



**Ф. Ф. МЕНДЕ И. А. ШУРУПОВ**

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР**

Ф. Ф. МЕНДЕ И. А. ШУРУПОВ

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР**

Харьков - 2014

Менде Ф. Ф. Щурупов И. А.

Разработка и эксплуатация лесосушильных камер. Монография. – Харьков, 2014. – 68 с. ил. 29, табл. 6, библи. 1.

В книге рассмотрены методы сушки древесины, а также различные конструкции лесосушильных камер. Подробно описана конструкция универсальной лесосушильной камеры, обеспечивающей высокое качество сушки любых пород древесины при минимальных расходах энергии. Камера полностью автоматизирована и за всё время работы не требует вмешательства оператора. Несмотря на высокие характеристики, камера настолько проста, что для своего изготовления не требует специального оборудования и дорогих комплектующих.

## От автора

Китайцы говорят, что не дай бог вам жить во времена великих перемен. Трудно найти такой народ, который на протяжении одного столетия пережил две такие разрушительные революции, которые перенесли граждане Российской Империи и СССР. Когда Бисмарк прочёл «Капитал» Карла Маркса, он сказал, что такую интересную идею нужно было бы где-то испытать, например, в России. К чему привели эти испытания хорошо известно. Не меньшие потрясения произошли и при крушении СССР, когда могучая держава превратилась в мелкие беспомощные государства, которые ходят по миру с протянутой рукой. И все эти катаклизмы в первую очередь были бедствием для людей, которые жили и живут в этих государствах. Сначала тотальная братоубийственная война, а потом полуголодное существование для миллионов её жителей, когда новоявленные капиталисты украли те богатства, которые непосильным трудом создавали целые поколения.

До развала СССР я был успешным учёным, работавшим в системе Украинской академии наук. Эта академия отличалась от Академии СССР тем, что в ней многие учреждения работали на полном хозрасчёте, выполняя оборонные заказы. А полный хозрасчёт, да ещё с военной приёмкой, это совсем не то безоблачное существование на бюджете, которое культивировалось в Академии наук СССР.

И когда грянул переворот 90-х годов, превративший СССР в руины, руины остались и от тех предприятий АН УССР, которые работали на хозрасчёте, поскольку исчезли оборонные заказы. Хозрасчётную организацию СКТБ ФТИНТ АН УССР, в которой работало около 3000 сотрудников, и где я длительное время был заместителем директора по науке, постигла та же участь, и громадное число квалифицированных специалистов

остались и без работы и без средств к существованию. Но суровая школа хозрасчёта не прошла для них даром. Эти специалисты умели работать и добиваться поставленных целей, поскольку на хозрасчёте за красивые разговоры о величии фундаментальной науки денег не платили. В этой трудной ситуации я не изменил науке и до сих пор продолжаю ею заниматься, но теперь уже за свой счёт. За последние годы опубликовал ряд монографий, часть из которых представлена на данном сайте.

В середине 90-х годов мне посчастливилось познакомиться с главным инженером Белоберезянского деревообрабатывающего комбината, который находится в посёлке Белая Берёзка под Брянском. Этот квалифицированный и опытный специалист рассказал мне о больших проблемах на комбинате, связанных с сушкой пиломатериалов. Мало того, что энергетические затраты на осуществление такой сушки составляли почти половину затрат комбината по оплате за электроэнергию, так и качество высушенных пиломатериалов оставляло желать лучшего. И он тогда спросил меня, а не мог бы я попытаться решить эту проблему. Так родилось новое направление в моей деятельности. Оно оказалось очень интересным и плодотворным, прежде всего по той причине, что это была серьёзная научно-исследовательская работа по решению актуальной прикладной задачи. Впоследствии выяснилось, что, не смотря на то, что данным видом деятельности занималось большое количество организаций и фирм, многие актуальные задачи по сушке пиломатериалов далеки от оптимального решения. Они касаются качества выпускаемой продукции, автоматизации процессов сушки, энергетических расходов на её осуществление, а также цены лесосушильных камер. Нужно было создать простые, надёжные и недорогие камеры, предназначенные, прежде всего, для малого и среднего бизнеса. Причём такие камеры, изготовление которых было бы доступно любому специалисту, обладающему элементарными навыками по слесарному и столярному делу. Автомат Калашникова тем и знаменит, что он прост в

эксплуатации и надёжно выполняет свои функции в любых условиях. Именно такие лесосушильные камеры и предстояло создать. И эта задача была успешно решена. В настоящее время в Харькове и области работает 18 таких камер. Некоторые из них работают уже более 10 лет, и ни в одной из них не было серьёзных поломок. Эти камеры не только просты и не требуют больших средств для своего изготовления, но и не нуждаются во вмешательстве оператора за весь цикл сушки, чего нет в камерах, выпускаемых другими предприятиями. Указанные камеры будут настолько подробно описаны в монографии, что их сможет изготовить каждый желающий.

Следует отметить, что существует очень ограниченное количество литературы по сушке древесины. Наиболее подробной монографией по этому вопросу следует считать монографию В. И. Кречетова [1], в которой собран обширный теоретический и экспериментальный материал. Однако эта монография для практиков, желающих изготовить сушильную камеру самостоятельно, а это громадное количество мелких и средних столярных мастерских, не принесёт много пользы. Она написана скорее для научных работников, занимающихся этой проблемой, чем для указанных практиков.

Предлагаемая читателю монография, призвана восполнить указанный пробел. В ней будут использованы отдельные результаты работы [1], представляющие практическую ценность.

Разработку, изготовление и внедрение лесосушильных камер я веду совместно с Игорем Алексеевичем Шуруповым, который является моим соавтором.

## § 1. Сущность, цель и значение сушки древесины

В растущем дереве содержится значительное количество влаги. Она необходима для поддержания жизнедеятельности клеток дерева. В природных условиях жизни леса влага играет положительную роль также в каждом отмершем дереве. Она способствует развитию в древесине микроорганизмов, следовательно, своевременному биологическому ее разрушению и удобрению почвы.

При использовании срубленной и обработанной древесины возникает необходимость в предотвращении биологического её разрушения, придании древесине стойкости против гниения. Наиболее просто это достигается удалением из древесины почти всей влаги. Таким способом из нестойкого сырья древесина превращается в очень ценный материал, сохраняющийся длительное время. Однако влагу в избыточном количестве часто используют для предохранения древесины от гниения. Из практики известно, что подводная часть свай, затопленные бревна и т. п. сохраняются длительное время - десятки и сотни лет. Способ затопления древесного сырья для его сезонного хранения широко используют в фанерном производстве, а искусственное дождевание штабелей бревен — в лесопильном. При этом из древесины влагой вытесняется воздух (в том числе кислород), необходимый для жизнедеятельности дереворазрушающих грибов. Особенно быстро (за 1—2 месяца) в летнее время портится срубленная, но не разделанная и, следовательно, не просушенная в короткий срок, древесина бука, березы и осины; гниют и сырые доски, уложенные в плотные штабеля. Поэтому необходимо бревна этих древесных пород, а также клена, ясеня, ольхи, липы и др. срочно распиливать и затем доски немедленно сушить с максимально допустимой интенсивностью. Основные факторы гниения древесины: умеренная температура (5—40° С), кислород воздуха и значительная (но не близкая к максимальной) ее влажность. Для сохранения древесины

желательно, чтобы в результате обезвоживания в ней осталось менее пятой части влаги по отношению к массе самой древесины, а в случае хранения методом доувлажнения масса влаги должна быть больше массы самой древесины. Отношение массы влаги к массе самой древесины называют ее влажностью. В отмеченных примерах влажность древесины составляет 0,2 (т. е. 20%) и более (т. е. более 100%). Если древесина будет находиться в условиях эксплуатации на открытом воздухе, ввиду неизбежности повторного увлажнения атмосферными осадками предварительная сушка для предохранения древесины от гниения бесполезна.

