры при сушке пиломатериалов определенной характеристики (порода, начальная и конечная влажность) рассчитывают в кубических метрах древесины на заданное календарное время (месяц, квартал, год) по формуле

$$П = nE, \quad (28)$$

где n — число оборотов камеры (сушильных циклов) в течение заданного времени; E — вместимость (емкость) камеры, м³ древесины.

Число оборотов камеры определяют по выражению

$$n = T/\tau, \quad (29)$$

где T — время, за которое определяется производительность, ч или сут; τ — продолжительность оборота камеры.

В камерах периодического действия

$$\tau = \tau_{\text{суш}} + \tau_{\text{з.р}},$$

где $\tau_{\text{суш}}$ — продолжительность процесса сушки; $\tau_{\text{з.р}}$ — продолжительность загрузки и разгрузки камеры.

В камерах непрерывного действия, загрузка и разгрузка которых производится без остановки сушильного процесса, $\tau_{\text{з.р}} = 0$ и $\tau = \tau_{\text{суш}}$. Для определения нормативной (плановой) производительности камеры $\tau_{\text{суш}}$ рассчитывают в соответствии с рекомендациями, приведенными выше, а $\tau_{\text{з.р}}$ в камерах периодического действия принимают равной 0,1 сут.

Для определения действительной производительности камеры при оценке ее отчетных показателей, обследований и испытаниях, значение $\tau_{\text{суш}}$ и $\tau_{\text{з.р}}$ берут по фактическим данным.

Число оборотов камеры в год составляет

$$n = \frac{365}{\tau} C, \quad (30)$$

где C — коэффициент технического использования камер (отношение планируемой продолжительности работы камер в году к общему числу дней в году.)

При проектировании и разработке сушильных камер принято, что планируемое время работы камеры составляет 335 сут. В этом случае коэффициент $C = 335/365 = 0,92$. Месяц в году планируют на периодические текущие ремонты технологического оборудования камер, их вынужденные простои. При этом учитывают, что на ряде предприятий часть камер некоторое время может быть не загружена из-за отсутствия пиломатериалов.

В практике массовой сушки пиломатериалов, особенно на лесопильных предприятиях, вырабатывающих товарные пиломатериалы, камеры используют более интенсивно почти в течение всего года. Поэтому на таких предприятиях в связи с лучшим использованием сушильных мощностей фактическая производительность камер может быть больше плановой, паспортной производительности сушильных установок.

Вместимость камеры рассчитывают по выражению

$$E = LBHm\beta, \quad (31)$$

где L, B, H — размеры штабеля (длина, ширина, высота) м; m — число штабелей в камере; β — объемный коэффициент заполнения штабеля.

Объемный коэффициент заполнения

$$\beta = \beta_d \beta_{ш} \beta_{в} \frac{100 - Y_o}{100}, \quad (32)$$

где $\beta_d, \beta_{ш}, \beta_{в}$ — линейные коэффициенты заполнения штабеля по длине, ширине, высоте; Y_o — объемная усушка древесины, учитывающая уменьшение ее объема при высыхании до номинальной влажности товарных пиломатериалов ($W = 15\%$). Y_o принимают в среднем равным 7%.

Коэффициент заполнения по длине штабеля β_d показывает отношение средней длины уложенных в штабель пиломатериалов $L_{ср}$ к его длине L :

$$\beta_d = L_{ср}/L. \quad (33)$$

Для штабеля пиломатериалов различной длины β_d принимают в среднем равным 0,85 (при длине штабеля 6,5 м). Если длина всех досок или заготовок в штабеле одинакова, т. е. $L_{ср} = L$, то $\beta_d = 1$.

Коэффициент заполнения по ширине $\beta_{ш}$ — это отношение суммарной ширины пиломатериалов в горизонтальном ряду штабеля к его ширине. Он зависит от вида пиломатериалов и способа укладки. Рекомендуемые для расчетов средние значения $\beta_{ш}$ приведены в табл. 34.

Коэффициент заполнения штабеля по высоте $\beta_{в}$ характеризует отношение суммарной толщины пиломатериалов в верти-

кальном ряду штабеля к его высоте. Он определяется по выражению

$$\beta_v = \frac{S_1}{S_1 + S_{пр}}, \quad (34)$$

где S_1 — толщина пиломатериалов; $S_{пр}$ — толщина прокладок; обычно $S_{пр} = 25$ мм; в отдельных случаях применяют прокладки толщиной 22 и 32 мм.

34. Значение коэффициента заполнения штабеля по ширине

Вид пиломатериалов	Способ укладки	
	без шпаций	со шпациями
Обрезные	0,90	0,65
Необрезные	0,60	0,43

Если в штабель укладывают заготовки, используемые и как прокладки, то величина коэффициента β_v будет несколько больше указанной в формуле (34) при $S_1 = S_{пр}$, так как объем прокладок включается в полезный объем штабеля. При этом с уменьшением длины заготовок уменьшается шаг между прокладками и коэффициент β_v увеличивается. Для такого штабеля в зависимости от длины заготовки β_v принимают следующий.

Длина заготовки, м	0,5	1	От 1 до 2
Коэффициент β_v	0,6	0,58	0,55

Нормативные значения объемного коэффициента заполнения штабеля, уложенного из обрезных или необрезных пиломатериалов на прокладках практически используемых толщин, рассчитанные по формуле (32) при $\beta_d = 0,85$, приведены в табл. 35.

Обозначив произведение $LBHm$ в выражении (31) символом Γ , характеризующим габаритный объем штабелей, m^3 , загружаемых в камеру, получаем формулу для определения нормативной вместимости камеры, m^3 древесины:

$$E = \Gamma \beta. \quad (35)$$

Фактическую вместимость камеры при ее обследовании и испытаниях определяют по размерам и числу уложенных в штабелях досок, суммируя их фактический объем.

В табл. 35 объемные коэффициенты заполнения штабеля рассчитаны для укладки пиломатериалов в штабеля длиной 6,5 м, а средняя длина пиломатериалов принимается 5,5 м. Однако в практике нередко средняя длина выпиленных на предприятии пиломатериалов изменяется в широких пределах в зависимости от их толщины и принятой системы сортировки и торцовки до или после сушки.

Кроме того, применяют камеры непрерывного действия с поперечной закаткой, где длина штабеля отличается от расчетной — 6,8 или 7 м, в зависимости от типа камер. Поэтому при расчете производительности и составлении календарного плана работ сушильного цеха необходимо с учетом условий предприятия определять расчетную и фактическую вместимость высушиваемых штабелей по формулам (32), (33), (34), исходя из фактических объемов досок, уложенных в сушильный штабель.

35. Нормативные значения объемного коэффициента заполнения штабеля

Номинальная толщина пиломатериалов S_1 , мм	Способ укладки									
	со шпациями					без шпаций				
	обрезные		необрезные			обрезные		необрезные		
	Толщина прокладок $S_{пр}$, мм									
	22	25	22	25	22	25	32	22	25	
13	0,191	0,176	0,126	0,116	0,264	0,244	0,206	0,176	0,162	
16	0,216	0,201	0,143	0,133	0,300	0,278	0,237	0,200	0,186	
19	0,238	0,222	0,158	0,147	0,330	0,307	0,265	0,220	0,205	
22	0,257	0,241	0,170	0,159	0,356	0,333	0,290	0,237	0,222	
25	0,273	0,257	0,181	0,170	0,378	0,356	0,313	0,252	0,237	
32	0,304	0,288	0,201	0,191	0,422	0,399	0,356	0,281	0,266	
40	0,331	0,316	0,219	0,209	0,459	0,438	0,395	0,306	0,292	
45	0,345	0,330	0,228	0,219	0,478	0,458	0,416	0,319	0,305	
50	0,357	0,342	0,236	0,227	0,494	0,474	0,434	0,329	0,316	
60	0,376	0,362	0,249	0,243	0,521	0,502	0,464	0,347	0,335	
70	0,391	0,379	0,259	0,250	0,541	0,525	0,488	0,361	0,350	
75	0,397	0,385	0,263	0,255	0,550	0,533	0,499	0,367	0,356	
90	0,413	0,402	0,273	0,266	0,572	0,557	0,525	0,381	0,371	
100	0,421	0,411	0,279	0,272	0,583	0,569	0,539	0,389	0,379	

Годовую производительность камеры Π при сушке пиломатериалов определенной характеристики при заданных режимах и определенной категории качества вычисляют по формуле

$$\Pi = \frac{365}{\tau} C E = \frac{335}{\tau} \Gamma \beta. \quad (36)$$

Расчет производительности лесосушильных камер в условном материале. Сушке подлежат пиломатериалы различной характеристики и производительность лесосушильных камер в объеме высушиваемой древесины значительно колеблется. Поэтому учет и планирование работы камер ведут в условном материале.

Нормативную годовую производительность камеры в условном пиломатериале Π_y рассчитывают по формуле

$$\Pi_y = \frac{365}{\tau_y} C \beta_y \Gamma = \frac{335}{\tau_y} \beta_y \Gamma, \quad (37)$$

где τ_y — продолжительность оборота камеры при сушке условного материала,

сут; β_y — объемный коэффициент заполнения штабеля условным материалом; G — габаритный объем загружаемых в камеру штабелей, м³; $C=0,92$.

Выражение $\frac{335}{\tau_y} \beta_y$ в формуле (37) представляет собой удельную годовую производительность камеры $P_{y, уд}$, габаритный объем штабелей в которой равен 1 м³. Тогда

$$P_y = P_{y, уд} G. \quad (38)$$

Удельная производительность $P_{y, уд}$ зависит от типа камеры, интенсивности циркуляции в ней сушильного агента и категории режимов сушки. Ее нормативные значения (в кубометрах древесины в год на 1 м³ габаритного объема штабелей) для камер основных типов при использовании прокладок толщиной 25 мм приведены в табл. 36 (камеры периодического действия) и табл. 37 (камеры непрерывного действия), в ко-

36. Нормативная (плановая) годовая удельная производительность камер периодического действия в условном материале

Тип камер	Скорость по материалу, $\omega_{\text{мат}}$, м/с	Значение τ_y и $P_{y, уд}$ для режимов							
		мягких		нормальных		форсированных		высокотемпературных	
		τ_y	$P_{y, уд}$	τ_y	$P_{y, уд}$	τ_y	$P_{y, уд}$	τ_y	$P_{y, уд}$

Камеры в строительных ограждениях

С циркуляцией: естественной слабой интенсивности, например ЦНИИМОД-39	0,2	—	—	7,2	15,0	—	—	—	—
	0,5	—	—	5,9	25,0	—	—	—	—
	1,0	7,3	20,0	4,3	34,0	3,5	42,0	—	—
2,0	6,8	22,0	3,4	43,0	2,6	56,5	—	—	
повышенной интенсивности, например ВК-4, СПЛК-2									

Сборно-металлические камеры

С циркуляцией: нереверсивной (СКД)	2,0	—	—	—	—	—	—	1,65	89,0
	1,5	6,8	21,5	3,7	39,5	2,95	49,5	—	—
реверсивной, например, СПМ-2К, СПВ-62, УЛ-2М УЛ-1									
То же	2,0	—	—	3,4	43,0	2,6	56,5	1,55	94,5
	2,5	—	—	3,3	44,5	2,4	61,0	1,4	105,0
	3,0	—	—	3,1	47,5	2,3	64,0	1,3	113,0

46.5

торых для справок указаны также расчетная продолжительность оборота камеры τ_y , сут, и принятая для расчетов скорость циркуляции сушильного агента по материалу $\omega_{\text{мат}}$.

Принятые для расчетов и указанные в табл. 36 значения $\omega_{\text{мат}}$ выбраны на основании обобщения результатов испытаний камер. Для камер непрерывного действия базовой является расчетная скорость в габаритном сечении штабеля $\omega_{\text{габ.р}}$ — отношение секундной производительности циркуляционных вентиляторов к площади габаритного сечения штабеля перпендикулярного направлению в нем воздушного потока, т. е. $\omega_{\text{габ.р}} = V_{\text{в}}/F_{\text{габ}}$.

37. Нормативная (плановая) годовая удельная производительность противоточных камер непрерывного действия в условном материале

Тип камер	Расчетная скорость $\omega_{\text{габ.р}}$ при режимах			Значения τ_y и P_y уд ¹ м ³ /год, м ³ при режимах					
				мягких		нормальных		форсированных	
	мягких	нормальных	форсированных	τ_y	P_y уд	τ_y	P_y уд	τ_y	P_y уд
С поперечной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией	0,78	0,95	1,26	6,05	24*	3,1	47	2,4	61,0
С продольной штабелевкой и зигзагообразной циркуляцией	0,41	0,48	0,67	6,05	24	3,1	47	2,4	61,0
С продольной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией	—	1,25	—	—	—	3,1	34	—	—

* Для камер с крупногабаритными штабелями при использовании прокладок толщиной 32 мм P_y уд = 22.

Принятые для расчетов и указанные в табл. 37 значения $\omega_{\text{габ.р}}$ обеспечивают минимальную себестоимость сушки при сохранении целостности материала. Габаритный объем штабелей G для камер с поперечной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией следует вычислять по длине штабеля $L=6,5$ мм.

Перевод производительности лесосушильных камер на материале заданной характеристики в производительность на условном материале. Производительность камеры на материале заданной характеристики P переводят в производительность на условном материале умножением на переводной коэффициент K

$$P_y = PK. \quad (39)$$

Из выражений (36) и (39) находят переводной коэффициент

$$K = \frac{P_y}{P} = \frac{335E_y}{\tau_y} \bigg/ \frac{335E}{\tau} = \frac{\tau}{\tau_y} \frac{E_y}{E} = K_\tau K_E, \quad (40)$$

где τ и E — продолжительность оборота камеры и ее вместимость на материале заданной характеристики; τ_y и E_y — продолжительность оборота камеры и ее вместимость на условном материале.

Таким образом, общий переводной коэффициент K равен произведению двух составляющих: 1) коэффициента продолжительности оборота $K_\tau = \tau/\tau_y$; 2) коэффициента вместимости камеры $K_E = E_y/E$, который при постоянстве габаритного объема штабелей может быть выражен отношением объемных коэффициентов заполнения: $K_E = \beta_y/\beta$.

В объем условного материала могут быть переведены как расчетная P_y , так и фактическая $P_{y,ф}$ производительности камеры на материале заданной характеристики. В обоих случаях коэффициенты K_τ и K_E определяют по расчетным значениям продолжительности оборота и вместимости камеры:

$$P_{y,р} = P_p K_\tau K_E = P_p \frac{\tau_p}{\tau_{y,р}} \cdot \frac{E_{y,р}}{E_p}; \quad (41)$$

$$P_{y,ф} = P_{ф} K_\tau K_E = P_{ф} \frac{\tau_p}{\tau_{y,р}} \frac{E_{y,р}}{E_p}. \quad (42)$$

Фактическую производительность камеры в условном материале также можно определить, исходя из установленных при испытании фактической продолжительности оборота $\tau_{ф}$, фактической вместимости камеры $E_{ф}$ и ее расчетной производительности на условном материале $P_{y,р}$, расчетных продолжительности τ_p и вместимости E_p при характеристиках материала во время испытаний по формуле

$$P_{y,ф} = P_{y,р} \frac{\tau_p}{\tau_{ф}} \frac{E_{ф}}{E_p}. \quad (43)$$

Перевод объема высушенной или подлежащей сушке древесины в объем условного материала. Объем однородной партии фактически высушенной или подлежащей сушке древесины Φ_i переводят в объем условного материала Y_i по формуле аналогичной выражению (42):

$$Y_i = \Phi_i K_\tau K_E = \Phi_i \cdot \frac{\tau_p}{\tau_{y,р}} \frac{\beta_{y,р}}{\beta_p}. \quad (44)$$

Объем фактически высушенной древесины и соответствующий объем условного материала учитывают отдельно для каждой камеры и определяют по числу и размерам загруженных в камеру досок из заготовок, суммируя их табличный объем, а значения τ_p , $\tau_{y,р}$, β_p и $\beta_{y,р}$ находят в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Общий объем высушенной за данный период времени древесины в натуральном Φ и условном $У$ исчислении определяется суммой

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \Sigma \Phi_i; \\ У &= \Sigma \Phi K_{\tau} K_E. \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Этот метод рекомендуется для использования при планировании работы камер и их проектировании для определения суммарного объема сушки в условном исчислении по заданной спецификации и объему пиломатериалов, подлежащих сушке. Примеры расчетов производительности приведены ниже.

Пример 1. Определить плановую годовую производительность двухкамерной сушилки СПМ-2К и перевести ее в объем условного материала при сушке в ней сосновых обрезных досок сечением 50×150 мм форсированным режимом по II категории качества от начальной влажности 60 до конечной 7%. Средняя скорость реверсивной циркуляции по результатам испытаний равна 2 м/с. Размеры штабеля: $L=6,5$ м; $B=1,8$ м; $H=3$ м. Число штабелей в сушилке 4. Прокладки толщиной 25 мм, укладка досок в штабель — без шпаций.

Находим продолжительность сушки по формуле (24):

$$\tau_{\text{суш}} = \tau_{\text{исх}} A_p A_{\text{ц}} A_k A_b A_d.$$

По расчетам продолжительности сушки получаем:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{исх}} &= 104 \text{ ч}; A_p = 0,8; A_{\text{ц}} = 0,77; A_k = 1,15; \\ A_b &= 1,33; A_d = 1. \end{aligned}$$

Находим $\tau_{\text{суш}} = 104 \cdot 0,8 \cdot 0,77 \cdot 1,15 \cdot 1,33 \cdot 1 = 98$ ч, или 4,09 сут. Продолжительность оборота камеры $\tau = 4,09 + 0,1 = 4,19$ сут. Габаритный объем штабелей $G = LBHn = 6,5 \cdot 1,8 \cdot 3,0 \cdot 4 = 140,4$ м³. Объемный коэффициент заполнения штабеля на прокладках толщиной 25 мм $\beta = 0,474$ (табл. 35).

Тогда производительность сушилки, м³/год, по формуле (36) равна

$$П = \frac{335}{\tau} G \beta = \frac{335}{4,19} 140,4 \cdot 0,474 = 5320.$$

Для перевода полученной плановой производительности в объем условного материала по формуле (41) из табл. 36 находим нормативную продолжительность оборота камеры на условном материале $\tau_{y.p} = 2,6$ сут. Тогда коэффициент продолжительности оборота

$$K_{\tau} = \frac{\tau_p}{\tau_{y.p}} = \frac{4,19}{2,6} = 1,613.$$

Из табл. 35 объемный коэффициент заполнения штабеля для условного материала $\beta_{y.p} = 0,438$, тогда коэффициент вместимости сушилки

$$K_E = E_{y.p} / E_p = \beta_{y.p} / \beta_p = 0,438 / 0,474 = 0,925.$$

Отсюда нормативная производительность сушилки, м³/год, на условном материале

$$П_{y.p} = П_p K_{\tau} K_E = 5320 \cdot 1,613 \cdot 0,925 = 7920.$$

Такая же производительность сушилки получается при непосредственном расчете по формуле (38). Из табл. 36 $P_{y, уд} = 56,5$, тогда

$$P_{y, p} = P_{y, уд} \Gamma = 56,5 \cdot 140,4 = 7920 \text{ [м}^3/\text{год]}.$$

Пример 2. На лесопильно-деревообрабатывающем комбинате, вырабатывающем товарные пиломатериалы, в блоке сушильных камер СП-5КМ за год высушено при мягких режимах обрезных еловых пиломатериалов:

Сечение пиломатериалов мм×мм . . .	75×200	50×150	22×125
Объем высушенных пиломатериалов, м ³ /год	7000	32 000	38 000
Начальная и конечная влажность, % . . .	50 . . . 20	60 . . . 18	80 . . . 16

Требуется определить, сколько просушено за год в условных пиломатериалах и сравнить с нормативной плановой производительностью.

Определяем нормативные значения коэффициентов K_{τ} и K_E . Для этого рассчитываем продолжительность процесса сушки для высушиваемых пиломатериалов:

1) сечением 75×200 мм:

$$\begin{aligned} \tau_{суш} &= \tau_{исх} A_{п} A_{ц} A_{в} A_{к} = 319 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 0,57 \cdot 1 = \\ &= 137,5 \text{ ч} = 5,73 \text{ сут.} \end{aligned}$$

Продолжительность оборота камеры на условном материале равна 6,05 сут (см. табл. 37). Тогда

$$K_{\tau} = \tau / \tau_y = 5,73 / 6,05 = 0,946.$$

Расчетная величина коэффициента (см. табл. 35).

$$K_E = E_y / E = \beta_y / \beta = 0,438 / 0,533 = 0,822.$$

Объем условного материала, м³, по формуле (44) составит

$$Y_i = \Phi_i K_{\tau} K_E = 7000 \cdot 0,946 \cdot 0,822 = 5450.$$

2) сечением 50×150 мм:

расчетная продолжительность процесса сушки, сут,

$$\begin{aligned} \tau_{суш} &= 160 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 0,82 \cdot 1 = 99,2 \text{ ч} = 4,14, \\ K_{\tau} &= 4,13 / 6,05 = 0,684; \quad K_E = 0,438 / 0,474 = 0,925. \end{aligned}$$

Объем условного материала $Y_i = 32\,000 \cdot 0,684 \cdot 0,925 = 20\,220 \text{ м}^3$.

3) сечением 25×125 мм:

$$\begin{aligned} \tau_{суш} &= 53 \cdot 0,9 \cdot 0,76 \cdot 1,3 \cdot 1 = 47 \text{ ч} = 1,96 \text{ сут.} \\ K_{\tau} &= 1,96 / 6,05 = 0,324; \quad K_E = 0,438 / 0,333 = 1,316. \end{aligned}$$

Объем условного материала

$$Y_i = 38\,000 \cdot 0,324 \cdot 1,316 = 16\,200 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем сушки в условном материале

$$Y = \Sigma Y_i = 5450 + 20\,220 + 16\,200 = 41\,870 \text{ м}^3.$$

По формуле (38) определяем нормативную годовую производительность блока СП-5КМ:

$$P_y = P_{y, уд} \cdot \Gamma.$$

В блоке СП-5КМ одновременно просушивают 50 штабелей размером $6,5 \times 1,8 \times 2,9$ м, следовательно, габаритный объем, м³, штабелей $G = 2,9 \cdot 1,8 \times \times 6,5 \cdot 50 = 1695$ (при фактической длине штабеля 7 м принимают расчетную длину 6,5 м).

Из табл. 37 $P_{у. уд} = 24$, тогда $P_{у} = 24 \cdot 1695 = 40\ 600$ м³/год.

Таким образом, сушильные мощности на предприятии используются полностью, так как фактически просушено на 3 % больше нормативного паспортного объема сушки условных пиломатериалов.

Глава 7

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СУШКИ В КАМЕРАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Автоматизация процесса сушки — необходимое условие улучшения технологии сушки и работы сушильных камер, эффективное средство увеличения производительности сушильных установок и улучшения качества высушиваемой древесины. Автоматизация необходима и с точки зрения техники безопасности работы, облегчения труда обслуживающего персонала, снижения затрат тепловой и электрической энергии на сушку.

В камерах непрерывного действия подготовка сушильного агента происходит в циркуляционном канале, где установлены циркуляционные вентиляторы и калориферы. Воздух нагревается до определенных параметров, задаваемых по режиму, и подается в сушильное пространство камеры. Проходя через штабеля, воздух насыщается влагой, влажность его повышается, из загрузочного конца камеры он возвращается в циркуляционный канал. В зависимости от его влажности осуществляется воздухообмен с окружающей средой: при избытке влаги часть отработанного воздуха выбрасывается в атмосферу, а взамен подается свежий воздух.

Дистанционный контроль за параметрами агента сушки должен осуществляться по температуре сухого термометра и психрометрической разности или непосредственно по температуре сухого и смоченного термометров. Регулирование режима сушки производится по температуре сухого термометра и психрометрической разности в разгрузочной части камеры. При отсутствии необходимых приборов допустимо регулирование процесса сушки по температурам сухого и смоченного термометров.

Температуру сушильного агента регулируют посредством изменения количества пара или горячей воды, подаваемых в калориферы камеры. Регулирование степени насыщенности сушильного агента в разгрузочной части осуществляют, изменяя степень открытия приточно-вытяжных каналов.

В общем случае в системе автоматического контроля и управления должно быть предусмотрено:

1) автоматическое регулирование температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров в разгрузочной части камер;

2) автоматическое регулирование степени насыщенности сушильного агента (психрометрической разности) в загрузочной части камер путем изменения количества циркулирующего сушильного агента;

3) дистанционный контроль температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров со стороны загрузки и выгрузки;

4) ручное и дистанционное управление регулирующими органами;

5) сигнализация или измерение степени открытия регулирующих органов и знака отклонения регулируемого параметра по каждой из камер (одновременно или поочередно);

6) дистанционный контроль влажности штабеля пиломатериалов в разгрузочной части.

В многоканальных системах контроль и регулирование каждого параметра в каждой из камер происходит независимо от работы других каналов. Заданное значение параметра устанавливается независимо по каждому каналу и может быть изменено в процессе работы прибора.

Требования к точности автоматического регулирования устанавливаются стандарты на режим сушки, где определены следующие погрешности поддержания температуры и психрометрической разности: в камерах непрерывного действия $\pm 3^\circ$ для температуры, $\pm 1^\circ$ для психрометрической разности. Эти величины относят к установившимся отклонениям при регулировании параметров среды и к точности контроля параметров.

Исходя из общих требований, прежде всего технологических, на первом этапе разработки системы автоматизации лесосушильных камер важно правильно поставить задачи и определить функциональную схему, определяющую основные пути технического решения автоматизации объекта, а также выбор регуляторов.

Функциональная схема определяет структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами контроля и управления процессом. На ней условными изображениями показывают технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматизации, как правило, функциональными блоками и элементами с указанием связей между технологическим оборудованием, приборами и средствами автоматизации [59].

Функциональная схема автоматизации лесосушильных камер должна разрабатываться на основе анализа условий работы камер и их оборудования, статических и динамических свойств камер как объектов управления, а также требований,

предъявляемых к качеству работы систем автоматизации: точности поддержания технологических параметров, например температуры и влажности сушильного агента, качеству регулирования и надежности.

Функциональная схема дает представление о принятых основных решениях по автоматизации объекта. Как правило, она должна базироваться на серийно выпускаемых средствах автоматизации. С учетом вышеизложенного на рис. 63 дан пример функциональной схемы системы контроля и регулирования

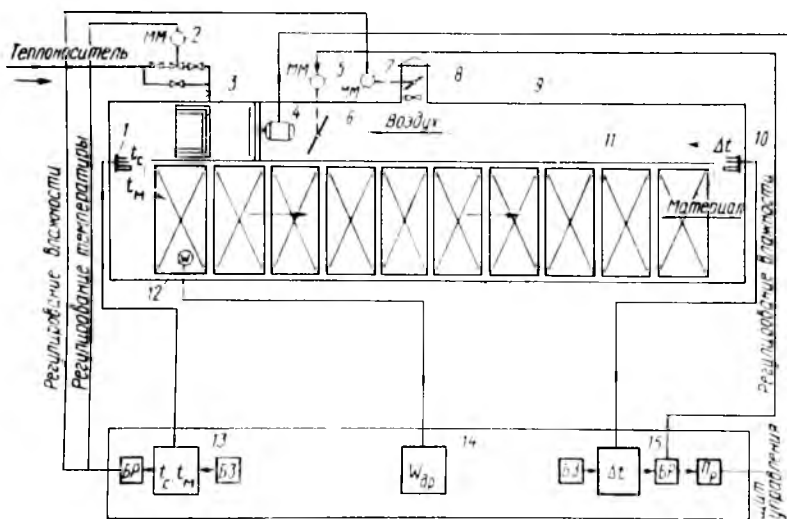


Рис. 63. Функциональная схема управления камерой непрерывного действия: 1, 10 — термометры сопротивления; 2, 5, 7 — исполнительные механизмы; 3 — калориферы; 4 — вентиляторы; 6 — шибер; 8 — приточно-вытяжное устройство; 9 — рециркуляционный канал; 11 — штабеля пиломатериалов; 12, 14 — устройство для контроля влажности; 13, 15 — регуляторы температуры и психрометрической разности

в противоточной камере непрерывного действия с поперечной загрузкой штабелей. На входе воздуха в штабеля установлены сухой и смоченный термометры сопротивления, сигнал от которых подается на измерительно-регулирующее устройство.

При отклонении температуры t_c от заданной, установленной задатчиком БЗ, подается сигнал на выходные реле БР, управляющие работой исполнительных механизмов. Если температура ниже заданной, то исполнительный механизм увеличивает подачу теплоносителя в калориферы камеры, и наоборот. При отклонении температуры смоченного термометра t_m от заданной регулятор воздействует на исполнительный механизм, управляющий положением заслонок приточно-вытяжных каналов.

В загрузочной части камер необходимо обеспечить определенную степень насыщенности сушильного агента, так как при его низкой относительной влажности ухудшается качество

сушки, а при слишком высокой уменьшается производительность камер. С этой целью в загрузочной части можно установить регулятор психрометрической разности. Сигнал от датчиков пропорциональный психрометрической разности Δt поступает на регулятор. Регулятор 15 воздействует либо на исполнительный механизм, управляющий поворотными заслонками для изменения количества циркулирующего воздуха, либо через преобразователь P_p изменяет число оборотов вентиляторов.

При увеличении психрометрической разности в загрузочном конце камеры система регулирования уменьшает количество циркулирующего воздуха, при уменьшении — увеличивает. В штабеле, подлежащем выгрузке, влажность древесины контролируется с помощью датчиков влажности и измерительного прибора.

В схеме на рис. 63 регулирование степени насыщенности сушильного агента в загрузочной части камер осуществляется либо изменением частоты вращения вентилятора, либо изменением сечения циркуляционного канала с помощью жалюзийных заслонок. Однако эти способы имеют существенные недостатки. В первом случае необходимо применение специальных электродвигателей приводов вентиляторов, что усложняет циркуляционную систему. Во втором — уменьшается коэффициент полезного действия вентиляторной системы.

В любом из этих случаев не достигается оптимальное регулирование с точки зрения технологии сушки. Например, уменьшение количества циркулирующего воздуха при недостаточной степени насыщенности в загрузочной части уменьшает и скорость прохождения воздуха по материалу, что в ряде случаев увеличивает общий срок сушки. При высокой степени насыщенности увеличение количества воздуха до необходимой величины не всегда возможно из-за ограниченности общей производительности вентиляторной установки в камере.

В последние годы в камерах периодического действия для регулирования количества сушильного агента применяют 2- и 3-скоростные электродвигатели для привода вентиляторов. Очевидно, этот опыт можно использовать и для камер непрерывного действия. Для регулирования количества воздуха в диапазоне более широком, чем при применении многоскоростных электродвигателей, можно рекомендовать тиристорные электроприводы.

В современных камерах непрерывного действия в основном осуществляется схема автоматизации, приведенная на рис. 63, исключая дистанционный контроль влажности высушиваемой древесины. Рассмотрим возможности создания автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП) сушки пиломатериалов в камерах непрерывного действия и требования к ним. При АСУТП сушки древесины необходимо прежде всего определить критерий оптимизации про-

цесса. За такой критерий можно было бы принять обеспечение заданного качества сушки (минимум технического брака) при минимальной продолжительности процесса сушки. Однако эти требования противоречивы. Минимальную продолжительность можно получить при ужесточении режима сушки, но при этом вероятность ухудшения качества сушки резко возрастает.

В условиях все возрастающих требований к качеству продукции и стремлении сохранить естественную прочность материала, сокращая потери при обработке, главным требованием при сушке становится не производительность установки, а обеспечение заданного качества сушки. Особенно это касается массовой сушки товарных пиломатериалов либо обезличенного назначения, либо для отправки на экспорт на лесопильных заводах.

Следовательно, за критерий оптимизации следует принимать минимум технического брака, или максимум сохранения сортности пиломатериалов при сушке. Режим сушки должен определяться состоянием материала, причем ограничениями при выборе являются температурный уровень, который определяет практическое сохранение прочности, и условия безопасности, позволяющие избежать растрескивания в процессе сушки.

Первое ограничение легко выполнимо и достигается, например, стандартными режимами. Второе зависит от многих факторов — свойств древесины, ее анизотропности, перепада влажности по сечению материала и т. п. и может быть определено только статистически. Предпочтительнее вести процесс сушки, корректируя режим непосредственно по состоянию материала. В этом случае необходима непрерывная информация о параметрах древесины, например о величине внутренних напряжений в процессе сушки.

Известное устройство для контроля внутренних напряжений по дифференциальной усадке, разработанное МЛТИ [48], применимо только для камер периодического действия. В камерах непрерывного действия датчики подобного типа использовать затруднительно, так как на камеру потребуется большое число датчиков, которые должны перемещаться вместе со штабелями. Кроме того, ужесточать режим можно лишь в какой-то определенной зоне, а не по всей длине камеры.

Таким образом, вести процесс сушки в камерах непрерывного действия по качественному критерию в настоящее время вряд ли возможно из-за отсутствия средств информации. Обычно применяют стабилизирующие системы регулирования, обеспечивающие подачу сушильного агента в сушильное пространство камеры с заданными параметрами. Режим сушки задается заранее в зависимости от характеристик загруженных в камеру пиломатериалов.

Очевидно, что требования к качеству сушки в этом случае можно выполнить лишь путем выбора и поддержания рацио-

нального режима и соблюдением технологии. При этом обеспечивают защиту материала от растрескивания и коробления соответствующими мероприятиями. Для обеспечения равномерности сушки осуществляют надлежащую подготовку и подачу сушильного агента в штабеля.

В связи с этим в технологии сушки для обеспечения требований к качеству принято вести процесс по унифицированным (стандартным) режимам, которые выбирают в зависимости от характеристик и назначения пиломатериалов. При этом режимы обеспечивают заданное качество сушки, например гарантируют с вероятностью 95 % предохранение пиломатериалов от растрескивания.

Следовательно, основная задача автоматизированной системы управления — точное поддержание заданного оптимального режима и соблюдение других технологических операций. Так как режимы построены в зависимости от влажности древесины, то информация о текущей влажности пиломатериалов обязательно должна быть предусмотрена в АСУТП.

Основные технологические задачи управления для лесосушильных камер непрерывного действия, операции и параметры, подлежащие контролю и учету в системе управления, приведены в табл. 38, а структурная схема АСУТП — на рис. 64 [60]. Из известных способов определения влажности древесины наиболее перспективным является метод контроля влажности по изменению массы штабеля или его части в процессе камерной сушки, позволяющий непосредственно судить о количестве испаряемой влаги и измерять среднюю влажность пиломатериалов в любом диапазоне.

Для определения влажности древесины по массе штабеля надо вычислить массу штабеля в абсолютно сухом состоянии. Так как ее обычно определяли по начальной влажности отдельных образцов, то это и приводило к невысокой точности определения средней влажности штабеля.

Применение в системе управления электронных вычислительных машин позволяет использовать метод вычисления массы штабеля в сухом состоянии по измеряемым в процессе сушки значениям убыли массы. Этот способ дает удовлетворительную точность ($\pm 1 \dots 1,5$ % влажности) и позволяет контролировать среднюю влажность штабеля в процессе сушки без предварительного определения его начальной влажности.

Оптимизация параметров среды лесосушильных камер заключается в выборе и поддержании необходимого режима сушки в зависимости от текущей влажности высушиваемых пиломатериалов. В камерах непрерывного действия режим сушки для данного материала постоянен. Но контроль текущей влажности по массе штабеля необходим для прогнозирования окончания сушки. Кроме того, вычислительное устройство должно оптимизировать и количество циркулирующего по мате-

38. Технологические параметры для АСУТП сушки пиломатериалов в камерах непрерывного действия

Наименование операции	Технологические параметры	Диапазон изменения параметров
Загрузка штабелей в камеры	Размеры и число штабелей; порода, сечение и объем пиломатериалов	—
Выбор и назначение режима	Температура и психрометрическая разность в разгрузочной и загрузочной частях камеры	Стандартная таблица режимов и зависимости от характеристик и назначения пиломатериалов
Проведение процесса сушки	Температуры, °С, по сухому t_c и смоченному t_m термометрам (или температура и психрометрическая разность Δt) в разгрузочной части камер	$t_c = 55 \dots 112$ $t_m = 40 \dots 80$ $\Delta t = 0 \dots 40$
	Психрометрическая разность в загрузочной части камер, °С	0 ... 10
Изменение текущей влажности (по массе штабеля)	Количество циркулирующего сушильного агента, тыс. м ³ /ч	100 ... 300
	Средняя влажность штабеля, %:	
	начальная	Свыше 30
	конечная	10 ... 20
Конечная влаготеплообработка при наличии отсеков влаготеплообработки	Точность определения в диапазоне измерения, %:	
	свыше 30	$\pm 3 \dots 5$
	10 ... 20	+1.5
Определение момента окончания сушки	Температура t_c и психрометрическая разность Δt , длительность, ч	По заданной таблице в зависимости от выбранного режима, характеристик и назначения материала
	То же	То же
Выгрузка штабелей из камер		
Оценка качества сушки	Определение конечной влажности, ее разброса по штабелю и других параметров для контрольных штабелей	Периодичность контроля определяется по условиям производства
Учет высушенных пиломатериалов, расхода тепловой и электрической энергии	Порода, сечение, объем; общий и удельный расход тепловой и электрической энергии	Периодичность контроля определяется по условиям производства

риалу сушильного агента для обеспечения необходимой степени насыщенности в загрузочной части.

В системе регулирования параметров среды важно правильно выбрать место установки датчиков температуры в камере, чтобы измерять среднюю температуру сушильного агента. В противоточных камерах датчики температуры располагают в зоне отверстия в циркуляционном канале на стороне подачи

сушильного агента в штабеля. Такое расположение датчиков правильно, о чем свидетельствуют измерения температурного поля, проведенные на некоторых действующих камерах.

Температура сушильного агента, подаваемого в сушильное пространство, равномерна по штабелю: отклонения температуры равны $\pm 1^\circ\text{C}$ от среднего значения в разгрузочном конце камеры. При этом средняя температура на входе в штабель совпадает с температурой, измеренной в месте расположения датчиков регулятора, что также свидетельствует о правильности места выбора датчиков.

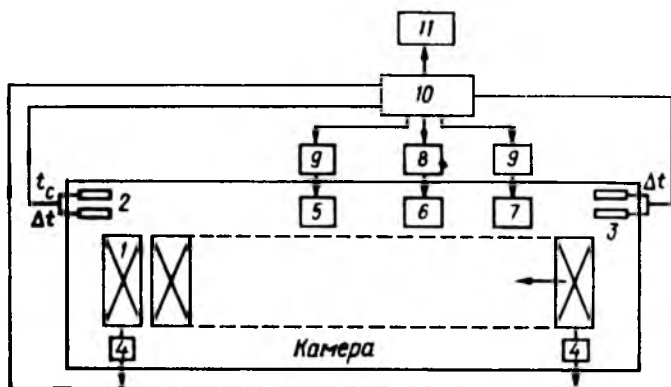


Рис. 64. Структурная схема АСУТП для камер непрерывного действия:

1 — штабеля пиломатериалов; 2 — датчики температуры и психрометрической разности в разгрузочной части камеры; 3 — датчики психрометрической разности в загрузочной части камеры; 4 — датчики влажности (массы); 5 — калорифер; 6 — вентиляторная установка; 7 — приточно-вытяжное устройство; 8 — регулируемый электропривод; 9 — исполнительные механизмы; 10 — ЭВМ; 11 — информационное табло

В загрузочной части камер для измерения параметров воздуха датчики следовало бы установить непосредственно у выхода из штабеля. Однако это конструктивно сложно, поэтому датчики температур аналогично их размещению в разгрузочной части камер можно установить на входе в циркуляционный канал над штабелем. Но при этом на датчики поступает не только воздух, выходящий из сушильных штабелей, но и воздух, проходящий мимо штабелей, который имеет более высокую температуру, что вызовет завышенные показания датчиков в циркуляционном канале.