Наиболее экономичный и распространенный метод обезвоживания древесины - это ее сушка, осуществляемая за счет подвода к влажному материалу тепла нагретым воздухом (или продуктами сгорания) и уноса испарившейся влаги этим же, но частично увлажнившимся и охладившимся воздухом. Для превращения одного килограмма воды в парообразное состояние при атмосферном давлении требуется затратить около 2300 кДж (540 ккал) энергии. Процесс испарения влаги при помощи воздуха может происходить без искусственного его подогрева, что характерно для атмосферной сушки, когда используется теплота нагретого солнцем наружного воздуха. Так как объем выделяющегося из материала пара при обычной температуре сушки (50— 100° С) примерно в 1,2— 1,7 тыс. раз больше объема испарившейся воды, пар устремляется из нагретой древесины в окружающий воздух и отводится им. Следовательно, для сушки необходимо с воздухом подводить энергию и уносить парообразную влагу, т. е. осуществлять циркуляцию воздуха по материалу. Продолжительность процесса сушки пиломатериалов в специальных камерах весьма значительна (1—60 суток) в зависимости от толщины и породы пиломатериалов. Так как при обдувании сухим воздухом пиломатериалы растрескиваются, процесс сушки проводят во влажной среде. В этих целях используется влага, испарившаяся из древесины: вышедший из штабеля увлажненный воздух



повторно подогревают в калориферах (или добавляют горячие продукты сгорания) и вторично направляют в тот же штабель материала, т. е. применяют метод рециркуляции воздуха. Во всех современных сушильных установках для пиломатериалов используется принцип рециркуляционного подвода тепла к материалу

Количество влаги, содержащейся в свежесрубленной или сплавной древесине, уменьшается из-за стекания ее в жидком состоянии (механического обезвоживания) или превращения жидкости в пар, т. е. изменения ее агрегатного состояния. Наиболее заманчиво удаление влаги из древесины именно в жидком состоянии, без затраты тепла на ее парообразование. Замечено, что в очень сырых лесоматериалах некоторых древесных пород (бук, сосна) при вертикальном положении в летнее время часть влаги внутри древесины перетекает вниз и даже вытекает наружу. При нагревании древесины этот эффект возрастает.

Исследованиями установлено, что при пропарке буковых пиломатериалов в среде насыщенного пара с температурой около  $100^{\circ}\text{C}$  значительная часть влаги удаляется из древесины в жидкой фазе при горизонтальном сложении досок или заготовок, т. е. при поперечном токе влаги. Влажность их при температуре около  $100^{\circ}\text{C}$ , атмосферном давлении и продолжительности пропарки не менее 10 ч понижается от начальной 70—80% до 40%, а у более сухой одновременно пропариваемой буковой древесины повышается почти до этого значения. Продвижение влаги совпадает при этом с направлением теплового потока в древесине, влага перемещается от большей температуры к меньшей.

Если парообразование во влажном материале происходит при температуре равной или выше  $100^{\circ}\text{C}$ , процесс сушки называется выпариванием. Если парообразование происходит при температуре влаги ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , процесс называется испарением. Так как при температуре ниже  $100^{\circ}\text{C}$  давление пара

равно атмосферному давлению (0,1 Мпа, 1 бар, 760 мм. рт. столба), в атмосферных условиях пар интенсивно может отводиться от материала лишь вместе с воздухом.

Выпаривание из полусухого материала (когда влага находится в гигроскопическом состоянии) происходит при температуре влаги и материала выше 100° С.

В зимнее время древесина частично подсыхает на открытом воздухе (метод сублимации), когда влага переходит из твердого состояния в парообразное.

Таким образом, под термином обезвоживание подразумевают удаление из древесины влаги в любой ее форме и любыми возможными способами.

Древесина, используемая в виде досок и заготовок в строительстве, машиностроении, деревообрабатывающем, мебельном и других производствах, только после надлежащей просушки приобретает биологическую стойкость против гниения, способность сохранять форму и размеры деталей в изделиях, максимальную механическую прочность при наименьшей плотности, хорошо обрабатывается, имеет минимальную теплопроводность, электропроводность и др. Механическая прочность древесины резко возрастает по мере уменьшения количества влаги в диапазоне ниже 30%, причем возрастает непрерывно до удаления всей влаги; одновременно древесина становится легче. В ряде случаев (например, при доставке бревен сплавом) масса очень влажной древесины в результате сушки уменьшается вдвое. По мере просыхания древесины до сравнительно низкой влажности улучшаются ее технологические свойства - чистота распиловки, строгания, шлифования, прочность склеивания, качество отделки и др. Одновременно повышается ее теплота сгорания, что существенно при использовании древесных отходов в качестве топлива.

В зависимости от условий использования древесины цель сушки и требования к отдельным свойствам высушиваемой древесины различны: при

массовой сушке пиломатериалов на лесопильных заводах это предотвращение последующего биологического разрушения древесины и уменьшение транспортных нагрузок при доставке потребителю; для строительства и деревообработки, кроме того, предотвращение последующей деформации и преждевременного износа различных устройств и изделий из нее, а также улучшение ее физико-механических свойств; в мебельном производстве, кроме указанного, придание ряда положительных технологических свойств; в специальных производствах (фанерном, спичечном, древесных плит) - придание материалу дополнительных свойств в соответствии с требованиями технологических процессов этих производств; в музыкальной промышленности, кроме всего перечисленного, достижение быстрого старения (стабилизации) древесины. Во всех случаях цель сушки - превращение древесины из природного сырья в промышленный материал с коренным улучшением при этом ее биологических, физико-технических, технологических и потребительских свойств. В результате сушки получается облагороженный материал, более качественный и ценный, отвечающий многообразным высоким требованиям, предъявляемым к нему в различных производственных и бытовых условиях. Хозяйственное значение сушки древесины велико. Сушку древесины на предприятиях обычно проводят до заданной величины ее влажности в специальных сушильных установках. Существенный недостаток непросушенной или недосушенной древесины - ее последующая дополнительная усадка в перпендикулярном направлении к длине волокон, что приводит к возникновению зазоров в сопрягаемых деталях, их короблению в различных направлениях, растрескиванию и т. п. Вследствие этого изделие в короткий срок после изготовления резко снижает свои качественные показатели или приходит в негодность. Следовательно, повышенное содержание влаги в древесине при выработке из нее продукции недопустимо; продукция будет низкокачественной, с малым ресурсом службы. Например, мебель ( бытовая,

школьная и т.п.) изготовленная из недосушенной древесины, приходит в негодность за 2—4 года; аналогичная мебель, изготовленная из хорошо высушенного материала, служит 20—40 лет и более, т. е. примерно в 10 раз дольше.

Деревообрабатывающие и мебельные предприятия будут работать в большой мере неэффективно, если сушка древесины на них неудовлетворительна и вырабатываемая продукция в условиях эксплуатации быстро приходит в негодность. Двери, оконные коробки, настилы полов и перекрытия, изготовленные из недостаточно просушенной древесины, через некоторое время рассыхаются, в них появляются щели; двери и дверные коробки перекашиваются, половые доски и элементы перекрытия коробятся, штукатурка разрушается, конструктивные деревянные элементы поражаются грибами и т. д. В зимнее время такая постройка, потерявшая герметичность, продувается ветром. Вскоре после сооружения ее приходится капитально ремонтировать. Влажная или недосушенная древесина часто портит соприкасающиеся или сопряженные с ней материалы, изделия или продукты. При этом убытки обычно во много раз превышают исходную стоимость древесины. Почти все пиломатериалы следует высушивать на месте их распиловки, причем немедленно, и желательно в едином потоке с распиловкой. Процесс их сушки надо рассматривать как неотъемлемую часть технологии изготовления досок и заготовок. Непросушенную древесину нельзя считать материалом и, тем более, товарной продукцией, подлежащей реализации. Потребителям должны отгружаться сухие пиломатериалы, так как при транспортировке влажной древесины излишне расходуются средства на перевозку громадных количеств воды, составляющей около половины массы самой древесины. Кроме того, влажная древесина в пути часто портится. Неправильный процесс сушки приводит также к значительным убыткам из-за возникновения напряжений, коробления и трещин в материале. Недопустимо нарушение технологии сушки посредством

досрочной выгрузки из камер недосушенного материала. Неудовлетворительная сушка и выпуск бракованной продукции в сушильном цехе могут оставаться долгое время незамеченными, поскольку результаты дефектной сушки при отсутствии должного контроля (за неравномерностью влажности высушенного материала или его недосушкой) сказываются через значительное время после выработки продукции, когда она оплачена потребителем и находится в эксплуатации. Сушка обходится недорого - около 10% от стоимости высушиваемой древесины. Расходы на обустройство сушильных установок за время их действия (около 10 лет) равны 1% от стоимости высушиваемой в них древесины.

## **§2. Влажный воздух и его свойства.**

В природе нет сухого воздуха, в котором отсутствуют пары воды. Такой воздух можно получить только специальными методами, например, пропустив влажный воздух через змеевик, расположенный в жидком азоте. При такой процедуре при прохождении воздуха через змеевик пары воды конденсируются на внутренних стенках змеевика, и на его выходе будет получен сухой воздух.

Если имеется смесь любых газов, то каждый отдельный газ в этой смеси характеризуется парциальным давлением. Парциальное давление  $P_{II}$  это то давление газа, которое он будет оказывать на стенки сосуда, если из этого сосуда удалить все остальные газы. Сумма всех парциальных давлений газов, составляющих атмосферу, равна атмосферному давлению. Поскольку водяные пары, входящие в состав атмосферы также являются газом, то и они имеют своё парциальное давление. При заданной температуре единица объёма сухого воздуха может растворить в себе только определённое количество воды в виде пара. И чем выше температура, тем большее

количество водяного пара будет в полученной смеси. Если, при заданной температуре, достигнут предел такой растворимости, то такой воздух называется насыщенным влажным воздухом. Такому воздуху соответствует вполне определённое количество воды, приходящееся на единицу объёма сухого воздуха и вполне определённое парциальное давление паров воды  $P_H$ , которое называется равновесностным или давлением насыщения водяного пара. Различают абсолютную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность это количество влаги, содержащейся в одном кубическом метре воздуха. Исчисляется такая влажность в  $г/м^3$ . Используется также такое понятие как влагосодержание влажного воздуха  $d$ , которое указывает на количество воды, которое содержится в одном килограмме сухого воздуха  $d = \frac{m}{M}$ , где  $m$  - масса воды в граммах, содержащаяся в одном килограмме сухого воздуха, а  $M$  - масса одного килограмма сухого воздуха.

В связи с тем что при определённой температуре воздуха в нем может максимально содержаться только определённое количество влаги (с увеличением температуры максимально возможное количество влаги увеличивается, с уменьшением температуры воздуха оно уменьшается), вводится понятие относительной влажности  $\varphi$ . которая измеряется в

процентах  $\varphi = \frac{P_{II}}{P_H} 100\%$ , где  $P_{II}$  и  $P_H$  - парциальное и равновесностное

давление водяного пара при данной температуре. Данные о влагосодержании влажного воздуха в зависимости от относительной влажности приведены в таблице №1.

Для определения относительной влажности воздуха используются психрометрические таблицы, в которых по разности показаний между сухим

и влажным термометрами можно определять относительную влажность воздуха.

Таблица №1

Т	Влажность воздуха φ%											
	100 d	90 d	80 d	70 d	60 d	50 d	40 d	30 d	20 d	10 d	5 d	0 d
0	3,8	3,5	3,1	2,7	2,3	2	1,5	1,1	0,8	0,4	0,2	0
10	7,8	7,0	6,2	5,4	4,6	3,9	3,1	2,3	1,5	0,8	0,4	0
20	15	13,5	12	10,4	9	7,4	5,9	4,4	3	1,5	0,7	0
30	28	25	22	19	16	14	11	8,1	5,4	2,7	1,3	0
40	50	45	39	34	29	24	19	14	9,4	4,7	2,3	0
50	88	78	69	59	50	41	33	24	16	7,8	3,9	0
60	156	137	119	102	85	69	54	40	26	13	6,3	0
70	268	246	210	176	145	116	90	65	42	20	10	0
80	571	471	387	314	251	196	148	104	66	31	15	0
90	1509	1097	818	616	463	344	248	169	103	48	23	0
100	-	5754	2559	1488	955	635	423	271	158	70	33	0

Таблица №2

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Относительная влажность, %											
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-	
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	

Таблица № 3

Т сух тер	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Относительная влажность, %														
30	93	87	79	73	66	60	55	50	44	39	34	30	25	20	16
32	94	87	80	73	67	62	57	52	46	41	36	32	28	23	19
34	94	87	81	74	68	63	58	54	48	43	38	34	30	26	22
36	94	88	81	75	69	64	59	55	50	45	40	36	32	28	25
38	94	88	82	76	70	65	60	56	51	46	42	38	34	30	27
40	94	88	82	76	71	66	61	57	53	48	44	40	36	32	29
42	94	89	83	77	72	67	62	58	54	49	46	42	38	34	31
44	94	89	83	77	73	68	63	59	55	50	47	43	40	36	33
46	94	89	84	78	74	69	64	60	56	51	48	44	41	38	34
48	95	90	84	79	74	70	65	61	57	52	49	46	42	39	36
50	95	90	84	79	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	37
52	95	90	84	79	75	71	67	63	59	55	51	48	45	42	38
54	95	90	84	80	75	72	68	64	60	56	52	49	46	43	39
56	95	90	85	80	76	72	68	64	60	57	53	50	47	44	41
58	95	90	85	81	77	73	69	65	61	58	54	51	48	45	42
60	95	90	86	81	77	73	69	65	61	58	55	52	49	46	43
62	95	91	86	81	78	74	70	66	62	59	56	53	50	47	44
64	95	91	86	82	78	74	70	67	63	60	57	54	51	48	45
66	95	91	86	82	78	75	71	67	63	60	57	54	51	49	46
68	95	91	87	82	78	75	72	68	64	61	58	55	52	49	47
70	96	91	87	83	79	76	72	68	64	61	58	55	53	50	47
72	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	56	53	50	48
74	96	92	87	84	80	76	73	69	65	63	60	56	54	51	49
76	96	92	87	84	80	77	73	70	66	64	61	57	55	52	50
78	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53	51
80	96	92	88	84	80	77	74	70	66	65	61	59	56	53	51
82	96	92	88	84	80	77	74	71	67	65	62	59	56	54	52
84	96	92	88	84	80	77	74	71	68	66	62	59	56	54	52
86	96	92	88	84	80	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52
88	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	60	57	55	53



Т сух тер	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Относительная влажность, %														
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	14	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	21	18	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	24	20	17	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	26	23	20	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	28	25	22	19	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	30	27	24	21	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	31	28	25	22	20	18	16	-	-	-	-	-	-	-	-
48	33	30	27	24	22	20	17	-	-	-	-	-	-	-	-
50	34	31	29	26	24	22	19	17	14	-	-	-	-	-	-
52	36	33	30	27	25	23	20	18	16	-	-	-	-	-	-
54	37	34	32	29	27	24	22	19	18	16	14	-	-	-	-
56	38	35	33	30	28	25	23	21	19	17	15	-	-	-	-
58	39	36	34	31	29	27	25	22	20	18	17	15	-	-	-
60	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	-	-
62	41	38	36	33	32	28	27	25	23	21	19	17	16	-	-
64	42	39	37	34	33	30	28	26	24	22	20	18	17	16	-
66	43	40	38	35	34	31	29	27	25	23	22	20	18	17	15
68	44	41	39	36	35	32	30	28	26	24	23	21	19	17	16
70	45	41	39	37	36	33	31	29	27	25	24	22	20	18	17
72	46	42	40	38	37	34	32	30	28	26	25	23	21	19	18
74	47	43	41	39	38	35	33	31	29	27	26	24	22	20	19
76	48	44	42	40	38	36	34	32	30	28	27	25	23	21	20
78	49	45	42	40	39	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21
80	49	45	43	41	40	38	36	34	32	30	28	26	25	23	22
82	49	46	44	42	40	38	36	34	32	30	29	27	26	24	23
84	49	46	44	42	41	39	37	35	33	31	30	28	26	25	23
86	50	47	45	43	42	40	38	36	34	32	30	28	27	26	24
88	50	48	46	44	42	40	38	36	34	33	31	29	28	27	25

В таблицах № 2 и № 3 приведены данные для определения влажности воздуха по психрометрической разности температур сухого и влажного термометров в широких пределах изменения температуры и влажности воздуха.

Таблица № 2 используется для определения относительной влажности атмосферы, а таблица №3 используется для определения параметров сушильного агента (воздуха) в сушильных камерах.

### **§ 3. Гигроскопичность древесины**

Вода находится в древесине двух основных структурных элементах: в объёме клеток - это так называемая свободная влага и в стенках клеточных оболочек. Такую влагу называют гигроскопической или связанной.