В разгрузочной части камеры обычно требуется контролировать психрометрическую разность. В ряде случаев величина психрометрической разности, измеренной в циркуляционном канале, на $+1,5 \dots 2^\circ\text{C}$ выше, чем на выходе из штабеля. Следовательно, надо или вводить поправки к показаниям при установке системы дистанционного контроля температур в разгрузочной части камер, или делать выдвижное устройство для установки датчиков. Это устройство, установленное на верхнем

горизонтальном экране, перед загрузкой и выгрузкой штабелей дистанционно должно подниматься в циркуляционный канал.

Эффективное использование систем автоматизации возможно лишь на камерах с отработанной технологией и надежным оборудованием. Поэтому действующие камеры непрерывного действия нуждаются в соответствующей подготовке перед оснащением их средствами контроля и регулирования. При проектировании новых камер определяют рациональный уровень автоматизации в зависимости от уровня развития и особенностей технологии и характера оборудования камер, свойств сушильных камер как объектов управления, требуемого качества контроля и регулирования.

В некоторых случаях требуется модернизация или реконструкция камер для создания условий автоматизации, улучшения некоторых свойств объекта, способствующих их управляемости. Например, герметизация камеры — необходимое условие надежного регулирования степени насыщенности сушильного агента. При недостаточной герметизации увеличивается расход тепла на сушку, а в ряде случаев не обеспечивается соответствующая режиму влажность сушильного агента. Кроме того, в большинстве противоточных камер непрерывного действия коэффициент использования воздушного потока значительно меньше единицы, он равен 0,5 и менее (см. табл. 3).

В этом случае требуется улучшить систему подготовки, подачи и распределения сушильного агента по высушиваемым штабелям. В частности, следует предусмотреть систему надежных экранов, установленных в сушильном пространстве камеры, которые позволяют свести к минимуму воздушные потоки, проходящие в промежутках между штабелями и ограждениями камер.

В паровых камерах, работающих в блоке, конденсат из калориферов отводится через одну линию. Здесь важно после каждой камеры установить надежные конденсатоотводчики и обратные клапаны, так как в противном случае калориферы смежных камер через конденсатопровод оказываются взаимосвязанными и камеры становятся неуправляемыми как объекты регулирования температуры, особенно при низкотемпературных режимах.

Для улучшения качества регулирования параметров среды в камерах необходимо предусмотреть установку системы стабилизирующего регулирования параметров теплоносителя, подаваемого в калориферы камеры. Для камер непрерывного действия целесообразно использовать в качестве теплоносителя в калориферах горячую или перегретую воду. Применение смеси горячей и холодной воды (подпитка калориферов горячей водой) позволяет более гибко регулировать температуру сушильного агента в камерах. Особенно это касается использования мягких режимов сушки в камерах, когда для поддержа-

ния требуемой температуры 50...55 °С не требуется высокой температуры теплоносителя.

Для камер периодического действия при использовании стандартных форсированных или высокотемпературных режимов необходимо подавать насыщенный пар давлением 0,3...0,4 МПа с температурой до 140...150 °С, чтобы обеспечить регулирование заданной температуры. Для низкотемпературных камер непрерывного действия можно подобрать такую температуру горячей воды, которая при сушке однородного материала обеспечит постоянство температуры сушильного агента при сравнительно небольших регулирующих воздействиях.

Важным фактором, определяющим рациональность уровня автоматизации, является ее экономическая эффективность. При проектировании системы автоматизации необходимо сопоставлять затраты на реализацию системы и получаемый при этом технико-экономический эффект. Экономический эффект при внедрении систем автоматического контроля и управления процессом сушки заключается в увеличении производительности камер, улучшении качества сушки, уменьшении энергетических затрат.

Как показывает практический опыт, в среднем при внедрении систем стабилизирующего регулирования параметров среды удельный экономический эффект составляет 0,2...0,4 р/м³ высушиваемых пиломатериалов. При сроке окупаемости средств автоматизации в 5 лет допустимые капитальные вложения на систему автоматизации сушильных камер составят в среднем 1,5 р/м³ высушиваемых пиломатериалов.

Например, для блока камер непрерывного действия производительностью 50 000 м³ пиломатериалов в год допустимы затраты на их автоматизацию с учетом стоимости оборудования, монтажа, наладки и обслуживания в сумме 75 тыс. р. Таким образом, для крупных сушильных блоков камер эффективным будет и применение автоматизированных систем управления процессом сушки (АСУТП) с использованием вычислительной техники.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ КАМЕРАХ

Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов для стабилизирующего регулирования температур по сухому и смоченному термометрам рекомендуют применять многоканальные позиционные регуляторы на базе электронных автоматических мостов. В камерах СП-5КМ использованы также регуляторы ЭМР-209РД. Эти регуляторы применяли и в камерах периодического действия, например в СПВ-62, где они показали неплохие результаты в процессе эксплуатации: качество регулирования удовлетворительное, они надежны и достаточно просты в эксплуатации. Сейчас подобные мосты,

например КСМ-4, выпускают на 12 каналов измерения и регулирования.

Функциональная схема автоматического регулирования в камере СП-5КМ показана на рис. 65. Контроль и автоматическое регулирование температур по сухому и смоченному термометрам осуществляется с помощью электронных мостов, установленных на щите управления по одному на каждую камеру. Датчиками температуры служат платиновые термометры

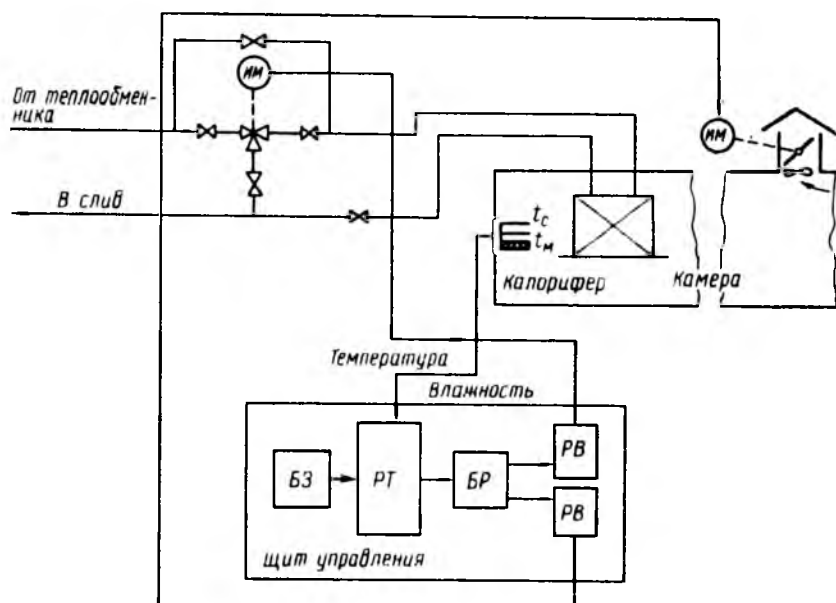


Рис. 65. Схема автоматического регулирования на камере СП-5КМ

сопротивления типа ТСП-753, применены исполнительные механизмы типа ПР-1.

Сигналы, приходящие от датчиков, сравниваются с заданными на блоке $БЗ$ температурами t_c и t_m по сухому и смоченному термометрам. При отклонении температуры от заданной электронный регулятор вырабатывает и подает соответствующую команду на исполнительный механизм смесительного клапана, включенный как разделитель потока в систему распределения горячей воды к калориферам; например, при повышении температуры воздуха в камере клапан уменьшает подачу горячей воды к калориферам за счет увеличения слива воды в отводящий трубопровод.

При отклонении относительной влажности сушильного агента регулятор воздействует на исполнительный механизм, управляющий положением заслонки в канале выброса воздуха

из рекуператора. Так, при повышенной влажности заслонка открывается и увлажненный воздух выбрасывается вытяжным вентилятором наружу.

В системе регулирования применены реле времени *PВ*, позволяющие обеспечить ступенчатое перемещение исполнительных механизмов, т. е. при отклонении параметра подается сигнал не на полное открытие или закрытие регулирующего органа, а только на частичное, например, $\frac{1}{5}$ полного хода, а если регулируемый параметр не восстановился до заданного, то при следующем цикле регулирования регулирующий орган снова переместится на один шаг.

Система автоматизации на камерах СП-5КМ обладает рядом недостатков, что затрудняет как ее монтаж, так и эксплуатацию. К основным недостаткам системы следует отнести следующие:

1. В системе применено шаговое регулирование температуры, но в камерах такое регулирование по сравнению с двухпозиционным малоэффективно. Кроме того, полупроводниковые реле времени, примененные в системе, оказались недостаточно надежными. Поэтому практически система регулирования при наладке перестраивается так, что регулирование осуществляется как обычное 2 или 3-позиционное.

2. Система автоматизации неоправданно усложнена. Например, на каждую камеру установлен шестиканальный регулирующий электронный мост. А для регулирования на каждую камеру требуются только 2 канала (сухой и смоченный термометры в разгрузочной части камер). Проще было установить на блок камер один 12-канальный регулирующий прибор. Он обеспечил бы 2 или 3-позиционное регулирование t_c и t_m в каждой камере и температуру теплоносителя в теплообменнике. А для контроля температур в разгрузочной части камер можно установить многоточечный мост. Таким образом, понадобилось бы на блок камер 2 прибора вместо 6.

3. Примененные в системе исполнительные механизмы ПР-1, управляющие клапанами на подаче горячей воды и поворотными заслонками в вытяжном канале, недостаточно надежны и при эксплуатации часто выходят из строя.

С учетом недостатков системы автоматизации камеры СП-5КМ, при проектировании новых камер непрерывного действия используют как электронные автоматические мосты с позиционным регулированием психрометрической разности типа КСМ-2, так и регуляторы непрерывного действия.

В финских сборно-металлических камерах непрерывного действия типа «Валмет» (см. рис. 16) для поддержания заданных режимных параметров по температурам сухого и смоченного термометров каждая камера снабжена пневматическими системами автоматического регулирования. Датчики температуры расположены в разгрузочном конце камеры под потолком. Они представляют собой пневматические стержневые дилато-

метрические термометры, действие которых основано на пропорциональности изменения температуры среды разности удлинений чувствительной трубки (латунный корпус датчика) и стержня, изготовленного из материала с небольшим коэффициентом линейного расширения.

Стержень датчика связан с клапаном, расход сжатого воздуха через который зависит от окружающей температуры. Сигналы от датчиков поступают на пневматические пропорциональные регуляторы, управляющие трехходовыми клапанами на трубопроводах подачи воды к калориферам и заслонками на вытяжном канале.

Инструкция рекомендует настраивать регуляторы на 5% -ную зону пропорциональности. При заданном значении температуры, например 50 °С, это будет соответствовать 52,75 °С при полностью закрытом клапане подачи горячей воды в калориферы и 47,25 °С при полностью открытом клапане (100% шкалы соответствует 111 °С; рис. 66). Неравномерность регулирования (статическая ошибка) — свойство пропорциональных регуляторов. Величина ее зависит от нагрузки, под которой в рассматриваемом случае можно понимать как изменение расхода тепла, необходимого на сушку, так и возможные колебания температуры теплоносителя.

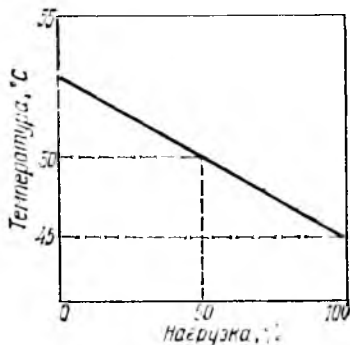


Рис. 66. Зависимость регулируемой температуры от нагрузки

В зависимости от толщины пиломатериалов и начальной влажности расход тепла на камеру может изменяться в 2...4 раза. При изменениях температуры теплоносителя на $\pm 15...20$ °С, что часто наблюдается на практике, количество тепла, передаваемое при определенном положении регулирующего органа, может изменяться в пределах ± 25 %. Таким образом, нагрузка может изменяться в широких пределах (20...100%), что обусловит возможную неравномерность регулирования, равную $\pm 2...2,5$ °С.

Наличие установившегося отклонения подтверждается наблюдениями за ходом температур в процессе сушки. При одной и той же заданной по режиму температуре установившаяся температура по записям на диаграммах самописцев отклонялась в среднем на ± 2 °С, а часто наблюдались и большие отклонения. Наличие значительных установившихся отклонений — принципиальный недостаток системы регулирования температуры на камерах «Валмет» [58].

Специально для системы автоматического управления процессами камерной сушки в СССР разработана пневматическая система ПУСК-ЗД, построенная на элементах универсальной

системы пневмоавтоматики УСЭППА с использованием типовых заводских конструкций. Система ПУСК-ЗД разработана ЦНИИ комплексной автоматизации (ЦНИИКА) и выпускается Усть-Каменогорским заводом приборов.

Пневматическую установку централизованного контроля и управления ПУСК-ЗД выпускают 2-х модификаций: ПУСК-ЗД-10 — для 10 камер, ПУСК-ЗД-6 — для 6 камер. Структурная схема ПУСК-ЗД приведена на рис. 67. Установка реализует следующие функции:

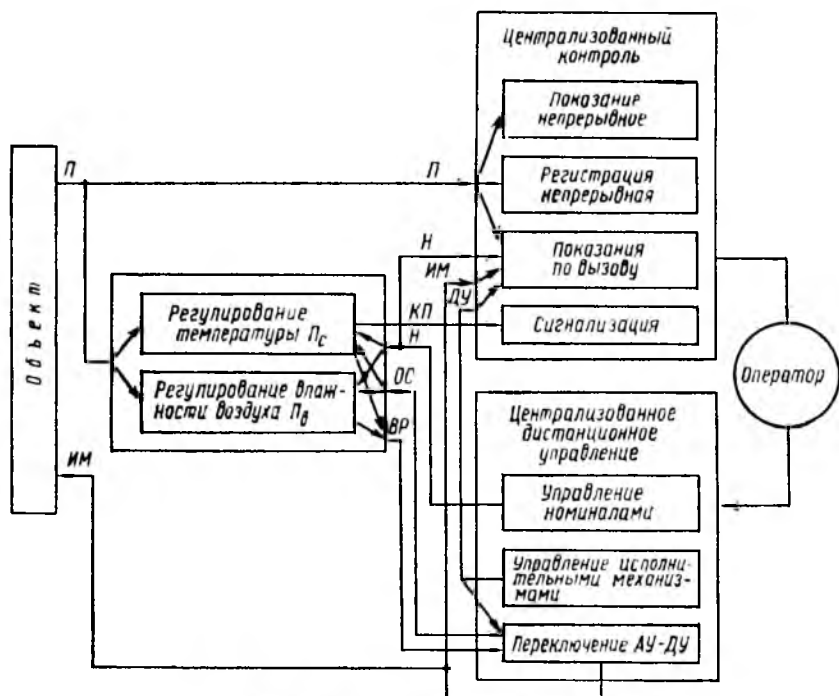


Рис. 67. Структурная схема ПУСК-ЗД

1) одновременное и независимое стабилизирующее регулирование температур по сухому и смоченному термометрам путем воздействия на исполнительные механизмы; по сухому регулируется подача теплоносителя в калориферы, по смоченному — впуск пара в пропарочные трубы и степень открытия заслонок приточно-вытяжных каналов;

2) автоматическое обнаружение и сигнализацию отклонений регулируемых параметров от задания за установленные нормы;

3) запись 4 пневматических аналоговых сигналов: P_c и P_v (от сухого и смоченного термометров), H_c и H_v (сигналы от датчиков);

4) оперативный контроль по вызову любого из каналов регулирования, переключение с автоматического АУ на дистанционное ДУ управление.

Основные технические данные системы следующие: пределы регулирования температуры 20...120 °С; закон регулирования температуры по сухому термометру 2-позиционный с настраиваемой зоной гистерезиса от 0,5 до 5 °С; закон регулирования температуры по смоченному термометру 3-позиционный с настраиваемыми зонами гистерезиса от 0,5 до 5 °С и нечувствительности от 0,5 до 2 °С; основная допустимая погрешность регулирования $\pm 2,5$ % от верхнего предела измерения; условия эксплуатации: температура окружающей среды от 5 до 50 °С, относительная влажность от 30 до 80 %; расход воздуха в установившемся режиме, приведенный к атмосферному давлению, не более 15 м³/ч; электрическое питание от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Датчиками температуры в системе ПУСК-ЗД служат пневматические дилатометрические преобразователи температуры типа ПТПД. Эти преобразователи можно настраивать. При этом осуществимо регулирование начала и конца диапазона измерения, величины диапазона измерения. Преобразователь можно разбирать, ремонтировать.

Система ПУСК-ЗД испытана разработчиками на камерах периодического действия, прошла опытное внедрение и находится в промышленной эксплуатации на нескольких предприятиях страны. Результаты испытаний и эксплуатации показали, что система ПУСК-ЗД отвечает своему назначению и выполняла требуемые функции. За период эксплуатации полных отказов систем не наблюдалось, имелись частичные, восстанавливаемые отказы, например случаи прекращения подачи воды к смоченному термометру из-за неудачной конструкции увлажнительного устройства.

Средние величины показателей качества регулирования за период наблюдений следующие: амплитуда колебаний по сухому термометру $\pm 2...3$ °С, по смоченному — не более $\pm 1...1,5$ °С, установившиеся отклонения менее 1 °С, период колебаний 12...16 мин [58].

Таким образом, качество регулирования параметров среды системой ПУСК-ЗД удовлетворяет требованиям технологии сушки в камерах непрерывного действия. Результаты испытаний пневматической системы автоматизации типа ПУСК-ЗД дают основание рекомендовать ее для применения на камерах непрерывного действия, в частности на камерах «Валмет». Эти камеры эксплуатируются на наших предприятиях уже более 15 лет, а так как камеры импортные, то замена вышедшего из строя оборудования и средств автоматизации затруднена. Установка ПУСК-ЗД в принципе аналогична системе автоматического контроля и управления, функционирующей на камере «Валмет»: она также обслуживает одновременно 6

камер и имеет те же параметры давления питания и выходного давления воздуха.

В системе ПУСК-ЗД предусмотрено 3-позиционное регулирование по смоченному термометру. При этом автоматика управляет не только работой заслонок приточно-вытяжных клапанов, но и регулирует подачу пара в увлажнительные трубы. Оснащение камер увлажнительными трубами с установкой на последних пневматических исполнительных механизмов, входящих в комплект ПУСК-ЗД, повысит качество сушки.

К недостаткам системы ПУСК-ЗД следует отнести неудачную конструкцию увлажнительного устройства для питания водой смоченного термометра. Заводу-изготовителю ПУСК-ЗД можно также порекомендовать в дальнейшем повысить класс точности датчиков температуры и уменьшить их инерционность для улучшения качества регулирования. Работы в этом направлении проводятся с целью выпуска модернизированной системы ПУСК-ЗД.

Исходя из анализа результатов эксплуатации, можно утверждать, что система ПУСК-ЗД применима для паровых камер непрерывного действия и других типов. На новых импортных линиях сушки «Валмет», эксплуатируемых на некоторых лесопильных заводах, система автоматизации отличается от приведенной выше.

Автоматические регуляторы, установленные на щите управления, расположенном в операторской, поддерживают параметры сушильного агента и циркулирующей горячей воды в теплообменнике и калориферов по следующим каналам: температура по сухому термометру в загрузочном конце сушильной камеры; температура по сухому термометру в разгрузочном конце камеры; температура по смоченному термометру в разгрузочном конце камеры; температура воды в циркуляционной системе.

На каждый канал установлен свой регулятор, на котором регулируемые величины устанавливаются вручную.

Значения регулируемых параметров в процессе сушки регистрируют самопишущие приборы, каждый из которых рассчитан на 12 каналов. Кроме того, на самописце отмечается значение температуры по смоченному термометру в загрузочном конце камеры.