Максимальное количество связанной влаги, которое может находиться в древесине, примерно одинаково для всех древесных пород и составляет при комнатной температуре около 30%.

Вся влага выше 30% является свободной. Испарение свободной влаги из древесины происходит с такими же энергетическими потерями, как и со свободной поверхности воды. Теплота испарения воды при атмосферном давлении составляет 2260 кДж/кг (540) ккал/кг. Для того, чтобы испарить один килограмм воды, нужно израсходовать 1.6 кВт/ч электроэнергии.

Максимальное значение влажности древесины, при которой возможно поглощение (сорбция) ею влаги из насыщенного паром воздуха, определяет предел гигроскопического состояния древесины и может быть названо пределом гигроскопичности. Таким образом, предел гигроскопичности обозначает граничное значение влажности между находящейся в клетках древесины при комнатной температуре гигроскопической (до 30%) и свободной (выше 30%) влагой.

При повышении температуры предел гигроскопичности понижается. Так, если при комнатной температуре предел гигроскопичности

древесины всех пород в любой части ствола около 30%, то при 60° С около 26%, а при 90° С снижается примерно до 20%.

Испарение связанной влаги, находящейся в клеточных оболочках, затруднено, и для ее поглощения воздух должен быть суше, а расход теплоты повышенным. При этом теплота испарения связанной влаги может увеличиваться до 3600 кДж/кг (860 ккал/кг) [1].

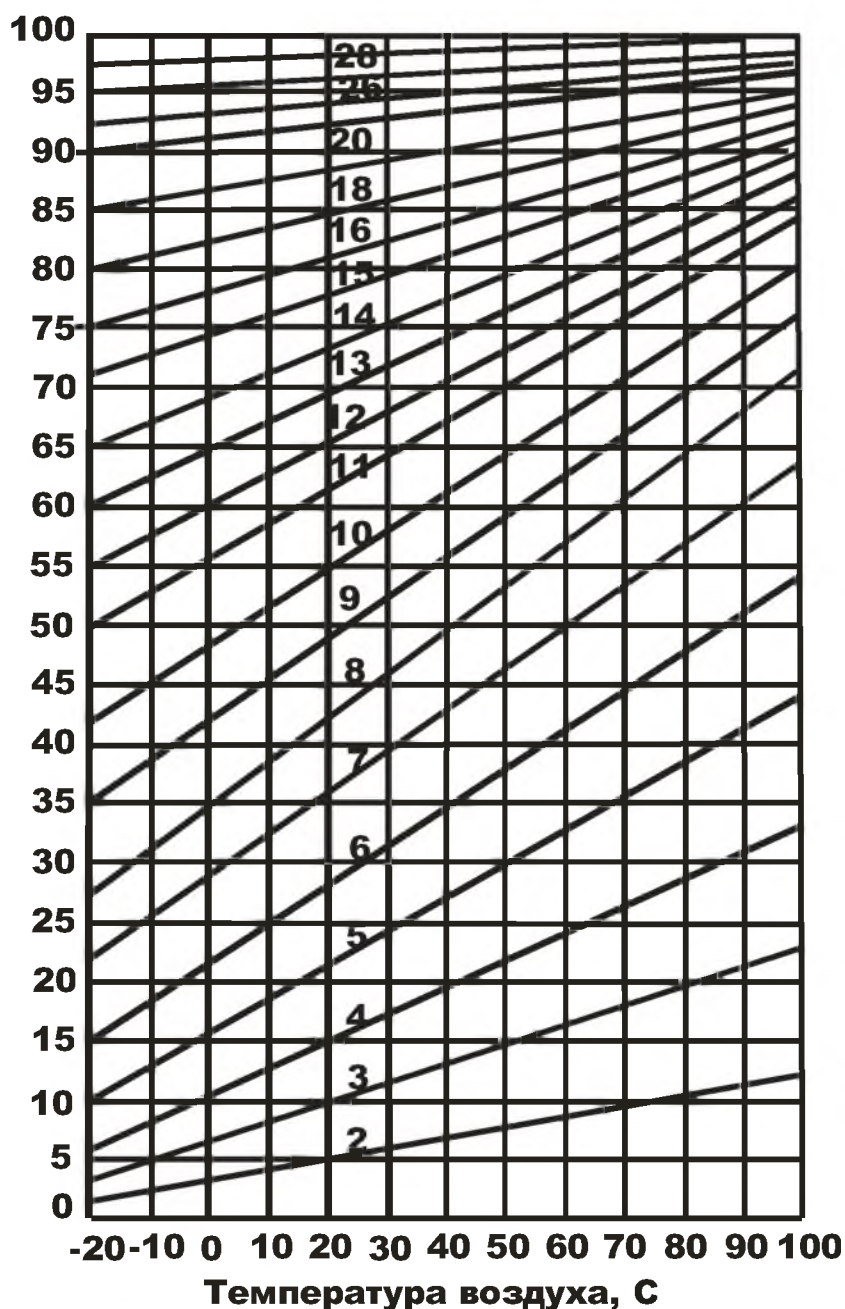


Рис . 1. Диаграмма равновесной влажности Н.Н.Чулицкого.

Сухая древесина обладает большой гигроскопичностью, и, будучи помещена во влажную атмосферу, быстро поглощает влагу. Каждому значению температуры и влажности воздуха соответствует равновесная влажность древесины. Равновесная влажность это та влажность, которую со временем приобретает древесина, находясь во влажном воздухе с заданной температурой и влажностью. Тонкие пиломатериалы достигают равновесной влажности скорее, чем толстые. Процесс поглощения влаги носит экспоненциальный характер, и основное количество влаги пиломатериалы поглощают или отдают за первые сутки пребывания в новых условиях.

Для определения равновесной влажности полезно пользоваться диаграммой Н. Н. Чулицкого, которая приведена на рис. 1. Здесь по вертикальной оси отложена относительная влажность воздуха, а по горизонтальной - его температура.

Как пользоваться этой диаграммой? Для нахождения относительной влажности окружающей атмосферы следует воспользоваться психрометрическими таблицами №2 и №3. Пользуясь этими таблицами, по разности температур между сухим и влажным термометрами находят относительную влажность атмосферы. Влажный термометр изготавливают, обматывая его тонким слоем ткани и затем окуная в воду.

Для более быстрого установления температуры, как сухой, так и мокрый термометр желательно обдувать при помощи вентилятора или каким либо другим способом. Если известна температура воздуха и его влажность, то равновесное значение влажности древесины находится на пересечении линий заданной температуры и влажности воздуха. Следует учитывать, что для того, чтобы предварительно высушенная древесина достигла равновесной влажности с окружающей атмосферой, требуется время и, чем толще пиломатериалы, тем большее время для этого

требуется. Для сортамента толщиной около 50 мм на это требуется около 2-х суток. Но поверхностные слои сухой древесины, как набирают, так и отдают влагу очень быстро. Даже попав под дождь, что бывает во время транспортировки сухой древесины, промокшие пиломатериалы быстро приобретают равновесную влажность с атмосферой того помещения в котором находятся. Промокшие пиломатериалы следует уложить в сухом помещении на прокладках и через некоторое время их можно пускать в производство.

Перед тем, как загрузить пиломатериалы в сушильную камеру их очень желательно просушить на свежем воздухе. Для этого пиломатериалы складывают в штабеля на прокладках толщиной 25-30 мм. С целью более интенсивной естественной конвекции штабеля не следует делать шире 2-х метров. При укладке досок их желательно укладывать не вплотную друг к другу, а оставлять между ними зазоры (шпации) 3-5 см. Если штабеля укладываются не под навесом, то в качестве последнего слоя следует использовать бракованные доски или горбыли. Во избежание промокания штабелей во время дождя их укрывают шифером или другим кровельным материалом. Во избежание попадания солнечных лучей на края штабелей, их также ограждают.

В летнее время такая предварительная сушка должна длиться около месяца, в зимнее время в полтора два раза дольше. Указанное мероприятие даёт возможность примерно в 2 раза сократить энергозатраты.

#### **§ 4. Свойства влажной и сухой древесины и процессы, происходящие в древесине во время сушки**

Древесина, как природный полимер, обладает упруго-вязкими свойствами: в нагретом влажном состоянии она легко деформируется как упруго-вязкое

тело, а в сухом состоянии в большей мере - как упругое. Характерная особенность пиломатериалов при их высушивании - возникновение в них деформаций и напряжений. Деформации проявляются в поперечном к длине волокон направлении. Деформации по сечению материала возникают без приложения внешних сил, поэтому могут быть названы внутренними. Различаются обратимые упругие деформации древесины, включающие при длительной сушке деформацию упругого последствия (называемые иногда упруго-эластическими), и необратимые, остаточные с одновременным протеканием их во времени в поперечном сечении высушиваемого сортамента. Наиболее опасным браком при сушке твердых пород является появление внутренних трещин и микротрещин. Проявление таких свойств древесины во время сушки может быть представлено следующим опытом, наглядно отражающим закономерность всего сушильного процесса. Если отрезать небольшой кусок сырой доски, расколоть его продольно на два слоя (рис. 1-А), а затем закрепив попарно их концы и нагрев древесину, медленно, в несколько приемов, расклинить посередине (рис. 1-Б), слои в результате приложения сил изогнутся, т. е. в них возникнут деформации и напряжения, снаружи растягивающие (знак +), внутри сжимающие (знак —). Подсушенные напряженные слои останутся изогнутыми даже после того, как усилия будут устранены. Несмотря на изгиб, в древесине не окажется упругих деформаций и, следовательно, не будет напряжений. Если затем оба изогнутых слоя продольно разрезать на пластинки и выровнять их с одного конца, пластинки окажутся разной длины: в середине короче, а по краям длиннее (рис. 1-В) хотя влажность их будет одинаковой. Объясняется это тем, что снаружи слоев действовали растягивающие упругие напряжения и деформации, растянув наружную их зону. Во внутренней зоне проявлялись сжимающие упругие деформации, которые тоже перешли в необратимые, остаточные, сократив размер древесины (независимо от усушки, дополнительно к ней). Отсюда следует, что под воздействием упругих

деформаций древесина ведёт себя как упруго-вязкое тело, она может остаточно растягиваться или сжиматься, особенно во влажном и нагретом состоянии. При этом упругая деформация самопроизвольно переходит в остаточную, фиксируя новый размер. Такова характеристика первой стадии сушки, когда возникает опасность появления в пиломатериалах наружных трещин.

Если не разрезая обоих изогнутых слоев на пластинки, попытаться выпрямить их, в наружной зоне появятся сжимающие, а во внутренней — растягивающие упругие деформации. В случае приложения значительных усилий, растягивающие упругие деформации во внутренней зоне слоев могут привести к внутренним трещинам. Если древесину сжимать постепенно, предварительно увлажнив и нагрев её, внутренние трещины не появятся и высушенные зажатые в плоском состоянии слои постепенно станут прямыми. Разрезав их на пластинки, можно установить, что длина всех пластинок одинакова, как и в начале опыта. Это значит, что во внутренней зоне слоев возникла остаточная деформация растяжения, а в наружной — сжатия, т. е. произошло явление, противоположное ранее наблюдавшемуся. В этом схематически заключается характеристика второй стадии сушки, когда существует опасность возникновения в толстых пиломатериалах внутренних трещин, напоминающих раковины в металллите.

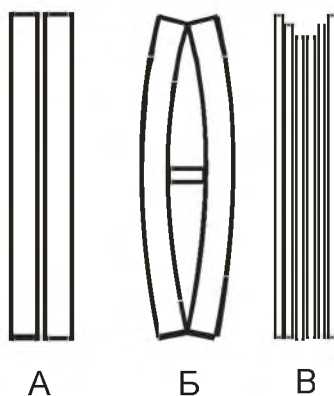


Рис. 1. Схемы упруго-вязких деформаций древесины во время сушки.

Но это не единственный механизм образования внутренних трещин. Экспериментально известно, что при медленной сушке коэффициент усушки больше, чем при быстрой. Если темп сушки слишком высок, то внешние слои доски просыхают быстрее, в то время как внутренние слои остаются ещё влажными и продолжают медленно сохнуть. В такой ситуации в доске образуется коробка внешних сухих слоёв, у которых коэффициент усушки меньше, чем у тех внутренних слоёв, которые будут просыхать медленнее. Это приводит к тому, что при продолжении сушки внутри доски начинают появляться продольные трещины и микротрещины.

Свойства древесины как упругого тела необходимо знать потому, что один из основных дефектов сушки (внутренние трещины и раковины) может быть объяснен только образованием и накоплением остаточных деформаций в нагретой влажной древесине. По этой причине наружные трещины в начале сушки часто не возникают даже при большом перепаде влажности по толщине сортимента. Кроме того, вследствие проявления остаточных деформаций изменяется величина усушки и предотвращается коробление правильно уложенного (закрепленного между прокладками) материала. Это важное свойство древесины должно быть правильно использовано в целях более качественной её сушки.

При уменьшении содержания в древесине связанной влаги, т. е. при влажности ниже 30%, начинает испаряться внутриклеточная влага и древесина усыхает. При наличии в древесине свободной влаги, когда её влажность превышает 30%, размеры клеток древесины сохраняются неизменными. Таким образом, предел гигроскопичности (30%) - это одновременно предел усушки древесины. Усушка и обратный процесс - набухание - неотъемлемые свойства природной древесины.

В связи с анизотропностью строения усушка древесины неодинакова в различных направлениях: по длине волокон она наименьшая (около 0,1% при удалении из древесины всей влаги). Только креновой древесине (выросшей в



наклонённом состоянии) свойственна большая продольная усушка (до 5%). Наибольшая усушка (до 8-12%) имеет место по направлению годовых слоев, т. е. в тангенциальном направлении. Усушка по радиусу ствола составляет 4-8%, т. е. почти в 2 раза меньше, чем по направлению годовых слоев. Древесина заболони усыхает несколько больше древесины ядра. Усушка по торцевой площади а также по объему сортимента, примерно равна сумме усушек по радиальному и тангенциальному направлениям. Например, если усушка по тангенциальному направлению 10%, а по радиальному 6%, древесина усохнет как в поперечном сечении, так и по объему примерно на 16%, независимо от формы кусков. Величина усушки древесины по объему примерно соответствует объему испарившейся из древесины связанной влаги. Так как древесина более плотных пород содержит в единице объема больше связанной влаги, она больше и усыхает. Следовательно, древесина дуба, клена, граба и т. д. характеризуется большей усушкой, чем древесина пихты, тополя, ольхи. Исключением из этого правила является усушка древесины осины и липы, что примерно соответствует усушке дуба. Для древесины липы характерна, кроме того, небольшая разница в величине радиальной и тангенциальной усушек, вследствие чего эту древесину предпочитают при изготовлении ответственных деталей, например в модельном производстве. Наоборот, у древесины кедра и пихты мала радиальная усушка по сравнению с тангенциальной (1 : 27).

В практике расчета сушильных установок применяют не зависящую от усушки условную плотность древесины  $\rho_y$  (кг/м<sup>3</sup>), под которой подразумевают отношение массы древесины в абсолютно сухом состоянии

$$m \text{ к ее объему } V \text{ при влажности выше } 30\%: \rho_y = \frac{m}{V} .$$

Значения условных плотностей и влажностных характеристик древесины основных древесных пород приведены в таблице № 4.

Используя понятие условная плотность удобно находить количество  $M$  (кг/м<sup>3</sup>) влаги, удаляемой из 1 м<sup>3</sup> древесины, несмотря на изменение при этом ее объема:  $M = \rho_y (w_n - w_k) / 100$ , где  $w_n$  - влажность древесины до сушки (%);  $w_k$  - влажность древесины после сушки (%). Величина усушки, отнесенная к 1% уменьшения количества связанной влаги, называется коэффициентом усушки, и обозначается буквой  $K$ .