Параметры агента сушки можно регулировать с постов дистанционного управления, расположенных под автоматическим регулятором соответствующих каналов. Например, для регулирования температуры воды в циркуляционной системе с постов дистанционного управления этого канала можно изменять степень открытия клапана на паровой магистрали теплообменника, минуя авторегулятор.

Отклонения параметров сушки от установленных значений фиксируются на табло световой сигнализации, а также подачей звукового сигнала. Функциональная схема контроля и ре-

гулирования процесса сушки в камерах линии «Валмет» приведена на рис. 68.

Температура в теплообменнике, служащем для нагрева горячей воды, циркулирующей в калориферах камеры, поддерживается на заданном уровне (обычно 115 °С) регулятором $ТС 1$, который управляет подачей пара к теплообменнику путем воздействия через исполнительный механизм на клапан, установленный на паропроводе. Регулятор PS осуществляет регулирование заданного давления циркулирующей воды.

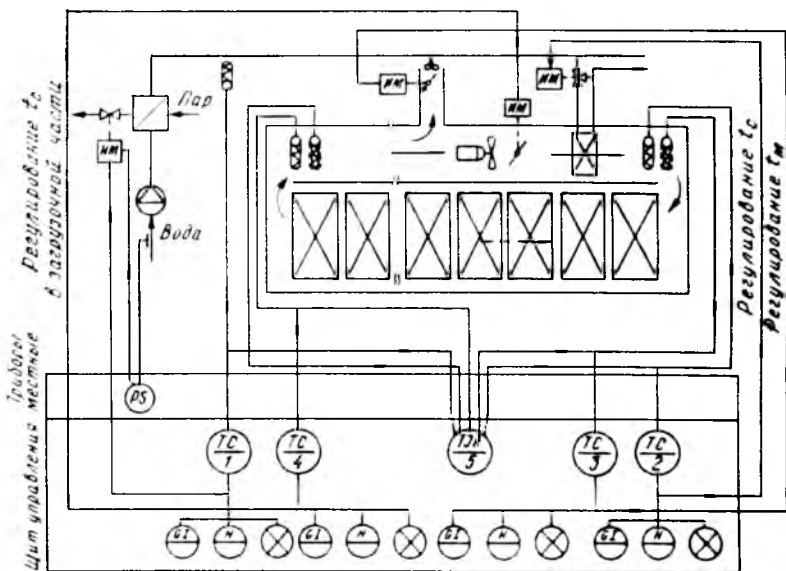


Рис. 68. Функциональная схема системы контроля и регулирования процесса сушки в камерах линий сушки «Валмет»

Когда давление ниже заданного, регулятор отключает питание на клапан подачи пара, который закрывается под действием возвратной пружины.

Режим сушки в камере регулируется по 3 параметрам: 1) t_c со стороны выгрузки регулируют 3-ходовым клапаном (количеством воды, поступающей в калорифер); 2) t_m со стороны выгрузки воздуха с помощью заслонки вытяжного воздуха теплорекуператора (количеством удаляемого воздуха); 3) t_c со стороны загрузки заслонкой перед центральным вентилятором блока (количеством циркулирующего воздуха).

Температуру t_m со стороны загрузки контролируют, но не регулируют.

Показания всех 4 датчиков температуры регистрируются на самописцах, расположенных на щите управления. Здесь же смонтирован сигнализатор, дающий сигнал в случае, если

температура в любой из камер превышает 70°C . В качестве автоматических регуляторов в системе используют ПИД-регуляторы непрерывного действия.

Датчиками температуры служат платиновые термометры сопротивления. На обоих концах камеры (загрузочном и разгрузочном) смонтированы сухой и смоченной термометры на специальной рамке (рис. 69). Рамка с датчиками может выдвигаться вверх так, чтобы можно было обслуживать их на чердаке камеры. К смоченному термометру вода подается от общей магистрали питания водой датчиков. На смоченном термометре имеется пористая керамическая трубка, через которую испаряется вода, поступающая к датчику. Срок службы керамической трубки 3...5 мес, в зависимости от степени очистки питающей воды.

Температуру со стороны выгрузки контролирует самописец *TIR 5* и поддерживает регулятор *ТС 2* в пределах заданного значения путем управления рабочим органом, состоящим из исполнительного механизма и трехходового клапана (см. рис. 68). Автоматический регулятор измеряет температуру в разгрузочном конце камеры, сравнивает ее с заданной и воздействует на регулирующий 3-ходовой клапан на трубопроводе, идущем к калориферу. В результате при температуре в камере выше или ниже заданной прикрывается или открывается патрубков, идущий от калорифера.

Температуру по смоченному термометру со стороны выгрузки контролирует самописец *TIR 5* и поддерживает регулятор *ТС 3* около заданного значения с помощью управления рабочим органом, состоящим из исполнительного механизма и заслонки на вытяжном канале. Чем больше исполнительный механизм ограничивает поток выходящего воздуха, закрывая заслонку, тем выше становится температура t_m , и наоборот.

Температура по сухому термометру в загрузочной части контролируется самописцем и поддерживается регулятором *ТС 4* в пределах заданного значения путем управления рабочим устройством, которое состоит из исполнительного механизма и регулирующей заслонки. Чем более закрыта заслонка, ограничивающая поток циркулирующего воздуха через средний вентилятор, тем больше понижается температура, и наоборот.

Если температура t_c в загрузочной части превышает заданное значение настолько, что заслонка закрывается полностью, то средний вентилятор циркулирующего воздуха выключается. Исполнительный механизм открывает заслонку, а так как крайние вентиляторы работают, часть воздушного потока от них через заслонку и неработающий средний вентилятор возвращается на сторону всасывания.

ЦНИИМОДом проведены испытания системы автоматики на камерах «Валмет» с целью определения качества регулирования параметров режима сушки [51]. Качество регулирования оценивалось по кривым процесса регулирования, записанным

контрольным прибором, а также построенным по данным индикатора регулятора камеры «Валмет».

При анализе кривых процесса регулирования определялась амплитуда колебаний температуры, период колебаний и вели-

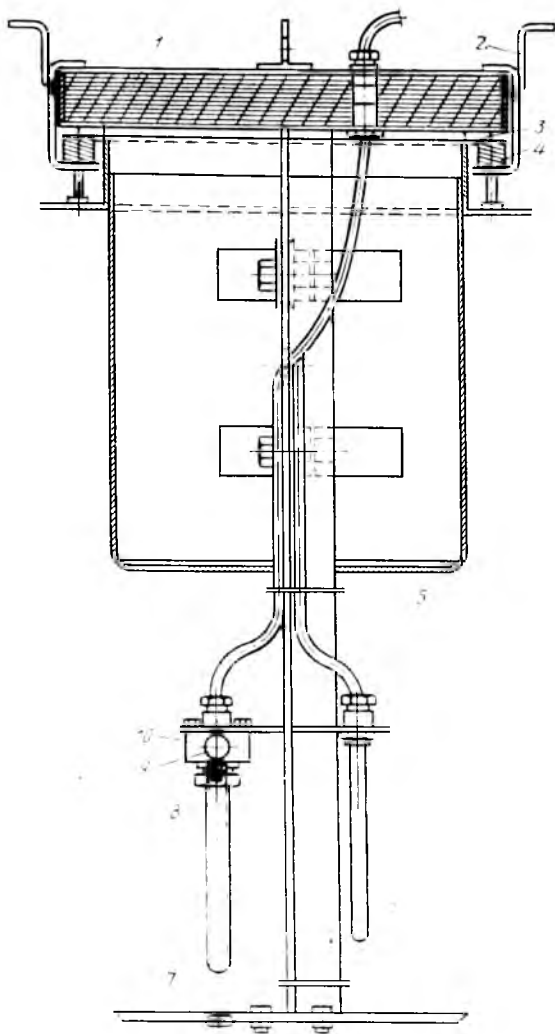


Рис. 69. Устройство для установки датчиков:

1 — каркас; 2 — затвор; 3 — уплотнительная лента; 4 — пружина; 5 — рама; 6 — датчик; 7 — поддон; 8 — керамическая трубка; 9 — запорный клапан; 10 — крепежное кольцо

чина установившихся отклонений параметров регулирования. Кривые процесса, полученные по данным контрольного прибора и импортной системы автоматики, совмещались во времени.

На рис. 70 показан пример совмещенных кривых процесса регулирования температуры по сухому термометру в разгрузочной части камеры, построенных по данным экспериментов во время сушки еловых пиломатериалов сечением 50×150 мм и средней начальной влажностью 43 %. Из рис. 70 видно, что фактическая амплитуда колебаний температуры в камере по показаниям контрольного прибора в 3,5...4,5 раза выше, чем амплитуда колебаний по показаниям импортных приборов. Это объясняется тем, что инерционность датчиков импортной автоматики камеры «Валмет» значительно больше, чем инерционность датчиков контрольного прибора.

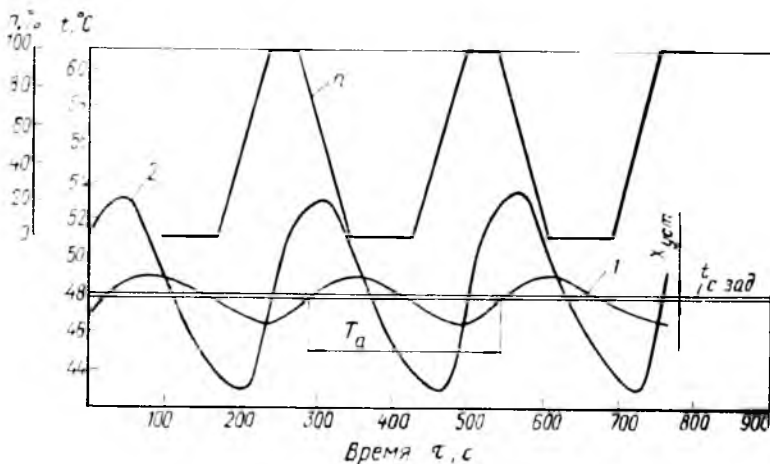


Рис. 70. Кривые процесса регулирования температуры t_c в камере «Валмет»: 1 — t_c по показаниям датчика импортной системы автоматики; 2 — t_c по показаниям контрольного датчика; n — степень открытия регулирующего органа

Поэтому при записи на самописцах импортной автоматики фактические колебания температуры в камере сглаживаются. Результаты испытаний показали, что значения установившихся отклонений температуры $X_{\text{уст}}$ менее $\pm 1^\circ\text{C}$ и удовлетворяют требованиям технологии. Однако наблюдаются значительные амплитуды колебаний температуры (до $\pm 5^\circ\text{C}$), причем процесс регулирования носит колебательный характер, хотя в системе автоматики применены регуляторы непрерывного действия. Одна из основных причин этого — большая инерционность термометров сопротивления импортной системы автоматики.

Для улучшения качества регулирования температуры агента сушки в камерах «Валмет», как следует из рассмотрения графиков регулирования температуры, необходимо применять датчики температуры с меньшей инерционностью (с постоянной времени не более 15 с), уменьшить время полного хода исполнительного механизма до 30 с, использовать регулирующие ор-

ганы (клапаны на трубопроводах к калориферу) с линейной характеристикой.

Как видно из рассмотрения систем автоматизации процесса сушки на некоторых сборно-металлических камерах непрерывного действия, все они не лишены недостатков, требуют дальнейшего совершенствования. Функциональную схему, приведенную на рис. 63, можно реализовать с помощью различных приборов и устройств. Некоторые рекомендуемые приборы контроля и регулирования для оснащения действующих сушильных камер даны в табл. 39.

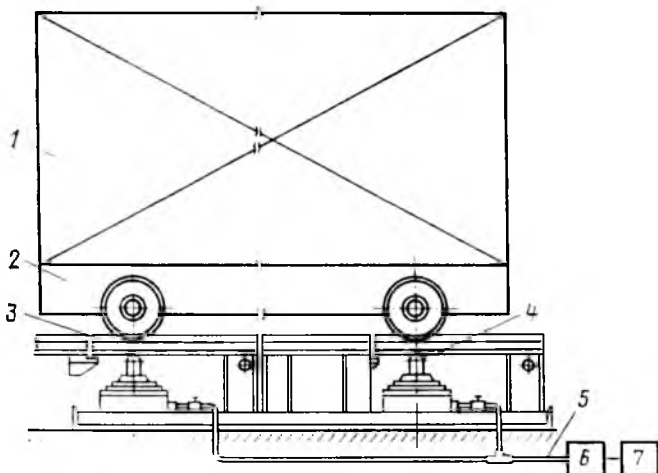


Рис. 71. Схема устройства для взвешивания штабеля:

1 — штабель; 2 — подштабельная тележка; 3 — рельс-консоль; 4 — гидравлический датчик; 5 — трубопровод; 6 — преобразователь давления; 7 — вторичный прибор

На основе производственных испытаний для автоматического контроля влажности пиломатериалов в процессе камерной сушки рекомендован метод контроля влажности по изменению массы штабеля, взвешиваемого в процессе сушки [43, 60].

В качестве примера рассмотрим относительно простое и несложное в изготовлении гидравлическое устройство для взвешивания штабеля. Схема устройства показана на рис. 71. Штабель пиломатериалов укладывают на подштабельную тележку, колеса которой после закатки штабеля в камеру фиксируются на подвешенных участках рельсов (нажимных рельсов-консолей). Под рельсами-консолями установлены гидравлические датчики, которые, воздействуя через опорные тарелки на эластичные мембраны, создают давление жидкости в каждом датчике пропорционально массе.

Всего в камере периодического действия для взвешивания контрольного штабеля устанавливают 4 датчика, соединенных

39. Приборы для контроля и автоматического регулирования процессов сушки

Наименование	Тип, марка	Шкала, градуировка	Применение	Завод-изготовитель
Термометры сопротивления медные погружаемые; длина монтажной части 100, 250, 320 мм, материал защитной арматуры латунь Л-63	ТСМ-Х1	—50 . . . 100 °С, град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	Приборостроительный завод, г. Луцк, (Волинская обл.)
Термометры сопротивления медные погружаемые; длина монтажной части 80, 100, 120, 160, 200, 250 мм, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5 м, материал защитной арматуры сталь 12Х18Н10Т, сталь 08Х13	ТСМ-0879	—50 . . . 150 °С, град. 23 и 100 п	То же	То же
Термометры сопротивления платиновые погружаемые, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5 м, материал защитной арматуры сталь 12Х18Н10Т, сталь 08Х13	ТСП-0879-01	—50 . . . 150 °С, град. 21 и 100 п	Датчики в системе автоматического регулирования температуры и влажности в камерах	»
Мосты уравновешенные автоматические показывающие с вращающимся циферблатом 12-точечные в тропическом исполнении	КВМ1-508	0 . . . 150 °С, град. 21	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	Завод «Мукачевприбор» (Закарпатская обл.)
Мосты уравновешенные автоматические самопишущие, быстродействие 16 с, с 3-позиционным регулирующим устройством	КСМЗ-1300	0 . . . 100 С (0 . . . 150 С), град. 21	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	Завод «Теллоприбор», г. Челябинск
Мосты уравновешенные автоматические самопишущие, типоразмер КСМ4, 42, 543, 50, 229 на 12 точек, время прохождения шкалы 2,5 с, с позиционным регулирующим устройством с отдельной дистанционной задачей на каждую точку	КСМ4	То же	То же	Завод «Манометр», Москва
Мосты уравновешенные автоматические самопишущие с трехпозиционным регулирующим устройством КСМ2-047-050 для измерения разности температур	КСМ 2	0 . . . 150 °С; 0 . . . 50 °С — разность температур град. 100 п		Завод «Львовприбор»

между собой трубопроводами. Давление в системе усредняется и передается по трубопроводу на преобразователь давления, соединенного со вторичным прибором.

Результаты испытаний опытного образца устройства показали его надежность, удовлетворительную точность определения конечной влажности по массе штабеля. Это позволило рекомендовать устройство для внедрения в промышленность и использования в автоматизированных системах управления процессом сушки древесины.

Для камер непрерывного действия можно также использовать эту систему контроля массы штабеля. Например, предусмотрена установка такого устройства в разгрузочной части зоны сушки проектируемой камеры СП-5КМ-3.

Глава 8

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЕР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В настоящее время на предприятиях Минлесбумпрома СССР высушивается в камерах около 14 млн. м³ пиломатериалов в год, в 1970 г. в камерах высушивалось всего около 6 млн. м³. Увеличение сушильных мощностей достигнуто за счет ввода в эксплуатацию отечественных и импортных лесосушильных камер, в основном сборно-металлических.

Однако объемы сушки еще не удовлетворяют потребности в сухих пиломатериалах. В то же время на многих предприятиях неудовлетворительно используют сушильные мощности (50...70% паспортной производительности), не выполняют требования технологии сушки пиломатериалов, что приводит к потерям качества древесины.

Неудовлетворительное состояние сушильных хозяйств на ряде предприятий объясняется не только плохим техническим состоянием камер, но и организационными причинами, зависящими от самого предприятия: слабой квалификацией обслуживающего персонала сушилок, отсутствием контрольно-измерительной аппаратуры, отсутствием учета и контроля качества сушки, технического надзора и текущего ремонта технологического оборудования камер и т. п.

В целях налаживания бесперебойной и качественной работы камер, обеспечения своевременного ремонта, а при необходимости и модернизации, важно знать и правильно оценивать техническое состояние действующих на предприятии лесосушильных камер. Для этого следует проводить периодические испытания сушилок, например 1 раз в год при удовлетворительной их работе, и обязательно сразу же после обнаружения

неполадок в техническом состоянии камер или неудовлетворительном качестве сушки для установления причин и их устранения.

Для проведения периодических испытаний рекомендуется методика, утвержденная Минлесбумпромом СССР (Приложение 2). Испытания позволяют получить необходимые данные для оценки производительности камер, качества сушки, состояния ограждений и оборудования камер, принять необходимые меры по улучшению технологии или ремонту камеры. Кроме того, испытания позволяют в дальнейшем более правильно планировать работу сушильного цеха, наладить учет качества сушки, расхода тепловой и электрической энергии.

На лесопильно-деревообрабатывающих комбинатах распространены сборно-металлические камеры непрерывного действия типа СП-5КМ, «Валмет» и линии сушки «Валмет». ЦНИИМОД неоднократно проводил испытания камер непрерывного действия с целью определения их технических характеристик, возможностей улучшения качества сушки и повышения производительности.

Выпущено около 50 блоков камер СП-5КМ. Однако не все они введены в эксплуатацию, а работающие не обеспечивают паспортной производительности: средняя производительность по предприятиям 35 тыс. м³ в год фактически высушенных пиломатериалов против паспортной 55 тыс. м³. В связи с этим и себестоимость сушки в камерах СП-5КМ высокая (8,63 р. на 1 м³ пиломатериалов), что значительно превышает надбавку к цене высушенных пиломатериалов — 4(5) р/м³.

По отзывам предприятий и результатам обследования, проведенного ЦНИИМОДом, основные недостатки камер следующие: часто выходит из строя или вообще не работает механизм передвижения штабелей; не используются по назначению аванкамеры в загрузочной части камеры; выходят из строя шандорные ворота; ненадежен механизм перемещения откатных ворот; часто отказывают циркуляционные вентиляторы, из-за чего камеры работают на 1-2 вентиляторах, что по технологии сушки недопустимо; ненадежны теплорекуператорные установки; пересортица и технический брак в среднем составляют 12,4 %, что также недопустимо.

При испытаниях камер СП-5КМ на Цигломенском ЛДК (г. Архангельск) получены следующие результаты. Перепады температуры по длине и высоте штабеля составляют 2...3 °С, при этом шандорные ворота были подняты и не использовались по назначению из-за неисправности механизма перемещения ворот.

Средняя скорость воздуха на выходе из штабеля в загрузочном конце камеры равна 1,65 м/с, перепад по длине и высоте штабеля составляет 0,6...0,7 м/с. Такая низкая скорость сушильного агента объясняется тем, что низок коэффициент использования циркулирующего воздуха — более 50 %. сушиль-

ного агента проходит вне штабелей, между ограждениями камеры и штабелями.

За время испытаний просушено 4 контрольных штабеля еловых пиломатериалов сечением 44×100 мм (данные испытаний приведены в табл. 40). До и после сушки пиломатериалы подвергались наружному осмотру с целью определения сортности и количества брака по соответствующим стандартам. Учитывали переход пиломатериалов после сушки из высоких в более низкие сорта, безвозвратные потери, в том числе объем отрезков.

40. Результаты опытных сушек еловых пиломатериалов сечением 44×100 мм в камерах СП-5КМ на ЦЛДК

№ штабеля	Объем, м ³	Влажность, %		Среднее квадратическое отклонение, %	Перепад влажности, %	Срок сушки, ч	Пересортица пиломатериалов, %				
		начальная W _н	конечная W _к				переход бессортных		переход IV и V сортов для внутреннего рынка	Итого	Безвозвратные потери
							в IV сорт	для внутреннего рынка			
1	9,8	66,5	20,4	3,0	6,5	97	2,0	4,0	2,1	8,1	0,9
2	9,5	57,8	19,8	2,4	4,9	97	4,0	4,2	0,9	9,1	2,6
3	10,3	68,6	21,0	3,9	4,1	107	4,6	6,7	1,1	12,4	2,8
4	10,0	86,8	20,8	3,6	2,8	107	4,2	5,1	0,2	9,5	1,8
Средние	9,9	69,9	20,5	3,2	4,6	102	3,7	5,0	1,1	9,8	2,0

Из табл. 40 видно, что в среднем пересортица экспортных пиломатериалов составляет 9,8 %, при этом брак сушки (безвозвратные потери) — 2,0%. Такое качество сушки нельзя признать удовлетворительным, так как в среднем по объединению «Северолесэкспорт» пересортица пиломатериалов после сушки в камерах «Валмет» составляет около 5 %, причем она происходит главным образом из-за коробления. Это можно объяснить тем, что в партии пиломатериалов большую часть составляли центральные доски, которые включают заболонные и ядровые части бревен, что и приводит к повышенному короблению при сушке.

Равномерность сушки оценивается средним квадратическим отклонением влажности. При средней конечной влажности 20,5 %, среднее квадратическое отклонение равно ±3,2 %, что с вероятностью 95 % дает диапазон влажности отдельных досок в партии 14,1...26,9 %, что не соответствует требованиям к качеству сушки экспортных пиломатериалов. Поэтому для улучшения равномерности сушки и уменьшения диапазона колебаний влажности пиломатериалы необходимо сушить до более низкой влажности, так как при понижении средней влажности

до 18...19 %, среднеквадратическое отклонение также уменьшается примерно до 2 %, что приводит к допустимому диапазону отклонений влажности ($18 \pm 2\sigma = 14 \dots 22$ %).

При испытаниях камеры оценивали также равномерность просыхания пиломатериалов в зависимости от места их расположения (по высоте, ширине и длине штабеля). Для этого из определенных зон штабеля выбирали по несколько досок и определяли их влажность влагомером в 7—8 точках по длине. Загрузка и выгрузка камеры производятся одновременно по 2 штабеля, поэтому распределение влажности по ширине штабеля дано для 2 находящихся рядом штабелей.

Из рис. 72 видно, что влажность второго штабеля по длине камеры (со стороны выгрузки 1,8...3,6 м) несколько выше, чем

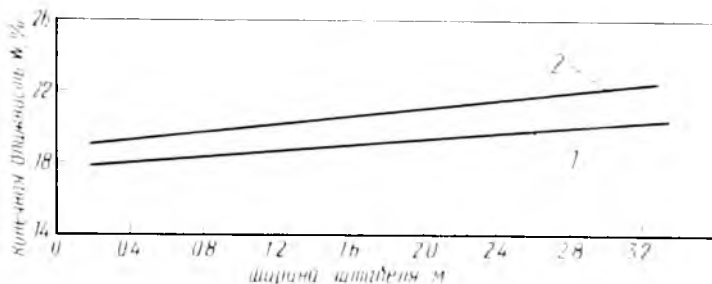


Рис. 72. Распределение конечной влажности по ширине штабелей: 1, 2 — номера опытных сушек

первого. Выдержка в аванкамере не повлияла на характер распределения влажности по ширине штабеля. Распределение влажности досок по высоте штабеля показывает, что нижний пакет досок (штабель сформирован из 2 пакетов по высоте) имеет более высокую влажность в конце сушки. Разность средних значений влажности нижнего и верхнего пакетов доходит до 3...4 %.

Возможно, это объясняется тем, что при опытных сушках шандорные ворота были подняты, так как не работал механизм перемещения ворот, и распределение циркулирующего сушильного агента по высоте камеры со стороны его входа в штабеля было неравномерным.

По длине штабеля в средней части пиломатериалы имеют значительно большую влажность, чем в приторцовых частях.

Производительность камеры СП-5КМ по результатам испытаний и с учетом фактической производительности, достигнутой на Цигломенском ЛДК, составляет около 50 тыс. м³ высушенных до транспортной влажности пиломатериалов. Эта цифра меньше транспортной, но является наибольшей для предприятий, где эксплуатируются камеры СП-5КМ.

По результатам проверок и опытных сушек в камерах

«Валмет» на предприятиях п/о «Северолесоэкспорт» установлено, что в целом предприятия успешно эксплуатируют эти камеры. Производительность, как правило, выше паспортной — 50 тыс. м³ товарных пиломатериалов в год, высушиваемых до транспортной влажности на всех предприятиях, а на некоторых составляет до 70 тыс. м³ в год. Качество сушки в целом по объединению удовлетворительное, но на отдельных предприятиях допускается большая переходность (10...15 %) пиломатериалов из высоких сортов в более низкие.

Как показывают результаты измерений, средняя скорость сушильного агента на выходе из штабеля со стороны загрузки находится в пределах 1,6...1,8 м/с. При этом до 60 % воздуха проходит мимо штабелей в промежутках между ограждениями камеры и штабеля. Недостаточная скорость циркуляции объясняется неудовлетворительным состоянием в целом циркуляционной системы, нарушением целостности экранов, загрузкой камер штабелями уменьшенной высоты.

При надлежащей организации сушки, соблюдении технологии, изложенной в руководящих материалах, качество сушки в камерах непрерывного действия можно признать удовлетворительным. Например, ЦНИИМОДом проводились контрольные переборки сушильных штабелей на нескольких предприятиях п/о «Северолесоэкспорт». Данные о пересортице и безвозвратных потерях при сушке приведены в табл. 41 [62].

Из табл. 41 видно, что средний переход из экспортных пиломатериалов в пиломатериалы внутреннего рынка после сушки в камерах СП-5КМ равен 4,0 %, а безвозвратные потери (отрезы) — 0,8 %. Однако значительная доля пересортицы вызвана загрязнением пиломатериалов, что несложно устранить. В камерах «Валмет» средний переход пиломатериалов из высших сортов в пиломатериалы внутреннего рынка равен 3,2 % а отрезки составляют 0,5 %.

Общие средние потери экспорта — переход во внутренний рынок и безвозвратные потери — по предприятиям объединения равны 3,6 %. Основные причины перехода пиломатериалов из высоких сортов в более низкие при сушке, а также потерь экспорта следующие: коробление пиломатериалов, кривизна и крыловатость, загрязнение, трещины. Потери из-за загрязнений можно полностью устранить, эта причина пересортицы объясняется организационными недоработками в технологии укладки и транспортирования пиломатериалов.

Из-за трещин пересортица сравнительно небольшая (в пределах 1 %), т. е. режимы сушки в целом соблюдаются. Брак по короблению объясняется в основном нарушением правил укладки пиломатериалов в штабеля: в камеру закатывают неполногабаритные штабеля, применяют разнотолщинные прокладки, не соблюдаются вертикальность рядов прокладок, требуемое число прокладок в ряду и т. п. Отсюда следует, что на предприятиях есть резервы улучшения качества сушки.

41. Результаты проверки качества камерной сушки пиломатериалов на предприятиях п/о «Северолесоэкспорт»

Предприятия, камеры, порода	Время проверки, месяц, год	Пиломатериалы	Посортный состав пиломатериалов, %					Переходность, %			Причины дефектов
			по ТУ 13-316-76				по ГОСТ 8486-66	из экспорта во внутренний рынок	из бессортных в более низкие сорта	отрезы	
			б/с	IV	V	всего					
<i>Сечением 44×100 мм</i>											
ЛДК им. Ленина, «Валмет». ель	Март 1978	До сушки	69,7	12,5	10,8	93,0	7,0	3,2	7,7	0,7	Загрязнение, покоробленность, трещины
		После сушки	62,0	16,3	10,8	89,1	10,2				
<i>Сечением 38×125 мм</i>											
		До сушки	69,5	14,7	12,0	96,2	3,8	2,3	6,2	0,5	То же
		После сушки	63,3	18,1	12,0	93,4	6,1				
<i>Сечением 44×100 мм</i>											
	Июль 1978	До сушки	64,3	17,0	16,1	96,4	2,6	1,8	12,8	2,0	»
		После сушки	51,5	24,8	17,3	93,6	4,4				
<i>Сечением 50×150 мм</i>											
		До сушки	77,8	4,0	4,0	85,8	14,2	2,3	2,1	—	»
		После сушки	75,7	7,1	5,3	88,1	11,9				
<i>Сечением 44×100 мм</i>											
ЦЛДК, СП-5КМ. ель	Ноябрь 1977	До сушки	50,5	27,8	12,2	90,5	9,5	4,7	4,2	1,0	»
		После сушки	46,3	26,6	11,9	84,8	14,2				
<i>Сечением 44×100 мм</i>											

СЛДК. «Валмет»,
сосна

Июль 1978	До сушки	71,5	15,1	11,2	98,0	2,0	7,6	5,7	0,3	Покоробленность, крыловатость и за- грязнение (5 %)
	После сушки	66,0	13,6	10,5	90,1	9,6				
<i>Сечением 50×100 мм</i>										
	До сушки	76,3	8,1	14,1	98,5	1,5	2,5	2,2	—	—
	После сушки	74,1	7,0	14,1	96,0	5,0				
<i>Сечением 63×175 мм</i>										
Январь 1980	До сушки	75,8	13,2	8,6	97,6	2,4	3,5	6,4	0,6	Синева, трещины, ме- хаические поврежде- ния
	После сушки	69,4	15,3	8,8	93,5	5,9				
<i>Сечением 44×100 мм</i>										
	До сушки	82,4	8,6	5,2	96,2	3,8	1,7	2,6	2,0	—
	После сушки	78,8	8,6	5,2	92,5	5,5				
<i>Сечением 38×100 мм</i>										
Июль 1978	До сушки	11,4	60,8	22,1	94,3	5,7	5,0	1,8	0,2	Покоробленность, крыловатость, трещи- ны (0,5 %)
	После сушки	9,6	57,4	22,1	89,1	10,7				
<i>Сечением 50×125 мм</i>										
	До сушки	7,9	65,8	23,1	96,8	3,2	3,7	2,3	0,2	—
	После сушки	5,6	64,2	23,1	92,9	6,9				
<i>Сечением 50×150 мм</i>										
Февраль 1979	До сушки	13,8	62,1	16,1	92,0	8,0	—	0,8	—	—
	После сушки	13,0	62,4	16,7	92,0	8,0				
<i>Сечением 63×150 мм</i>										
Февраль 1980	До сушки	18,1	59,7	17,0	94,8	5,2	—	1,4	0,3	Покоробленность, трещины, механиче- ские повреждения
	После сушки	16,7	59,7	18,4	94,5	5,2				
Средние							3,0	4,4	0,6	

С 1980 г. на некоторых предприятиях страны освоены новые линии сушки «Валмет», схема и конструкция которых приведены ранее.

Расчетная годовая производительность линий при сушке хвойных пиломатериалов со средней длиной 5 м мягкими режимами до транспортной влажности приведена в табл. 42. Рас-

42. Расчетная годовая производительность линий сушки «Валмет»

Толщина пиломатериалов, мм	Влажность*, %, W_H/W_K	Порода			
		сосна		ель	
		Продолжительность сушки, ч	Производительность, тыс. м ³	Продолжительность сушки, ч	Производительность, тыс. м ³
22	90/16	60	140	54	156
25	90/16	72	125	66	137
32	60/18	84	122	78	132
44	60/18	110	108	96	125
50	60/18	120	105	108	116
63	60/20	168	82	144	94
75	60/20	192	76	170	85

* Числитель — начальная, знаменатель — конечная.

четная производительность на некоторых предприятиях достигнута уже в первые годы эксплуатации. Например, на ЛДК № 3 г. Архангельска в 1981 г. было высушено 120 тыс. м³ еловых пиломатериалов сечением 44×100 мм, что соответствует расчетной производительности. ЛДК им. Ленина (г. Архангельск) и Ленинградский лесной порт также освоили линии сушки с производительностью в среднем не менее расчетной. Опыт этих предприятий показывает, что расчетная производительность линий сушки может быть достигнута и принята в качестве базового показателя для всех предприятий, имеющих эти линии.

43. Результаты оценки качества сушки пиломатериалов

Размеры пиломатериалов, мм	Порода древесины	Снижение сортности, %	Размеры пиломатериалов, мм	Порода древесины	Снижение сортности, %
<i>Ленинградский лесной порт</i>			50×125	Ель	14,2
25×125	Ель	5,0	63×175	Сосна	5,4
25×100	Сосна	8,0	Среднее		7,1
25×150	Ель	5,3		<i>ЛДК № 3</i>	
44×150	»	4,7	44×100	Ель	7,2

ЦНИИМОД совместно с ЛДК № 3 и Ленинградским лесным портом проводили оценку качества сушки пиломатериалов. Для этого определяли посортный состав пиломатериалов до и после сушки. Некоторые из результатов приведены в табл. 43 [54].

Переход пиломатериалов после сушки из более высоких в более низкие сорта в среднем на предприятиях составил 7 %. Основные причины снижения сортности: покоробленность, крыловатость и трещины. Очевидно, для улучшения качества надо искать резервы в улучшении технологии сушки.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАМЕР И УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА СУШКИ

На лесопильно-деревообрабатывающих комбинатах Минлесбумпрома СССР установлены и эксплуатируются блоки камер «Валмет» и СП-5КМ общей мощностью не менее 4 млн. м³ условных пиломатериалов в год. Некоторые из этих камер служат на ряде предприятий уже более 15 лет, и срок службы их подходит к концу или уже прошел. Однако такие большие сушильные мощности, потребовавшие значительных капитальных вложений, необходимо использовать с полной нагрузкой, учитывая имеющийся дефицит в сухих пиломатериалах. Для этого требуются улучшение технического состояния сушильных камер, капитальный ремонт и при необходимости их реконструкция.

Оборудование камер (вентиляторы, приборы и регуляторы, калориферы, экраны, двери) частично выходит из строя, что вызывает трудности при поддержании заданных режимов. Ограждения и двери требуют ремонта из-за нарушения герметичности камеры. Особенно неудовлетворительно техническое состояние камер СП-5КМ. Негерметичность этих камер делает невозможным выдерживать необходимую по режиму степень насыщенности сушильного агента.

Ремонт и реконструкцию камер сдерживает отсутствие необходимого комплектующего оборудования: вентиляторов, калориферов, приборов. Однако этот вопрос можно решить и силами предприятий и объединений при организационной помощи соответствующих управлений Минлесбумпрома СССР. Например, в камерах «Валмет» и СП-5КМ взамен вышедших из строя вентиляторов можно устанавливать вентиляторы У12 № 12,5. производство которых освоено на Ижевском ЭМЗ Минлесбумпрома СССР.

На этом заводе также освоено производство биметаллических калориферов для камер СПМ-2К. В главе 3 дан пример расчета и схема биметаллического калорифера для камер «Валмет», который также мог бы быть изготовлен на Ижевском ЭМЗ. Таким образом, производство калориферов и вентиляторных блоков для ремонта и модернизации действующих

камер может быть организовано на предприятиях Минлесбумпрома СССР. Приборы и регуляторы могут быть применены стандартные, выпускаемые промышленностью (см. главу 7).

При эксплуатации камер необходимы правильная организация процесса сушки и соблюдение технологии, от которой зависит как качество сушки, так и производительность камер. Для этого достаточно строго соблюдать правила и требования руководящих технических материалов по технологии камерной сушки древесины [43]: полная загрузка камер, укладка полногабаритных штабелей, поддержание стандартных режимов, ритмичность загрузки и выгрузки камер и т. п. Например, наблюдающиеся на предприятиях случаи неполной загрузки камер и загрузки неполногабаритными штабелями приводит к тому, что нарушается циркуляция сушильного агента по штабелям, не обеспечивается режим сушки в камере, ухудшается равномерность просыхания и качество пиломатериалов.

В камерах «Валмет» и СП-5КМ следует периодически контролировать параметры режима в загрузочном конце камер. Для этого камеры оснащают дополнительной системой дистанционного контроля температуры и влажности в сыром конце. Для временного применения можно использовать переносные психрометры, устанавливаемые на штабель в загрузочной части камер. Для своевременной выгрузки пиломатериалов влажность штабеля в разгрузочной части камеры можно определять переносными электровлагомерами. Для этого требуется заходить в камеру и определять влажность древесины в нескольких досках штабеля.

Для организации ритмичной работы в сушильном цехе, своевременной выгрузки и загрузки, улучшения работы транспорта, соблюдения сроков и режимов сушки полезно организовать специализацию камер, т. е. сушку в определенных камерах пиломатериалов одной группы толщин. Такой опыт на предприятиях г. Архангельска дал положительные результаты.

Одним из резервов улучшения работы камер «Валмет» и СП-5КМ является повышение качества сушки толстых пиломатериалов. Как показывают результаты испытаний и производственный опыт, при сушке экспортных пиломатериалов толщиной свыше 50 мм наблюдается большой переход бессортных пиломатериалов в низшие сорта (до 6...10 %). Снижение этой пересортицы может дать значительный экономический эффект, увеличение процента выхода экспортных пиломатериалов.

К основным причинам неудовлетворительного качества сушки толстых пиломатериалов относятся: недостаток влаги в камерах, что ведет к недопустимому уменьшению степени насыщенности сушильного агента, особенно в загрузочной части камер; значительный перепад влажности по толщине материала (свыше 10 %), способствующий образованию трещин.

Для улучшения качества сушки толстых пиломатериалов

необходимо следующее: выделить некоторые камеры блока только для сушки толстых пиломатериалов; оснастить эти камеры увлажнительными устройствами, чтобы при необходимости можно было повышать степень насыщенности воздуха в камере; установить в камерах дополнительную систему дистанционного контроля температуры и психрометрической разности в загрузочной части камер; для обеспечения равномерного просыхания пиломатериалов при сушке применять приторцовые экраны в загрузочном конце камеры.

Опытные сушки, проведенные на предприятиях г. Архангельска, показали, что при внедрении указанных мероприятий переход пиломатериалов в более низкие сорта при сушке еловых пиломатериалов толщиной 63 и 75 мм составил около 3 %, а брак — 0,3 % от объема высушенных пиломатериалов [63].

Как правило, в камерах «Валмет» и СП-5КМ, эксплуатируемых на предприятиях, фактическая скорость циркуляции через штабеля в среднем равна 1,6..1,7 м/с, что ниже проектной (3 м/с). Это приводит к неудовлетворительному использованию объема циркулирующего воздуха в камере, более половины воздуха проходит между ограждениями камеры и штабелями. Увеличение скорости воздуха через штабель позволяет более полно использовать воздушный поток в камере и уменьшить продолжительность сушки.

Например, при повышении скорости циркуляции от 1,7 до 2,5 м/с продолжительность сушки сокращается на 10..15 %. Достигнуть этого можно при условии восстановления всех боковых и потолочных экранов и поддержания их в исправном состоянии. При этом рекомендуется расширить потолочный экран на 15 см, а в разгрузочной части камер установить дополнительные боковые экраны.