Таблица №4

Порода	Плотность			Коэффициент усушки в % на 1 % влажности			Влажность древесины на корню	
	Влажн. 12%	Абс. сухая	Влажн. условная	Радиальная	Тангенциальная	Объёмн.	Ядровой	Заболонной
Берёза	630	600	500	0.28	0.34	0.64	78	78
Бук	650	620	530	0.18	0.35	0.55	64	64
Граб	800	760	630	0.24	0.35	0.61	60	60
Дуб	700	650	550	0.19	0.29	0.50	64	72
Ель	450	420	360	0.17	0.31	0.50	40	118
Кедр	440	410	350	0.12	0.28	0.42	70	115
Клён	690	650	550	0.20	0.32	0.54	51	51
Липа	500	470	400	0.23	0.33	0.58	63	60
Лиственница	660	630	520	0.20	0.39	0.61	82	82
Ольха	530	490	420	0.17	0.30	0.49	84	84
Осина	500	480	400	0.15	0.30	0.47	82	82
Пихта	380	350	30	0.12	0.31	0.44	101	101
Сосна	500	470	400	0.18	0.31	0.51	33	112
Тополь	460	430	360	0.14	0.28	0.44	110	110
Ясень	690	650	550	0.19	0.31	0.52	35	36

Процент усушки  $U$  по данному направлению определится умножением коэффициента усушки на величину уменьшения влажности в гигроскопическом состоянии (т. е. ниже 30%)  $U = K(30 - w_k)$  Например, тонкая, медленно высушиваемая сосновая доска шириной 200 мм, тангенциальной распиловки, с начальной влажностью выше 30% и конечной

10%, при  $K = 0,31$  усохнет на величину  $U = 0,31 (30 - 10) = 6,2\%$ , т.е. ее ширина в сухом состоянии будет 187,6 мм.

Большое значение для эффективного использования древесины имеют поперечные деформации пиломатериалов, проявляющиеся при сушке.

Вследствие большей усушки древесины в тангенциальном направлении, чем в радиальном, доски, выпиленные из бревна, приобретают после сушки вид показанный на рис. 2

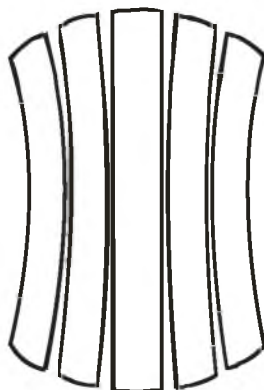


Рис. 2. Торцевой вид досок после их сушки.

## § 5. Режимы сушки пиломатериалов

Режимом сушки называется совокупность воздействий сушильного агента (воздуха) на материал, обеспечивающих заданное качество и скорость его сушки. Режимы сушки представляются в виде расписания температуры воздуха, его психрометрической разности и состояния материала, изменяющиеся в процессе сушки. Они предусматривают три этапа сушки и отображены в таблице №5.

В ней приняты следующие обозначения:

$T$  – температура воздуха в камере,  $t$  – разность температуры между сухим и мокрым термометром,  $\phi$  - влажность воздуха в камере

Таблица №5

R	Влажность древесины	Номер режима и влажность воздуха в камере φ %														
		1			2			3			4			5		
		T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ
А	≥ 30	90	4	85	82	3	88	75	3	87	69	3	87	63	2	91
	30 – 20	95	7	76	87	6	78	80	6	77	73	6	76	67	5	78
	≤ 20	120	32	32	108	27	35	100	26	35	91	24	36	83	22	36
Б	≥ 30	90	5	81	82	4	84	75	4	84	69	4	83	63	3	86
	30 – 20	95	9	70	87	8	72	80	8	70	73	7	72	67	6	75
	≤ 20	120	34	29	108	29	32	100	28	32	91	25	34	83	23	34
В	≥ 30	90	7	75	82	6	77	75	5	80	69	5	79	63	4	82
	30 – 20	95	11	65	87	11	66	80	9	66	73	8	69	67	7	71
	≤ 20	120	36	26	108	21	30	100	24	30	91	26	33	83	24	32
Г	≥ 30	90	9	69	82	8	71	75	7	73	69	6	76	63	5	78
	30 – 20	95	13	60	87	12	60	80	11	61	73	10	63	67	9	64
	≤ 20	120	37	25	108	33	27	100	31	27	91	28	30	83	25	30
Д	≥ 30	90	11	63	82	10	65	75	9	66	69	8	68	63	7	70
	30 – 20	95	15	54	87	14	55	80	13	55	73	12	56	67	11	58
	≤ 20	120	38	24	108	35	24	100	33	25	91	30	20	83	27	28

R	Влажность древесины	Номер режима и влажность воздуха в камере φ %														
		5			6			7			8			9		
		T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ	T	t	φ
А	≥ 30	63	2	91	57	2	90	52	2	90						
	30 – 20	67	5	78	61	5	78	55	4	80						
	≤ 20	83	22	36	77	21	36	70	20	35						
Б	≥ 30	63	3	86	57	3	85	52	3	89	47	2	90	42	2	89
	30 – 20	67	6	75	61	6	74	55	5	76	50	5	73	45	4	79
	≤ 20	83	23	34	77	22	34	70	21	33	62	18	36	57	17	36
В	≥ 30	63	4	82	57	4	81	52	4	80	47	3	84	42	3	83
	30 – 20	67	7	71	61	7	70	55	7	68	50	6	70	45	5	74
	≤ 20	83	24	32	77	23	32	70	22	31	62	19	33	57	18	34
Г	≥ 30	63	5	78	57	5	76	52	5	75	47	4	79	42	4	77
	30 – 20	67	9	64	61	9	62	55	8	64	50	7	66	45	6	69
	≤ 20	83	25	30	77	25	29	70	23	29	62	20	31	57	19	31
Д	≥ 30	63	7	70	57	6	72	52	6	71						
	30 – 20	67	11	58	61	10	59	55	9	60						
	≤ 20	83	27	28	77	26	27	70	24	27						

Таблица №6

ПОРОДА	Режим	Рекомендуемый режим сушки для различных толщин						
		до 20 мм	22-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
Сосна	М	6 - Д	6 - Г	7 - Г	7 - В	7 - В	7 - Б	7 - Б
Ель	Н	2 - Д	3 - Г	3 - В	4 - В	4 - Б	5 - Б	6 - Б
Кедр, пихта	Ф	1 - Д	1 - Г	1 - В	2 - В	2 - Б	3 - Б	-
Лиственница	Н	3 - В	4 - Б	5 - Б	5 - А	6 - А	8 - Б	9 - Б
Осина	Н	3 - Г	3 - Б	4 - Б	5 - В	6 - В	7 - В	8 - В
Липа, тополь	Ф	2 - Г	2 - Б	3 - Б	4 - В	-	-	-
Берёза	Н	3 - Д	4 - Г	4 - В	5 - В	6 - Б	7 - Б	8 - Б
Ольха	Ф	2 - Д	3 - Г	3 - В	4 - В	-	-	-
Бук	Н	4 - Г	5 - В	6 - В	6 - Б	7 - Б	8 - Б	9 - Б
Клён	Ф	2 - Г	3 - В	4 - В	-	-	-	-
Дуб	Н	5 - Г	6 - В	6 - Б	7 - Б	8 - Б	9 - В	9 - Б
Ильм	Ф	3 - Г	4 - В	5 - В	-	-	-	-
Орех	Н	5 - В	5 - Б	6 - Г	6 - Б	7 - В	8 - В	8 - Б
Ясень, граб	Н	6 - В	6 - А	7 - Б	8 - Б	8 - Б	9 - В	9 - Б

В таблице №6 буквами М, Н и Ф обозначены режимы сушки: мягкий, нормальный и форсированный соответственно, также приведены рекомендуемые режимы сушки различных пород древесины, которые выбираются в соответствии с Таблицей №5. В этой таблице в столбце **Р** большими буквами А, Б, В, Г и Д обозначены категории сушки, а во второй строке сверху цифрами указаны номера режимов. Рекомендуемый режим соответствующий данной категории состоит из девяти цифр, которые указывают температуру воздуха в камере, разность температуры между сухим и мокрым термометром и влажность воздуха при этих значениях температур. Указанные цифры находятся на пересечении строки категории сушки и столбца номера режима. Весь цикл сушки разделен на три этапа. Первый этап соответствует удалению свободной влаги и не связан с изменением размеров древесины за счёт её усушки. На втором и третьем этапе начинается удаление связанной внутриклеточной влаги, и этот этап

является наиболее ответственным. Нарушение режима сушки на этом этапе может привести к браку. Особо опасно нарушение режима на этих этапах при сушке твёрдых пород. При слишком интенсивной сушке верхние слои пиломатериалов начинают пересыхать, образуя жесткую корку, которая не только препятствует удалению влаги из пиломатериала, но не даёт сжиматься внутренним слоям древесины, которые просыхают медленнее и поэтому имеют больший коэффициент усушки. Такой режим приводит к появлению внутренних микротрещин, а следовательно к браку.