Полезна установка специальных приторцовых экранов со стороны разгрузки (см. рис. 58), которые разработаны ЦНИИМОДом. В результате опытных сушек в камерах «Валмет» установлено, что применение приторцовых экранов позволяет значительно улучшить равномерность просыхания пиломатериалов по длине штабеля и уменьшить срок сушки.

Улучшение качества (равномерности просыхания) и сокращение продолжительности сушки при применении приторцовых экранов достигаются благодаря тому, что в первых штабелях со стороны разгрузки ограничивается поток воздуха около торцовых частей, а в средней части штабеля увеличивается, и равномерность сушки улучшается (рис. 73). Кроме того, при проведении экспериментов было отмечено, что дополнительная экранировка приторцовых частей улучшила качество сушки торцов досок, так как уменьшилось количество торцовых трещин.

Осуществление указанных мероприятий позволяет довести производительность блока сушильных камер «Валмет» до 70..75 тыс. м³ пиломатериалов, фактически высушенных до транс-

портной влажности, что и было достигнуто на некоторых предприятиях г. Архангельска.

В новых линиях сушки «Валмет» резервом увеличения производительности является переход на межрядовые прокладки в штабелях уменьшенной толщины по сравнению с прокладками толщиной 32 мм, рекомендуемыми фирмой. Применение прокладок толщиной 25...27 мм увеличивает вместимость камер, а следовательно, и их производительность на 5...8%, в зависимости от толщины пиломатериалов.

Это предложение ЦНИИМОДа внедрено на ЛДК № 3 (г. Архангельск). Результаты показали, что при прокладках

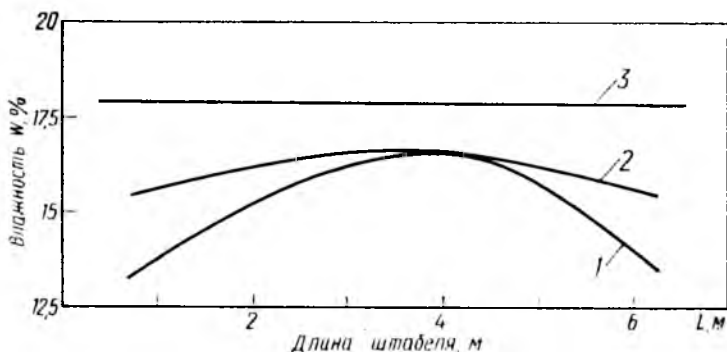


Рис. 73. Распределение конечной влажности по длине штабелей в камере «Валмет» при сушке без приторцовых экранов (1), с приторцовыми экранами (2, 3)

уменьшенной толщины количество циркулирующего по штабелю воздуха практически не изменилось, продолжительность сушки при сопоставимых режимах также одинакова, а производительность за счет большей вместимости камер возросла.

Одним из резервов повышения производительности действующих лесосушильных камер непрерывного действия является применение интенсифицированных режимов сушки товарных пиломатериалов. В камерах «Валмет» и СП-5КМ вместо мягких режимов по ГОСТ 18867—84 автором предложены режимы, приведенные в табл. 44. Режимы с повышенной температурой (60 °С) против принятой в стандартах (55 °С) предложены Сибирским лесотехническим институтом и внедрены на некоторых предприятиях ПО «Красноярсклесозэкспорт».

В 1986 г. на ЭПЗ «Красный Октябрь» (г. Архангельск) проведены опытные сушки вышеприведенными интенсифицированными режимами в переоборудованной камере «Валмет». Были просушены опытные партии еловых пиломатериалов сечением 38×100, 44×100, 50×100 и 50×125 мм. Пиломатериалы до и после сушки подвергаются ручной переборке для определения сортности досок по ГОСТ 26002—83Э и ГОСТ 8486—66.

Результаты опытных сушек следующие: сроки сушки сокра-

тились в среднем на 35 % по сравнению с сушкой в мягких режимах по ГОСТ 18867—84; средние потери при сушке (переход в низшие сорта экспорта и в пиломатериалы внутреннего рынка) не превысили общую величину фактических потерь при камерной сушке пиломатериалов мягкими режимами; цвет еловых пиломатериалов не изменился.

Для внедрения названных выше режимов необходима некоторая модернизация камер «Валмет» и СП-5КМ, в частности защита электродвигателей вентиляторов от воздействия повышенных температур.

44. Опытные режимы сушки товарных пиломатериалов

Толщина пиломатериалов, мм	Параметры сушильного агента, °С, в концах		
	разгрузочном		загрузочном
	t_c	Δt	Δt
До 22	70. . .75	21	6
Свыше 22 до 25	70. . .75	20	5
» 25 » 32	68. . .73	18	5
» 32 » 40	68. . .73	15	4
» 40 » 50	67. . .72	14	4
» 50 » 60	67. . .72	12	3
» 60 » 75	65. . .70	10	3

Глава 9

АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Атмосферная сушка заключается в выдерживании древесины в определенных условиях, создаваемых рациональным размещением пиломатериалов на открытом воздухе с защитой их от непосредственного воздействия осадков и солнечных лучей или в специально устроенных помещениях, иногда с искусственным продуванием, но без подогрева.

Атмосферная сушка возможна только в активные сезоны года, т. е. весной, летом и в начале осени. Она ограничена низким пределом влажности древесины 18..22 % — воздушно-сухим состоянием.

Атмосферную сушку применяют, как правило, на лесопильных заводах, не обеспеченных в достаточном количестве сушильными камерами, для сушки товарных пиломатериалов до транспортной влажности. В строительстве находит частичное применение для пиломатериалов и заготовок неответственного назначения, а также для предварительной подсушки во время хранения перед камерной сушкой.

Правила атмосферной сушки и хранения пиломатериалов на открытых складах регламентированы ГОСТ 3808.1—85 (не распространяется на брусья и пиломатериалы авиационные и резонансные) для древесины хвойных пород и ГОСТ 7319—85 для древесины твердых лиственных пород. По ГОСТ 3808.1—85 «Пиломатериалы хвойных пород. Атмосферная сушка и хранение» территория СССР разделена на условные климатические зоны:

1-я — Архангельская, Мурманская, Вологодская, Кировская, Пермская, Свердловская, Сахалинская, Камчатская и Магаданская области, северная половина Западной и Восточной Сибири и Коми АССР, северная часть Хабаровского края и восточная часть Приморского края;

2-я — Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская области, южная часть Хабаровского и западная часть Приморского края;

3-я — Латвийская ССР, Литовская ССР, Эстонская ССР, Белорусская ССР, Смоленская, Калининградская, Московская, Калининская, Орловская, Тульская, Рязанская, Ивановская, Ярославская, Горьковская, Брянская, Челябинская, Владимирская, Калужская, Костромская, Амурская области, южная часть Западной и Восточной Сибири, Чувашская АССР, Марийская АССР, Мордовская АССР, Татарская АССР, Башкирская АССР, Удмуртская АССР;

4-я — Украинская ССР, Молдавская ССР, Курская, Астраханская, Куйбышевская, Саратовская, Волгоградская, Оренбургская, Воронежская, Тамбовская, Пензенская, Ростовская, Ульяновская области, Северный Кавказ и Закавказье.

Пиломатериалы, поступающие для атмосферной сушки при среднесуточной температуре 5°C и выше, должны быть антисептированы в соответствии с требованиями ГОСТ 10950—78 для предохранения древесины от поражения плесенью и синевой во время сушки.

Пиломатериалы обрабатывают водными растворами пентахлорфенолята натрия или ПБТ. Как правило, антисептируют пиломатериалы в пакетах путем кратковременного погружения и выдержки их в растворе антисептика. Для полного смачивания поверхности пиломатериалов выдержка плотных пакетов в растворе должна быть не менее 20 с, а на прокладках до 10 с. В зависимости от климатических зон пиломатериалы антисептируют в сроки по табл. 45 [3].

Сроки, указанные в таблице, корректируются по местным условиям, так как антисептирование должно начинаться, когда среднесуточная температура превысит 5°C. На лесопильных заводах участок антисептирования обычно располагают около сортировочного устройства сырых пиломатериалов или около участка формирования пакетов. Пакеты к установке антисептирования перевозятся автолесовозом.

На рис. 74 показан пример установки для антисептирования.

Она включает бак с мешалкой для приготовления раствора (объем 3...3,5 м³), 2 емкости для хранения раствора (объем 10...12 м³) на время чистки ванны, изготовляемой из листовой стали или железобетона (габаритные размеры 8×2×2 м). Для погрузки пакетов в ванну применяют краны, тельферы или автолесовозы типа А-210 или А-210А с заездом в ванну.

Рабочие концентрации растворов антисептиков выбирают по табл. 46 в зависимости от породы пиломатериалов, времени года климатических зон и вида антисептика [3].

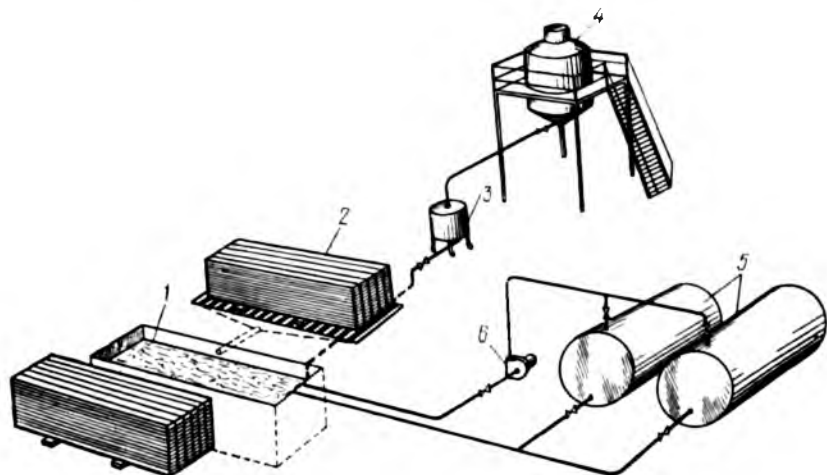


Рис. 74. Установка для антисептирования пиломатериалов:

1 — ванна; 2 — пакет пиломатериалов; 3 — стабилизатор уровня; 4 — бак с мешалкой; 5 — запасные баки; 6 — насос

Штабеля на складе рекомендуется располагать по отношению к господствующим ветрам последовательно в зависимости от толщины пиломатериалов: до 25 мм — с наветренной стороны, свыше 50 мм — в середине, от 25 до 50 мм — с подветренной стороны склада.

45. Период антисептирования в различных климатических зонах

Зона	Начало антисептирования	Конец антисептирования
1-я	1...15 мая	} 1...15 октября 15...30 октября 30 октября...15 ноября
2-я	15 апреля...1 мая	
3-я	1...15 апреля	
4-я	1...15 »	

Пиломатериалы, пораженные гнилью, должны быть уложены на отведенный для них участок с подветренной стороны склада. Атмосферную сушку пиломатериалов следует произво-

46. Концентрация растворов антисептиков, %

Климатическая зона	ПБТ	Пентахлор-фенолят	Климатическая зона	ПБТ	Пентахлор-фенолят
<i>Апрель</i>			<i>Август — сентябрь</i>		
2-я	1/0,5	1,5/1	1-я	2/1,5	2/2
3-я	0,5/0,5	1/1	2-я	2/1,5	2/2
4-я	0,5 0,5	1/1	3-я	1,5/1	2/1,5
<i>Май — июнь</i>			4-я	1,5/1	2/1,5
1-я	1/0,5	1,5/1	<i>Октябрь</i>		
2-я	1/0,5	1,5/1	1-я	1,5/0,5	2/1
3-я	0,5/0,5	1/1	2-я	1,5/0,5	3/1
4-я	0,5/0,5	1/1	3-я	2/1	2/1,5
<i>Июль</i>			4-я	2/1	2/1,5
1-я	1,5/0,5	2/1	<i>Ноябрь</i>		
2-я	1,5/1	2/1,5	4-я	1,5/1	2/1,5
3-я	1/0,5	1,5/1			
4-я	1/0,5	1,5/1			

Пр и м е ч а н и е. В числителе даны концентрации для сосны, в знаменателе — для ели.

47. Ориентировочные сроки сушки пиломатериалов на открытых складах до влажности не более 22 % в зависимости от месяца укладки

Климатическая зона	Срок сушки при толщине пиломатериалов, мм		
	15 ... 25	35 .. 50	55 ... 75
<i>Март</i>			
4-я	12 ... 23	25 ... 32	35 ... 45
<i>Апрель, май</i>			
1-я	34 ... 38	43 ... 51	55 ... 64
2-я	30 ... 34	38 ... 47	51 ... 60
3-я	26 ... 30	34 ... 36	43 ... 51
4-я	13 ... 15	17 ... 22	22 ... 30
<i>Июнь, июль</i>			
1-я	13 ... 17	22 ... 43	43 ... 55
2-я	10 ... 13	17 ... 34	34 ... 51
3-я	9 ... 10	15 ... 22	26 ... 34
4-я	8 ... 9	13 ... 15	17 ... 25
<i>Август, сентябрь</i>			
1-я	30 ... 34	43 ... 51	55 ... 60
2-я	26 ... 34	36 ... 43	47 ... 55
3-я	22 ... 30	30 ... 38	43 ... 47
4-я	11 ... 17	20 ... 26	30 ... 34
<i>Октябрь</i>			
4-я	12 ... 23	25 ... 32	35 ... 45

Пр и м е ч а н и е. В таблице указаны сроки сушки пиломатериалов из сосны, ели, кедра и пихты в днях со средними положительными температурами для пакетных штабелей. Для рядовых штабелей сроки сушки увеличиваются на 10 %, для лиственницы — на 60 %.

дить до влажности не более 22 %. Ориентировочные сроки сушки для различных климатических зон СССР указаны в табл. 47.

УСТРОЙСТВО И ПЛАНИРОВКА ТЕРРИТОРИИ СКЛАДА

Открытый склад пиломатериалов следует располагать на сухом, хорошо проветриваемом участке для обеспечения лучшей вентиляции и скорейшего и равномерного просыхания пиломатериалов. Площадь склада лучше размещать на песчаном грунте с низким стоянием грунтовых вод. Если склад расположен на низменном, заболоченном участке, обязательно проведение специальных мелиоративных работ по осушению площади и понижению уровня грунтовых вод.

Площадь склада должна быть очищена от деревьев и кустарников. Неровности срезают, а ямы засыпают грунтом, песком или шлаком. Выравнивание площади склада навалом древесных отходов недопустимо, так как отходы, загнивая, будут заражать фундаменты и вызывать гниение пиломатериалов.

ГОСТ 3808.1—85 предусматривает 2 способа укладки пиломатериалов для атмосферной сушки и хранения на открытых складах: в рядовые и в пакетные штабеля. Способ пакетной штабелевки более прогрессивен, так как позволяет осуществить комплексную механизацию погрузочно-транспортных работ. На территории склада рядовые и пакетные штабеля следует располагать отдельными секциями (группами). Примерная планировка группы рядовых штабелей указана на рис. 75.

Направление продольных проездов должно совпадать с направлением господствующего ветра, а в районах со слабо выраженным направлением господствующего ветра они должны быть расположены с севера на юг.

Штабеля тонких пиломатериалов (толщиной до 25 мм) располагают с наветренной стороны склада, толстых (толщиной более 50 мм) в середине, средней толщины (от 25 до 50 мм) — с подветренной стороны. Все проезды должны быть прямыми, ширина проезда одинакова на всем протяжении.

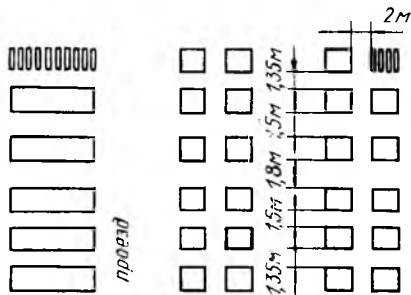
Каждый штабель должен быть уложен на фундамент из переносных (опоры, балки) железобетонных или деревянных пропитанных антисептиками элементов. Деревянные опоры фундаментов пропитывают трудновываемыми водорастворимыми защитными средствами в соответствии с ГОСТ 20022.7—82 или ГОСТ 20022.12—81.

Высота фундамента для штабеля, т. е. расстояние от уровня земли до нижнего ряда досок, должна быть не менее 50 см, а в местности с большим количеством атмосферных осадков и высоким стоянием грунтовых вод не менее 75 см.

Все фундаменты на складе располагают горизонтально и строго на одном уровне. Они должны быть прочными и жесткими.



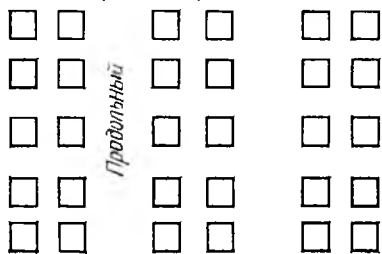
проезд



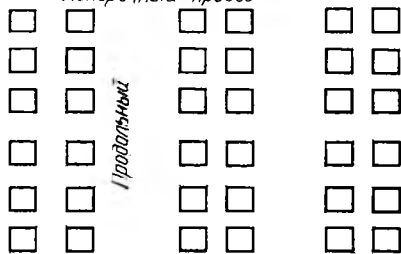
проезд

Поперечный проезд

Поперечный проезд



Продольный

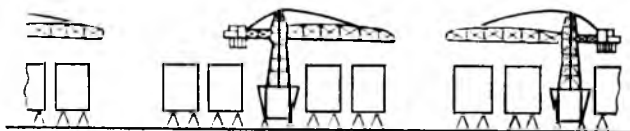


Продольный

а

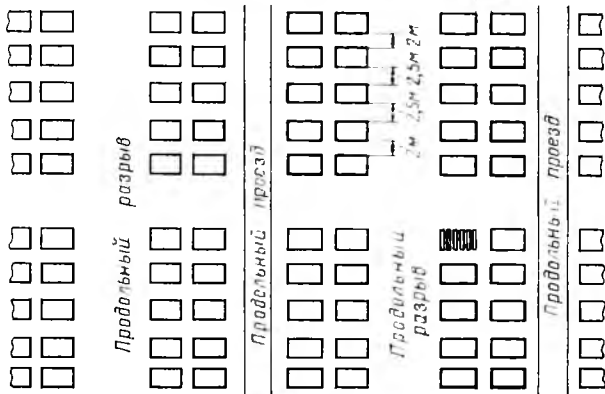
б

Вид А



План

Поперечный разрыв



Поперечный разрыв



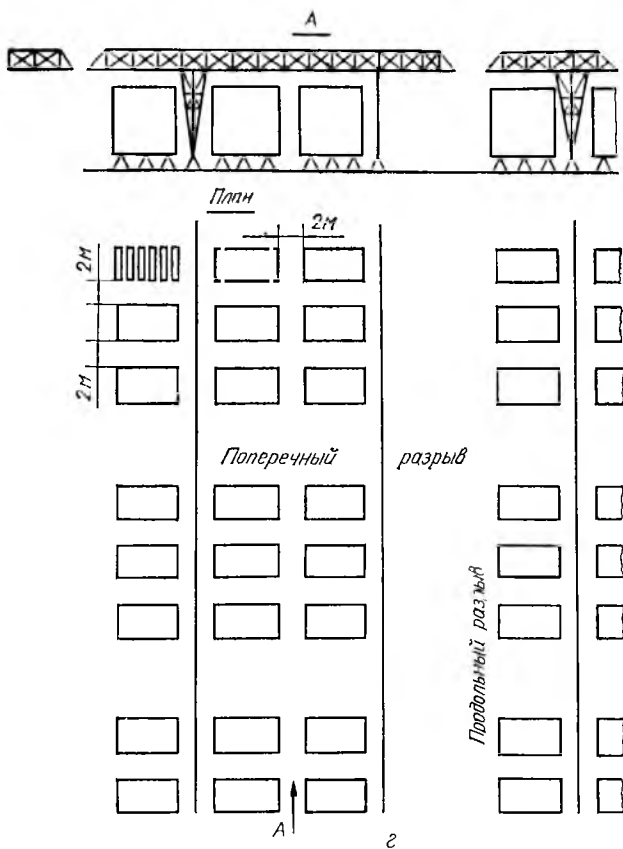


Рис. 75. Планировка групп штабелей при укладках: штучной (а), пакетной автопогрузчиком (б), пакетов башенным (в) и козловым (г) кранами

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА УКЛАДКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Пиломатериалы укладывают в рядовые и пакетные штабеля для атмосферной сушки отдельно по породам, размерно-качественным группам и по степени обработки; обрезные пиломатериалы сортируют по толщине и ширине, породам, сортам (при сортировке до сушки), необрезные — по толщине. Перед укладкой кромки необрезных пиломатериалов твердых пород должны быть очищены от коры.

Пиломатериалы в штабеля (пакеты) должны быть уложены горизонтальными рядами, отделяемыми друг от друга прокладками (рейками), изготовленными из сухой и здоровой древесины хвойных пород толщиной 22 и 25 мм и шириной 40—50 мм. Длина прокладок должна быть равна ширине штабеля (пакета). Крайние прокладки в штабеле (пакете) укладывают

на расстоянии 45 ± 10 см от торцов пиломатериалов. Число прокладок по длине и расстояние между ними должны соответствовать числу опорных брусьев (прогонов) и расстоянию между ними в фундаменте. Все прокладки смежных по высоте рядов пиломатериалов располагают вертикально, смещение от линий, проходящих через оси опорных брусьев фундамента, не должно превышать ± 3 см.

При пакетной укладке штабель для сушки состоит из отдельных сушильно-транспортных пакетов, одинаковых по размерам и уложенных на фундамент в несколько горизонтальных рядов (рис. 76).

Размеры пакета определяются технической характеристикой применяемых подъемно-транспортных механизмов и оборудова-

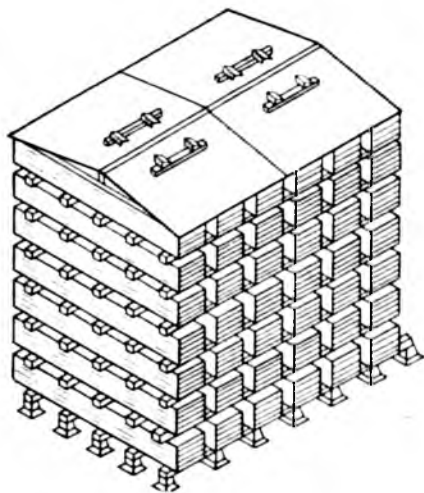


Рис. 76. Устройство пакетного штабеля

материалов, должны быть отвесными. Короткие пиломатериалы по длине ряда укладывают встык, при этом внешние торцы их должны быть выровнены по соответствующим торцам пакета.

Укладка в горизонтальном ряду должна быть со шпациями для сосновых и кедровых пиломатериалов шириной не менее 50 мм, а для остальных пород не менее 35 мм. Для антисептированных еловых и сосновых пиломатериалов толщиной от 38 до 75 мм и шириной от 100 до 125 мм допустима укладка в пакеты шириной до 1350 мм без шпаций. Шпации по высоте пакета, сформированного из обрешных пиломатериалов, должны образовать вертикальные каналы.

При формировании штабеля пакеты укладывают в несколько горизонтальных рядов, при этом пакеты каждого ряда отделяют друг от друга межпакетными прокладками, сечение которых должно быть не менее 100×100 мм. Число межпакет-

ния. Длина пакета должна быть не более 7 м. Ширина штабеля определяется длиной укладываемых пакетов или суммой длин стыкуемых пакетов, длина — технической характеристикой применяемых механизмов. Высота штабеля при крановой укладке, включая высоту фундамента и крыши, должна быть не более 12 м, а при укладке автопогрузчиком — не более 7 м.

Все пакеты пиломатериалов одного размера должны иметь одинаковые ширину и высоту. Плоскости пакета, образуемые кромками и торцами пило-

ных прокладок должно соответствовать числу прокладок в пакете над прогонами (опорами фундамента).

Между отдельными пакетами в каждом горизонтальном ряду следует устраивать разрывы не менее 25 см. По высоте штабеля межпакетные разрывы должны образовывать вертикальные каналы. Допускается укладка штабелей с межпакетными (вертикальными) разрывами, ширина которых увеличивается от края к середине штабеля.

На одной из торцовых поверхностей пакетов или штабелей допускается выход концов пиломатериалов за выровненную поверхность не более чем на 300 мм. Число выступающих концов не должно превышать 5 % общего числа пиломатериалов, выходящих торцами на эту поверхность.

На одной из боковых поверхностей пакетов возможен выход концов досок, используемых в качестве межрядовых прокладок, за выровненную поверхность не более чем на 300 мм. Длина и ширина штабеля должны быть не более 8 м, а высота не более 4 м. Допустимо укладывать на одном фундаменте 2 рядовых штабеля.

Для равномерного просыхания пиломатериалов и лучшей вентиляции по середине рядового штабеля на всю его высоту должен быть устроен вертикальный канал шириной не менее 400 мм. Кроме вертикального канала, в рядовых штабелях должны быть устроены горизонтальные каналы шириной не менее 150 мм на высоте 1 и 2,15 м от нижнего ряда пиломатериалов.

В рядовых штабелях ширину шпаций между смежными досками в каждом ряду устанавливают в зависимости от климатических условий согласно табл. 48. Допускается применять также шпации разной ширины, возрастающей от стенок штабеля к середине, но в среднем она не должна быть меньше ширины, установленной для разных климатических зон в табл. 48.

48. Зависимость ширины шпаций от климатических условий

Ширина пиломатериалов, мм	Климатические зоны	
	1-я, 2-я	3-я, 4-я
	Ширина шпаций, мм	
До 150	100 . . . 125	75 . . . 100
От 160 до 280	150 . . . 175	125 . . . 150

КРЫШИ ШТАБЕЛЕЙ

Каждый штабель по окончании формирования должен быть покрыт крышей. В качестве кровельного материала используют доски без гнили и синевы или другой кровельный материал. Конструкция крыши определяется типом штабеля.

При формировании пакетных штабелей влажных пиломатериалов каждый вертикальный ряд или несколько рядов пакетов покрывают односкатной или двускатной секционной съемной крышей с уклоном не менее 60 мм на 1 м ее длины. Щели между отдельными крышами должны быть перекрыты.

Крыша должна иметь свесы в стороны ската не менее 500 мм для штабелей высотой до 10 м, и не менее 700 мм для штабелей высотой более 10 м. В сторону промежутков между смежными вертикальными рядами пакетов величина свесов должна быть не менее 100 мм.

Над рядовыми штабелями сооружают временную разборную крышу из панелей или отдельных досок в течение 2 суток после окончания укладки штабеля. Панели могут быть изготовлены как из досок, так и другого кровельного материала. Необходимый минимальный уклон составляет для крыши из отдельных досок 120 мм на 1 м, для крыш из панелей — 60 мм на 1 м.

Для устойчивости крыши на штабеле ее крепят к прокладкам крепежным материалом, обеспечивающим прочность и надежность крепления. Скат крыши должен быть обращен в проезды. Крыша должна иметь свесы в сторону промежутков между штабелями не менее 50 см, в сторону проездов — не менее 75 см.

ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Правила атмосферной сушки пиломатериалов и заготовок из древесины лиственных пород регламентируются ГОСТ 7319—85.

Пиломатериалы по ГОСТ 2695—83 и заготовки по ГОСТ 7897—83 для создания оптимальных условий атмосферной сушки и хранения в зависимости от твердости древесины и толщины сортимента разделяются на 3 сушильные группы (табл. 49).

49. Размерно-качественные группы (по ГОСТ 7319—85)

Породы	Толщина, мм	Сушильные группы
Твердые: кольцесосудистые (дуб, ясень, ильм, вяз); рассеянно-сосудистые (граб, клен) рассеянно-сосудистые (бук, береза, орех, платан, груша)	Свыше 50	1
	От 25 до 50	1
	До 25	2
	Свыше 50	1
	От 25 до 50	2
	До 25	2
Мягкие рассеянно-сосудистые (осина, липа, ольха, тополь, ива)	Свыше 50	2
	От 25 до 50	3
	До 25	3

При укладке пиломатериалов в штабеле для атмосферной сушки соблюдают следующие требования:

пиломатериалы и заготовки, поступающие на склад для атмосферной сушки при температуре 5 °С и выше, должны быть антисептированы в день выпилки, а их торцы покрыты влагозащитной замазкой;

пиломатериалы и заготовки зимней выработки антисептируют и их торцы покрывают замазкой до наступления температуры 5 °С;

торцы буковых пиломатериалов и заготовок подвергают защите от растрескивания и антисептированию после пропарки.

Все пиломатериалы и заготовки после выпилки должны быть уложены в штабеля при температуре 5 °С и выше в суточный срок, ниже 5 °С — в 3-дневный срок.

Кромки дубовых, буковых, грабовых и ильмовых необрезных пиломатериалов всех толщин при хранении более года в районах Украинской ССР, Кавказа и Приморья должны быть очищены от коры или обработаны инсектицидами.

Штабеля на складе следует располагать по отношению к господствующим ветрам последовательно в зависимости от толщин пиломатериалов и заготовок: до 25 мм — с наветренной стороны, свыше 50 мм — в середине, от 25 до 50 мм — с подветренной стороны склада.

Заготовки кольцесосудистых пород древесины должны укладываться в штабеля под навесами, за исключением заготовок I и II сортов толщиной до 25 мм и III сорта толщиной свыше 25 мм, которые допускается укладывать на открытой площадке.

50. Ширина шпаций в зависимости от сушильной группы пиломатериалов, заготовок и климатических зон

Ширина пиломатериалов и заготовок, мм	Ширина шпации, мм, для климатических зон			
	1-я	2-я	3-я	4-я
<i>I группа сушки</i>				
До 100	50 . . . 60	40 . . . 50	30 . . . 40	20 . . . 30
От 100 до 150	60 . . . 70	50 . . . 60	40 . . . 50	30 . . . 40
» 150 и выше	70 . . . 80	60 . . . 70	50 . . . 60	40 . . . 60
<i>II группа сушки</i>				
До 100	60 . . . 70	50 . . . 60	40 . . . 50	30 . . . 40
От 100 до 150	70 . . . 80	60 . . . 70	50 . . . 60	40 . . . 50
» 150 и выше	80	70 . . . 80	60 . . . 70	50 . . . 60
<i>III группа сушки</i>				
До 100	110 . . . 120	80 . . . 90	70 . . . 80	60 . . . 70
От 100 до 150	130 . . . 150	90 . . . 100	80 . . . 90	70 . . . 80
» 150 и выше	150 . . . 170	100 . . . 110	90 . . . 100	80 . . . 90

Заготовки III сорта толщиной до 25 мм укладывают на открытой площадке.

Заготовки рассеянно-сосудистых пород II и III сортов должны укладываться в штабеля на открытых площадках. Заготовки II сорта толщиной свыше 25 мм укладывают в штабеля под навесами на открытых площадках. Заготовки I сорта следует укладывать под навесами; допустима укладка на открытых площадках заготовок I сорта толщиной до 25 мм. Лыжные заготовки укладывают как на открытых площадках, так и под навесами.

Ширину шпаций в рядовых штабелях и пакетах можно определить в зависимости от сушильной группы пиломатериалов и заготовок и климатических зон по табл. 50.

Температура сушильного агента	Психрометрическая разность Δt , С																																			Температура сушильного агента
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38						
72	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	56	53	50	47	45	42	40	38	36	32	28	25	21	18	—	—	—	—	—	—	—	—	72	
74	100	96	92	87	84	80	76	72	69	65	63	60	56	53	51	48	46	43	41	39	37	33	29	26	22	19	14	—	—	—	—	—	—	74		
76	100	96	92	87	84	80	77	73	70	66	64	61	57	54	52	49	47	44	42	40	38	34	30	27	23	20	15	—	—	—	—	—	—	76		
78	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53	50	48	45	42	40	38	34	31	27	24	21	16	—	—	—	—	—	—	78		
80	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53	50	48	45	43	41	39	35	31	28	25	22	17	—	—	—	—	—	—	80		
82	100	96	92	88	84	80	77	74	71	67	65	62	59	56	54	51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	18	—	—	—	—	—	—	82		
84	100	96	92	88	84	80	77	74	71	68	65	62	59	56	54	51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	19	14	—	—	—	—	—	84		
86	100	96	92	88	84	80	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52	50	47	45	43	41	37	33	30	27	24	20	15	—	—	—	—	—	86		
88	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52	50	48	46	44	42	38	34	31	28	25	21	16	—	—	—	—	—	88		
90	100	97	93	89	85	81	79	75	72	69	66	63	61	58	56	53	51	49	47	45	43	39	35	32	29	26	22	18	—	—	—	—	—	90		
92	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	64	62	59	57	54	52	50	47	45	43	39	36	33	30	26	22	19	16	—	—	—	—	92		
94	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	54	52	50	48	46	44	40	37	33	30	27	23	20	17	—	—	—	—	94		
96	100	97	93	90	87	83	80	76	73	70	68	65	62	60	58	55	53	51	48	46	44	41	37	34	31	28	24	21	18	—	—	—	—	96		
98	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	49	47	45	41	38	34	31	28	25	22	19	16	—	—	—	98		
100	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	66	63	61	59	56	54	52	49	47	45	42	38	35	32	29	26	23	20	17	—	—	—	100		
102	—	—	—	94	91	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	59	56	54	52	50	48	46	42	38	35	32	29	26	23	21	18	—	—	102		
104	—	—	—	—	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	60	57	55	53	50	48	46	42	39	35	32	30	27	24	22	19	—	—	—	104		
106	—	—	—	—	—	—	81	78	75	72	69	67	64	62	60	57	55	53	50	48	46	43	39	36	33	30	27	24	22	20	—	—	—	106		
108	—	—	—	—	—	—	—	75	72	69	67	64	62	60	57	55	54	51	49	46	43	40	36	33	31	28	25	23	21	18	—	—	—	108		
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69	67	65	63	61	58	56	54	51	49	46	43	41	37	34	32	29	26	24	21	18	—	—	—	110		
112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65	63	61	58	56	54	52	50	47	44	42	38	35	33	30	27	24	22	—	—	—	112		
114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61	58	56	54	52	50	48	45	42	38	35	33	30	27	25	22	—	—	—	114		
116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	55	53	51	49	46	43	39	36	34	31	28	25	23	—	—	—	116		
118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	51	49	46	43	40	37	34	32	29	26	23	—	—	—	118		
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	47	44	41	38	35	32	29	26	24	—	—	—	120		

Приложение 2

Методика испытаний и определения техничко-экономических показателей лесосушильных камер

Методика предназначена для проведения испытаний новых, а также реконструированных лесосушильных камер периодического и непрерывного действия и позволяет получить показатели, необходимые для оценки камер и определения их технического уровня.

1. Показатели оценки камер.

1.1 При испытаниях определяют технологические, технические, энергетические и технико-экономические показатели (см. таблицу), а полученные результаты сравнивают с величинами по технической документации.

1.2. Производительность камер и другие показатели табл. 51 относятся к условным материалам.

При расчете годовой производительности принимается, что камеры работают 335 сут в год. Продолжительность оборота цикла сушки для камер периодического действия складывается из продолжительности, полученной при испытаниях, и времени загрузки и выгрузки, принимаемом равным 0,1 сут.

1.3. Годовую производительность определяют по формуле

$$P = Bn, \text{ м}^3/\text{год},$$

где B — вместимость камеры, м^3 , плотной древесины условных пиломатериалов; n — число оборотов (циклов) камеры в год.

Вместимость камеры определяют по формуле

$$B = G_{\text{шт}} m_{\text{шт}} \beta_{\text{об}},$$

где $G_{\text{шт}}$ — габаритный объем штабеля, м^3 ; $m_{\text{шт}}$ — число штабелей; $\beta_{\text{об}}$ — коэффициент объемного заполнения штабеля условным пиломатериалом при укладке досок в штабеля на прокладках толщиной 25 мм и средней длине досок 5,5 м, а штабеля 6,5 м для условных пиломатериалов $\beta_{\text{об}} = 0,438$.

2. Проведение испытаний и подготовка камер.

2.1. Подготовка лесосушильной камеры и материала к испытаниям. Перед испытаниями камеру тщательно осматривают, проверяют исправность ее основных узлов и оборудования, оснащенность приборами, обеспеченность теплоносителем и электроэнергией. Для опытных сушек подготавливают сосновые или еловые обрезные доски, прошедшие сортировку. Толщина пиломатериалов 40 мм, ширина 125...175 мм.

Начальная влажность пиломатериалов не ниже 40 %, конечная влажность W_k при опытных сушках в камерах периодического действия 12 %, непрерывного действия 18 %. Если нет таких пиломатериалов, то допустимо проводить испытание на сосновых и еловых пиломатериалах других толщин (в пределах 38...45 мм) и другой влажности с последующим пересчетом на продолжительность сушки условного материала.

**Технические, энергетические и технико-экономические
показатели**

Наименование показателей	Величины	
	по технической документации	по результатам испытаний

Основные

- Производительность камеры (для условных пиломатериалов), при установленных для камеры режимах сушки, тыс. м³/год:
 Вместимость камеры в условных пиломатериалах, м³
 Масса камеры (для сборно-металлических), т
 Удельная металлоемкость (масса металла, отнесенная к вместимости камеры или к годовой производительности), т/м³
 Удельный расход тепла:
 на 1 м³ условных пиломатериалов, кДж/м³
 на 1 кг испаряемой влаги, кДж/кг
 Удельный расход электроэнергии на 1 м³ условных пиломатериалов, кВт·ч/м³
 на килограмм испаряемой влаги, кВт·ч/кг
 Показатели распределения сушильного агента:
 средняя скорость циркуляции по материалу, м/с
 коэффициент вариации скорости по штабелю, %
 коэффициент использования воздушного потока, %
 разброс температуры в камере (по длине и высоте на входе в штабель), °С
 Показатели качества сушки:
 средняя конечная влажность пиломатериалов в штабеле, %
 среднее квадратическое отклонение влажности, %
 перепад влажности по толщине пиломатериалов, %
 показатель остаточных напряжений (относительное отклонение зубцов силовой секции), %
 пересортица (переход пиломатериалов после сушки из высоких сортов в более низкие), %
 неисправимые пороки (брак), %

Вспомогательные

- Размеры сушильного штабеля или пакета (ширина × высота × длина), м
 Число штабелей или пакетов в камере, шт.
 Удельная поверхность нагрева калорифера (на 1 м³ условного материала), м²/м³
 Вид теплоносителя и его средний часовой расход (для условного пиломатериала) при применяемых режимах, т/ч
 Коэффициент использования объема камеры (отношение вместимости камеры к ее внутреннему объему), %
 Удельные тепловые потери через ограждения (на 1 м³ условных пиломатериалов; учитываются потери за счет теплопередачи и инфильтрации через ограждения), кДж/м³
 Оптовая цена камеры или сметная стоимость строительства
 Себестоимость сушки условных пиломатериалов
 Степень оснащенности средствами автоматизации

В камерах периодического действия проводятся минимум 2 опытные сушки при заданном стандартном режиме, в камерах непрерывного действия — 1 для 3 штабелей, обязательно при полностью загруженной камере. Опытные сушки проводят при всех режимах, указанных в документации на камеры.

2.2. Пиломатериалы рекомендуется укладывать в штабеля с соблюдением всех требований инструктивных документов.

При укладке их осматривают и определяют ГОСТ 8486—66 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия» (стандарт СЭВ 2369—80) сорта всех досок с отметкой пороков, подготавливают и закладывают в штабель контрольные доски по схеме на рис. 77, а, для определения показателей качества сушки.