## **§ 6. Конструкции сушильных камер**

Основной задачей сушильных камер является обеспечение необходимой циркуляции сушильного агента с одновременным его подогревом и поддержанием заданной его влажности. Циркуляция сушильного агента может осуществляться двумя путями или за счёт естественной конвекции, или путём принудительной продувки штабеля, когда при помощи вентилятора создаётся избыточное давление с одной стороны штабеля и пониженное – с другой. Естественной конвекцией называется процесс, когда в гравитационном поле более тёплый воздух за счёт меньшего удельного веса поднимается вверх, а более холодный – опускается вниз. При использовании естественной конвекции калориферы устанавливаются под штабелем, а сам штабель укладывается так, чтобы между досками были достаточно большие шпации допускающие возможность свободного прохождения потоков сушильного агента. Для поддержания необходимой влажности воздуха в такой камере в нижней и верхней её части устанавливаются регулируемые приточные и вытяжные вентиляционные отверстия. Регулируя их сечение, добиваются желаемого режима работы. Схема такой камеры показана на рис. 3. На практике регулируемым может быть только вытяжное отверстие, в то

время как нижнее может быть всегда открыто. Поскольку удельный вес тёплого влажного воздуха больше чем холодного, через нижнее отверстие воздух выходить не будет, и вентиляция камеры может регулироваться только вытяжным отверстием.

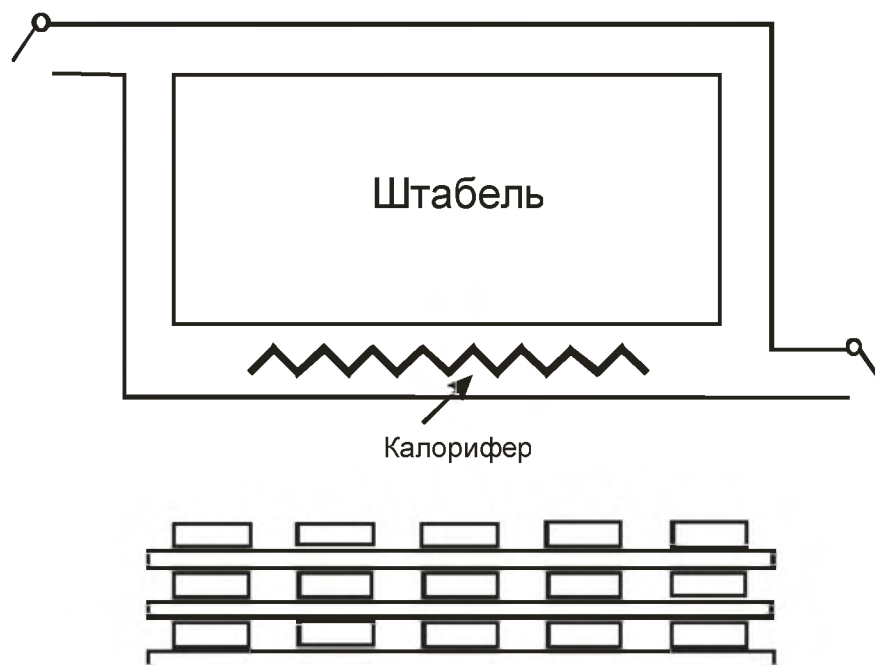


Рис. 3. Схема сушильной камеры с естественной конвекцией и принцип укладки штабеля.

В нижней части рисунка показан принцип укладки штабеля. Размер шпаций между досками зависит от высоты штабеля, и чем он выше, тем их ширина должна быть больше. Обычно ширину шпаций выбирают в пределах полуширины доски. При таком способе сушки должны быть обеспечены значительные зазоры между стенками камеры и штабелем, их ширина с обеих сторон должна составлять полуширине суммы ширин шпаций. Такие широкие зазоры необходимы для осуществления свободной конвекции сушильного агента в зоне расположения досок. У камер такой конструкции существует два основных недостатка. Они имеют очень малый коэффициент загрузки (отношение объёма загруженной древесины к объёму самой камеры). Это коэффициент составляет порядка 0.1. Вторым

недостатком является то, что в связи с малой скоростью конвекционных потоков в таких камерах трудно обеспечить жесткие режимы сушки мягких пород древесины. Преимуществом является простота изготовления и надёжность работы. Преимуществом является и то, что в такой камере могут укладываться сразу несколько штабелей по длине досок и это не ухудшает параметры сушки.

Гораздо более эффективными являются камеры с принудительной продувкой штабеля, когда такая продувка осуществляется при помощи вентиляторов. Одна из главных задач, которая стоит перед конструкторами таких камер, является максимально эффективная продувка штабеля при минимальных расходах электроэнергии. Существует очень большое количество модификаций таких камер, схемы работы которых, приведены ниже.



Рис. 4. Схемы продувки штабеля.

Существует две схемы продувки штабеля: поперечная и продольная. Они показаны на рис. 4. На этих схемах направление продувки показано стрелками. Верхняя позиция на рис. 4 соответствует продольной продувке, когда воздух движется вдоль досок. При этом между досками должны соблюдаться шпации в сумме равные  $\sim 20\%$  общей ширины досок, поскольку в противном случае прокладки между досками будут



препятствовать прохождению воздуха между слоями досок. Такой способ может использоваться только при небольшой длине досок и при наличии в камере не более двух штабелей. Нижняя позиция на рисунке соответствует поперечной продувке. Это более эффективный способ продувки, и при его использовании доски могут укладываться вплотную. При продольной продувке коэффициент укладки оказывается выше, поскольку между стенками камеры и штабелем не нужны зазоры для прохождения воздуха, и такой способ укладки при мелком производстве проще. При таком способе укладки коэффициент загрузки может быть доведён до значений  $\sim 0.25$ . В случае поперечной продувки между боковыми стенками и штабелем должен соблюдаться зазор, что и уменьшает коэффициент загрузки. Оптимальное сечение прокладок составляет 30X40 мм.

Существует очень большое количество модификаций камер с принудительной продувкой, наиболее распространённые схемы которых, приведены ниже.



Рис. 5. Схема с верхним расположением вентилятора.

Схема камеры с верхним расположением вентилятора показана на рис. 5. Нагревательные элементы при такой продувке могут располагаться как в верхней её части, так и по бокам. Такая конструкция обладает следующими недостатками. Во-первых, вентилятор располагается в зоне горячего и влажного воздуха, поэтому конструкция применяемого двигателя должна удовлетворять таким условиям эксплуатации. Недостатком такой продувки

является и то, что трудно устранить боковые каналы прохождения воздуха, особенно при поперечной продувке штабеля. Кроме этого, во время сушки высота штабеля меняется за счёт усушки древесины и между перегородкой, которая разделяет зоны с различным давлением воздуха и верхним краем штабеля образуется зазор. Также при ручной укладке штабеля непосредственно в камере легко повредить и вентилятор и перегородку.

Более рациональными схемами продувки являются те, при которых электродвигатель находится вне зоны камеры. Один из вариантов такой продувки показан на рис . 6.

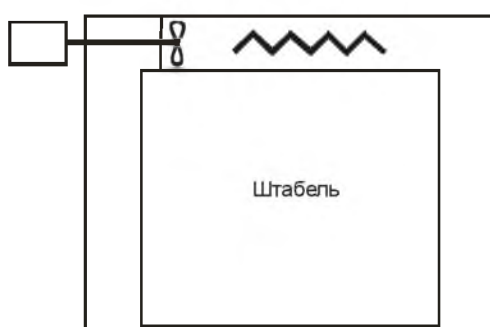


Рис. 6. Схема камеры с внешним расположением двигателя.

Такая схема обладает тем преимуществом, что может быть использован любой двигатель. Однако существенным недостатком является наличие удлинительного вала, один из подшипников которого всё равно находится внутри камеры. Во всех этих конструкциях используются осевые вентиляторы, которые по своим параметрам уступают центробежным вентиляторам.

Рациональной схемой продувки является схема, при которой и двигатель и вентилятор находятся вне зоны камеры. При этом нагревательный элемент может находиться как в зоне камеры, так и за её пределами. Схемы такой продувки изображены на рис. 7, 8.