Для крупногабаритных штабелей (высотой более 3 м) рекомендуется увеличивать число контрольных досок. Из контрольных

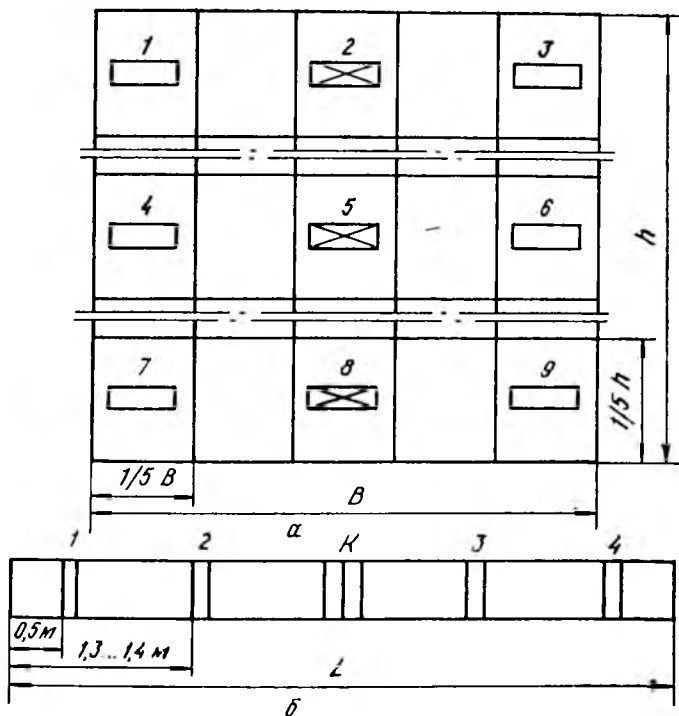


Рис. 77. Распределение контрольных досок в штабеле:

a — схема распределения досок в поперечном сечении штабеля; *б* — схема раскроя досок по длине; 1—4 — секции, выпиливаемые от досок 2, 5, 8; *K* — центральные секции, отпиливаемые от каждой контрольной доски; *B* — ширина штабеля; *h* — высота; *L* — длина доски; 1...9 — номера контрольных досок

ных досок перед укладкой их в штабеля выпиливают секции для определения начальной влажности. При этом число секций начальной влажности должно быть не менее 16.

2.3. Перед закаткой подготовленных штабелей в камеру ее испытывают на холостом ходу. Испытания включают следующие виды основных проверок:

герметичности камеры путем впуска в нее пара через увлажнительные устройства;
работы вентиляторных установок, включая измерение та-

хметром числа оборотов двигателей и вентиляторов, степени нагрева подшипниковых узлов;

работоспособности системы подачи теплоносителя в калориферы камер, включая проверку исправности трубопроводов, запорных и регулировочных вентилей, конденсатоотводчиков, исполнительных механизмов;

работоспособности приточно-вытяжных систем камеры;

работы системы подачи воды в психрометрические устройства;

работы электрооборудования в различных режимах управления (дистанционном, автоматическом);

работы системы автоматического управления процессом сушки;

работы подштабельных тележек, рельсовых путей, устройств закатки и выкатки штабелей;

работы дверей камеры, наличие и работоспособность блокировок и сигнализаций, предусмотренных технической документацией;

качества изготовления и монтажа основных узлов камеры.

2.4. Проведение опытных сушек. Опытные сушки проводят в соответствии с инструктивными материалами по камерной сушке.

Кроме получения показателей, предусмотренных табл., во время опытных сушек необходимо проверить работоспособность и безотказность всех механизмов; удобство обслуживания и управления; безопасность работы обслуживающего персонала.

3. Методика определения основных показателей.

3.1. Определение пересортицы и брака. После выкатки из камер и остывания штабеля разбирают. При разборке доски тщательно осматривают и фиксируют пороки, полученные в процессе сушки. Сортность досок определяют согласно стандарту ГОСТ 8486—66 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия» (стандарт СЭВ 2369—80) для контрольных штабелей или пакетов объемом не менее 5 м³. По результатам опытных сушек определяют среднюю переходность пиломатериалов при сушке из высоких в более низкие сорта (пересортицу) и среднюю величину брака (неисправных пороков).

3.2. Определение показателей качества сушки. Для определения показателей качества сушки (конечной влажности, перепада влажности по толщине и наличия остаточных внутренних напряжений) из каждой контрольной доски вырезают секции.

Для определения средней конечной влажности штабеля и равномерности просыхания пиломатериалов сушильно-весовым способом секции влажности вырезают из контрольных досок по схеме рис. 77, б. Для определения перепада влажности по толщине пиломатериалов и наличия остаточных напряжений вырезают секции из средней части досок (часть К на рис. 77, б).

Для определения перепада влажности и остаточных напря-

жений допускается вырезать секции в 3-х зонах по длине из каждой контрольной доски. В зонах размещения контрольных досок (рис. 77 а) при разборке штабеля после сушки допускается определять влажность близлежащих досок (по 3-4 доски около каждой контрольной) влагомером для оценки равномерности распределения влажности по объему штабеля. Влажность досок определяют влагомером в местах раскрыя по схеме рис. 77,б для каждой выбранной доски, в том числе и контрольных.

После определения влажности штабеля сушильно-весовым методом по секциям из контрольных досок (рис. 77, а) и с помощью влагомера вычисляют следующие основные показатели, определяющие равномерность просыхания штабеля:

1) Среднее значение конечной влажности

$$W_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n W_i/n,$$

где W_i — влажность отдельных секций или мест измерения влагомером, %; n — число секций (показаний).

2) Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{\text{ср}})^2}{n - 1}}.$$

Равномерность просыхания пиломатериалов в штабеле характеризуется (с вероятностью 95 %) величиной $\pm 2\sigma$.

3) Вариационный коэффициент, %.

$$V = 100\sigma/W_{\text{ср}}.$$

Для оценки равномерности просыхания пиломатериалов по высоте штабеля сравнивают средние влажности в зонах расположения верхних 1..3, средних 4..6 и нижних 7..9 контрольных досок. Равномерность просыхания по ширине штабеля оценивают по средней влажности групп досок в зонах 1, 4, 7; 2, 5, 8 и 3, 6, 9.

Равномерность просыхания по длине штабеля оценивают путем сравнения усредненных значений влажности в соответствующих зонах рис. 77, б контрольных досок штабеля. Перепад влажности по толщине (разность во влажности внутреннего и наружного слоев) пиломатериалов (заготовок) определяют по секциям послойной влажности. Секции выпиливают рядом с секциями для определения средней влажности (рис. 77, б).

Формы и размеры секций, число слоев в зависимости от толщины принимают по рекомендациям главы 5. Число досок, из которых вырезают секции, должно быть не менее 9. По секциям послойной влажности определяют средний перепад влажности в целом для штабеля.

Остаточные напряжения в высушенных пиломатериалах (заготовках) контролируют по силовым секциям, которые выпиливают рядом с секциями для определения средней влажности. Секции выдерживают в сушильном шкафу в течение 2..3 ч при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$. После выдержки из секции вырезают силовые образцы (см. главу 5) и определяют среднее отклонение зубцов по всем силовым образцам.

Кроме того, рекомендуется вырезать силовые секции сразу после выпилки торцовых срезов, а затем выдерживать их при комнатной температуре не менее 12 ч, после чего определять отклонение зубцов. Результаты измерений относительных отклонений зубцов силовых секций приводятся в таблице показателей качества для обоих случаев.

3.3. Определение показателей распределения сушильного агента по штабелю. Распределение сушильного агента по штабелю характеризуется следующими величинами: средней скоростью агента сушки по штабелю $\omega_{\text{ср}}$, вариационным коэффициентом скорости v , коэффициентом использования потока сушильного агента $\eta_{\text{в}}$, разбросом температур сушильного агента на входе в штабель (по длине и высоте штабеля).

Скорость агента сушки измеряют в охлажденной камере в различных зонах штабеля на выходе воздуха из него. Рекомендуемые места измерений приведены на рис. 78. В каждой точке скорость измеряют 2—3 раза (над выбранной доской и под ней).

Среднюю скорость определяют по формуле

$$\omega_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \omega_i / n,$$

где ω_i — результат измерений в i -й точке (средний); n — число точек измерений.

В камерах периодического действия с реверсивными вентиляторами скорости определяют при том и другом направлении циркуляции, т. е. с обеих сторон штабеля.

При сушке в камере нескольких штабелей скорости измеряются в каждом штабеле. В противоточных камерах непрерывного действия допускается измерять скорость циркуляции в одном штабеле (со стороны загрузки).

Вариационный коэффициент скорости определяют по формуле

$$V = \sigma 100 \% / \omega_{\text{ср}},$$

где σ — среднее квадратическое отклонение скорости, м/с.

Для определения фактического количества воздуха (газа), подаваемого вентиляторами, измеряют скорость агента сушки в рециркуляционном канале (расположение точек замеров аналогично рис. 78, где за L принимают ширину канала, а за H — его высоту). По средней скорости агента сушки и площади сво-

бодного сечения канала определяют фактическую производительность вентиляторов $G_{\text{вент}}$:

$$G_{\text{вент}} = F_{\text{кан}} \omega_{\text{кан}},$$

где $F_{\text{кан}}$ — площадь рециркуляционного канала; $\omega_{\text{кан}}$ — средняя скорость циркуляции в канале.

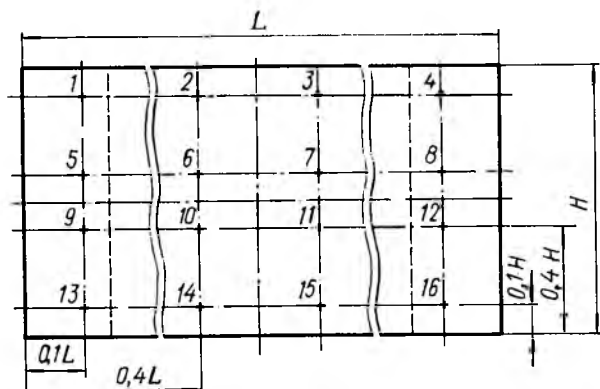


Рис. 78. Схема измерения скорости циркуляции по боковой площади штабеля:

L — ширина канала; H — высота канала; 1, ... 16 — точки замеров

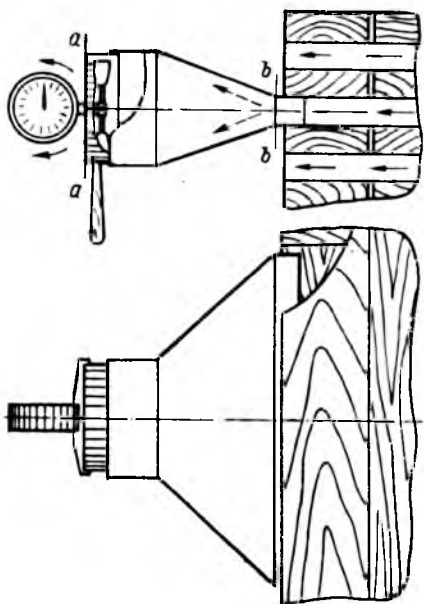


Рис. 79. Насадка для измерения скорости циркуляции агента сушки в штабеле

Коэффициент использования воздушного потока $\eta_{\text{в}}$ определяется по формуле

$$\eta_{\text{в}} = G_{\text{шт}}/G_{\text{вент}} = \omega_{\text{шт}} F_{\text{шт}}/G_{\text{вент}},$$

где $\omega_{\text{шт}}$, $F_{\text{шт}}$ — средняя скорость по штабелю и площадь свободного сечения штабеля.

При измерении скорости определяются также температура и степень насыщенности сушильного агента в период аэродинамических испытаний.

Скорость рекомендуется измерять термоанемометрами или анемометрами с насадками (рис. 79) или другими приборами с погрешностью измерения не более $\pm 0,1$ м/с. Площадь в поперечном сечении $b-b$ должна быть равна площади входного отверстия $a-a$, т. е. $f_{a-a} = f_{b-b}$.

Для оценки распределения температуры сушильного агента по штабелю рекомендуется измерять ее на входе в штабель в точках по схеме на рис. 78.

Для измерения температуры рекомендуются электронные автоматические уравновешенные мосты (показывающие или записывающие) в комплекте с платиновыми термометрами сопротивления или другие приборы с погрешностью измерения температуры не более ± 1 °С. Разброс температуры находят как разность максимальной и минимальной температур сушильного агента на входе в штабель.

3.4. Энергетические показатели. При испытаниях камер определяют следующие энергетические показатели: удельный расход тепловой и электрической энергии на сушку 1 м^3 условных пиломатериалов и на 1 кг испаряемой влаги.

Фактический расход электроэнергии на сушку пиломатериалов при испытаниях определяют по показаниям трехфазных счетчиков электроэнергии. Расход теплоты на сушку пиломатериалов измеряют расходомерами. Если невозможно использовать расходомеры, то допускается определять расход теплоты по массе конденсата, измеряемой водомерами или мерными емкостями.

При измерении расхода теплоты по массе конденсата для учета теплоты, затраченной на влаготеплообработку древесины, добавляют 10 % от измеренной величины для сборно-металлических камер и 15 %, для камер в строительных ограждениях.

Показатель удельного расхода тепловой энергии на сушку пиломатериалов характеризует количество теплоты, затраченной на сушку 1 м^3 условных пиломатериалов при принятой среднегодовой температуре окружающего воздуха $t_{\text{нач}} = +4$ °С.

Удельный расход теплоты на 1 м^3 фактически высушенных пиломатериалов при параметрах окружающей среды, соответствующих периоду испытаний, определяют по выражению

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{об.к}}/E_{\text{ф}},$$

где $Q_{\text{об.к}}$ — количество тепловой энергии, потребленное в течение одного оборота камеры, кДж; $E_{\text{ф}}$ — количество высушенных за один оборот камеры пиломатериалов, м^3 .

Удельный расход теплоты на 1 кг испаряемой влаги определяют по формуле,

$$q = Q_{\text{об.к}}/M,$$

где M — количество влаги, удаленное из пиломатериалов за один оборот камеры, кг.

Тепловые потери при испытаниях определяют измерением количества теплоты, необходимой для поддержания установившегося теплового состояния незагруженной пиломатериалами камеры ($t_k = \text{const}$) с закрытыми приточно-вытяжными каналами. Циркуляционные вентиляторы при испытаниях должны быть включены. Период измерения не менее 2 ч после достижения установившегося теплового состояния. Температура агента сушки должна соответствовать режиму сушки.

Удельный расход электроэнергии на 1 м³ фактически высушенных пиломатериалов определяется по выражению

$$\mathcal{E}_\phi = P/E,$$

где P — суммарный расход электроэнергии за один оборот камеры, кВт·ч.

Удельный расход электроэнергии на кубометр условных пиломатериалов

$$\mathcal{E}_{\text{расч}} = K_{\Delta W} \mathcal{E}_\phi,$$

где $K_{\Delta W}$ — коэффициент пересчета от фактической влажности пиломатериалов ($W_n - W_k$) к влажности условных пиломатериалов (60...12 %).

$$K_{\Delta W} = \frac{\lg(60/12)}{\lg(W_n/W_k)} = \frac{0,7}{\lg(W_n/W_k)},$$

где W_n и W_k — средние начальная и конечная влажность пиломатериалов при опытной сушке, %; 60 и 12 — начальная и конечная влажности условных пиломатериалов, %.

Удельный расход электроэнергии на 1 кг испаряемой влаги

$$\mathcal{E}_1 = P/M.$$

4. Анализ и оформление результатов испытаний камер. Данные, полученные при испытаниях камер, обрабатывают в соответствии с пояснениями в методике по определению основных показателей. На основе показателей, полученных при испытаниях, и анализа технической документации камеры оцениваются в зависимости от их назначения и требований заказчика.

Приложение 3

Производные единицы СИ, наиболее часто употребляемые в выпускаемой издательством литературе

Величина	Единица	Величина	Единица
Масса	кг	Удельная теплоемкость	Дж/(кг·К)
Вес, сила	Н	Удельная энтропия	Дж/(кг·К)
Плотность	кг/м ³	Массовая теплоемкость газов	Дж/(кг·К)
Удельный вес	Н/м ³	Объемная теплоемкость газов	Дж (м ³ ·К)
Частота вращения	с ⁻¹	Тепловой поток	Вт
Момент силы, момент пары сил	Н·м	Поверхностная плотность теплового потока	Вт/м ²
Момент инерции:		Объемная плотность теплового потока	Вт/м ³
динамический (mг ²)	кг·м ²	Коэффициент теплообмена (теплоотдачи), коэффициент теплопередачи	Вт/(м ² ·К)
маховой (mD ²)	кг·м ²	Теплопроводность	Вт/(м·К)
площади плоской фигуры	м ⁴	Температуропроводность	м ² /с
Изгибающий момент, крутящий момент	Н·м	Теплота сгорания топлива	Дж/кг
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	Па = Н/м ²	Количество электричества, электрический заряд	Кл
Работа, энергия	Дж	Электрическое напряжение, электродвижущая сила, электрический потенциал	В
Динамическая вязкость	Па·с	Удельное электрическое сопротивление	Ом·м
Ударная вязкость	Дж/м ²	Магнитная индукция	Тл
Кинематическая вязкость	м ² /с	Активная мощность	Вт
Поверхностное натяжение	Н/м	Реактивная мощность	вар
Массовая концентрация	кг/м ³		
Молярная концентрация	моль/м ³		
Количество теплоты, энтальпия, теплота химической реакции	Дж		
Теплоемкость системы	Дж/К	Полная мощность	В·А
Энтропия системы	Дж/К	Звуковая энергия	Дж
		Энергия излучения	Дж
		Поток излучения (лучистый поток)	Вт

Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10 ¹⁸	деци	д	10 ⁻¹
пета	П	10 ¹⁵	санتي	с	10 ⁻²
тера	Т	10 ¹²	милли	м	10 ⁻³
гига	Г	10 ⁹	микро	мк	10 ⁻⁶
мега	М	10 ⁶	нано	н	10 ⁻⁹
кило	к	10 ³	пико	п	10 ⁻¹²
гекто	г	10 ²	фемто	ф	10 ⁻¹⁵
дека	да	10 ¹	атто	а	10 ⁻¹⁸

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Способы и организация сушки товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях	
Структурная схема лесопильного производства	5
Основные способы массовой сушки пиломатериалов	6
Организация одноэтапной сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности на лесопильных предприятиях	12
Технологические схемы участков сушки на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях	16
Глава 2. Схемы и характеристики сушильных камер	
Назначение, принцип работы камер непрерывного действия и общие требования к ним	20
Камеры непрерывного действия	27
Камеры периодического действия	55
Глава 3. Оборудование основных типов лесосушильных камер	
Ограждения сушильных камер и двери	69
Вентиляторы	79
Калориферы	86
Глава 4. Механизация работ в лесосушильных цехах	
Формирование сушильных штабелей	101
Средства перемещения пакетов и штабелей	107
Линия сортировки и пакетирования пиломатериалов фирмы «План-Селл»	111
Глава 5. Технология камерной сушки пиломатериалов	
Укладка пиломатериалов в штабеля	117
Проведение процесса сушки	122
Требования к качеству сушки	141
Хранение пиломатериалов после сушки	157
Глава 6. Продолжительность сушки и производительность камер	
Определение продолжительности сушки в камерах периодического действия	162
Определение продолжительности сушки в камерах непрерывного действия	166
Расчет производительности лесосушильных камер	173
Глава 7. Контроль и управление процессом сушки в камерах непрерывного действия	
Общие требования к системам контроля и управления процессом сушки, функциональные схемы	183
Системы контроля и автоматического регулирования на действующих камерах	192
Глава 8. Результаты испытаний и опыт эксплуатации лесосушильных камер	
Результаты испытаний и опыт эксплуатации камер непрерывного действия	205
Рекомендации по увеличению производительности камер и улучшению качества сушки	213

Глава 9. Атмосферная сушка пиломатериалов

Общие требования	217
Устройство и планировка территории склада	221
Основные правила укладки пиломатериалов	223
Крыши штабелей	225
Особенности атмосферной сушки пиломатериалов из древесины лиственных пород	226
Приложение 1. Таблица для определения степени насыщенности ф, %, сушильного агента при скорости движения его 1,5..2,5 м/с по показаниям психрометров	229
Приложение 2. Методика испытаний и определения технико-экономических показателей лесосушильных камер	231
Приложение 3. Производные единицы СИ, наиболее часто употребляемые в выпускаемой издательством литературе	240
Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц	240
Список использованной литературы	241