Рис. 7. Камера с внешним расположением вентилятора.

При такой конструкции двигатель и центробежный вентилятор (на рисунке обозначен цифрой 1) располагаются за пределами камеры. Некоторым недостатком такого способа продувки является то, что требуются дополнительные каналы для подачи в камеру воздуха и его возврата обратно к вентилятору, которые требуют дополнительной теплоизоляции. Дополнительные стыки каналов с самой камерой, также являются её технологическим недостатком. Существенным преимуществом является то, что при уменьшении высоты штабеля не образуются дополнительные щели между зонами с различным давлением. Это достигается при помощи покровного щита, который укладывается поверх штабеля. При изменении размеров штабеля, кромки щита скользят по торцевой и боковым стенкам камеры, не создавая дополнительных щелей для обратного перетока воздуха. Для более плотного прилегания щита к стенкам камеры, на его кромки могут быть прикреплены полосы листовой резины. Для удобства размещения щита он может быть изготовлен из нескольких отдельных секций, задвигаемых последовательно.

Схема камеры при внешнем расположении двигателя, не требующая дополнительного вала, для передачи вращения в камеру, при которой центробежный вентилятор расположен в самой камере, показана на рис. 8. Нагревательные элементы при такой конструкции располагаются в самой

камере между стенкой камеры и перегородкой, отделяющей вентиляторный отсек от штабеля.

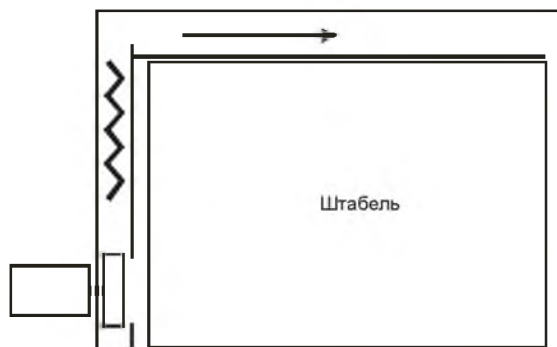


Рис. 8. Камера с внешним расположением двигателя и внутренним расположением центробежного вентилятора.

Камера, изображенная на рис. 8, обладает рядом преимуществ, по сравнению с рассмотренными выше вариантами. Центробежный вентилятор насажен непосредственно на ось двигателя и расположен внутри камеры, в то время как сам двигатель находится за её пределами. Имеется достаточно большое пространство для расположения нагревательных элементов, которые за счёт эффективной продувки обеспечивают хороший теплообмен с сушильным агентом. При изменении высоты штабеля покровный щит предотвращает боковые каналы прохождения воздуха, обеспечивая высокую эффективность продувки штабеля. Недостатком конструкции является то, что в случае выхода из строя двигателя во время работы камеры приходится выгружать из неё древесину, чтобы снять центробежный вентилятор с оси двигателя.

Объём продуваемого воздуха через штабель на каждые  $10 \text{ м}^3$  древесины должен составлять в зависимости от режима сушки от 3 до 10 т в час. Определить этот объём можно, зная мощность нагревателя и разницу температуры воздуха перед нагревателем и после него. Поскольку теплоёмкость воздуха составляет  $1 \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$ , то массовый расход воздуха при

известной мощности нагревателя  $P(\text{кВт})$  и разности температур  $\Delta T$  определяется по формуле

$$m = \frac{P}{\Delta T} (\text{кг} / \text{с})$$

Такие измерения особо просто выполнить, если в качестве нагревателя используется электрический тэн с известной мощностью.

Электрическая энергия для подогрева воздуха может использоваться не только для разогрева тэнов. Существуют так называемые аэродинамические камеры, в которых вентиляторы выполняют две функции, осуществляют продувку штабеля и превращают механическую энергию в тепловую. Мощность такого нагревателя равна мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора с учётом КПД двигателя. Так если КПД двигателя составляет 80% , то в аэродинамическом варианте, он является нагревателем с таким же КПД. Поэтому очень важно научиться использовать аэродинамический способ подогрева воздуха таким образом, чтобы полностью использовать ту энергию, которую потребляет двигатель. Для этих целей можно использовать дополнительный подогрев воздуха, всасываемого в камеру из атмосферы, пропуская его вдоль кожуха двигателя. Такой вариант показан на рис. 9.

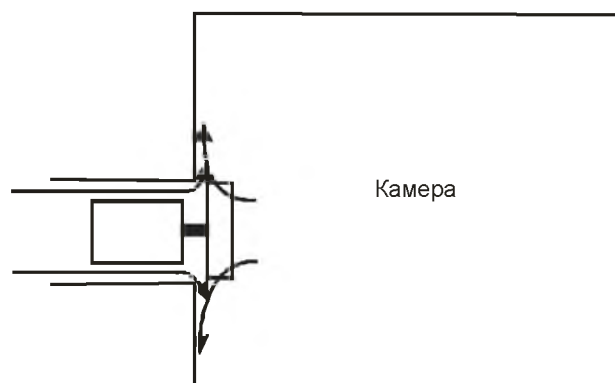


Рис. 9. Использование эффекта Бернулли для подсоса воздуха в камеру.

Известно, что давление в движущемся потоке газа или жидкости меньше, чем в окружающем поток неподвижном газе. Поэтому движущийся поток подсасывает газ из окружающей среды. Этот эффект называется эффектом Бернули. На рис. 9 показано, как этот эффект можно использовать для подсоса в камеру воздуха из атмосферы. Центробежный вентилятор создаёт потоки воздуха как показано на рисунке. Эти потоки и подсасывают воздух из атмосферы. Проходя вдоль кожуха двигателя, он отбирают у него ту тепловую энергию, которая не расходуется на вращение вентилятора. Этот эффект, как будет показано ниже, может быть использован и для подсоса воздуха в обычных сушильных камерах.

Экономия энергии может быть достигнута путём применения рекуператоров, когда выбрасываемый из камеры подогретый воздух отдаёт свою энергию воздуху, всасываемому из атмосферы. Принцип действия рекуператора показан на рис. 10.

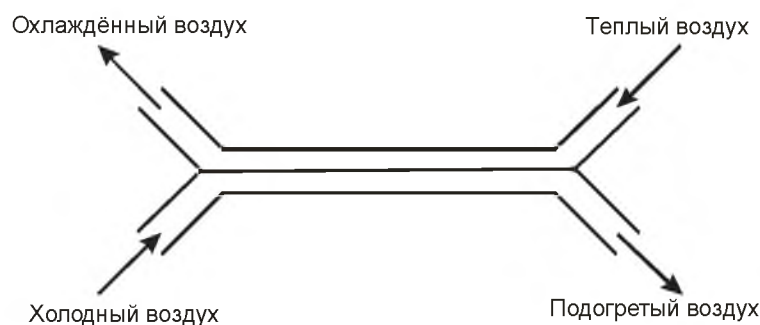


Рис. 10. Схема действия рекуператора.

В рекуператоре существуют два встречных потока воздуха, один – тёплый воздух, поступающий из камеры, а другой – холодный воздух, всасываемый в камеру из атмосферы. Проходя по каналам, которые имеют общую теплопроводящую стенку, теплый воздух отдаёт свою энергию встречному потоку холодного воздуха, подогревая его. В практике используются рекуператоры различных конструкций, самый простой из них – кожухотрубный. Он состоит из трубы большого диаметра, через которую

проходят трубки меньшего диаметра. Через эти трубы (большого и малого диаметров) пропускают воздух во встречном направлении, как указано на рис. 10. По этому принципу построен паровой котёл паровоза. Кожухотрубные теплообменники используются в тех случаях, когда по трубам нужно пропускать газ под большим давлением, которого нет в сушильных камерах. В этом случае можно использовать простейшие теплообменники, состоящие всего из двух плоских труб прямоугольного сечения, у которых теплообмен осуществляется через общую перегородку. Применение рекуператоров даёт экономию в расходе энергии до 30%.

Осуществление процесса сушки связано с тем, что часть влажного подогретого воздуха, продуваемого через штабель, выбрасывается наружу, унося с собой влагу, испарившуюся из древесины. Для этих целей в камерах устанавливается дополнительный маломощный вытяжной вентилятор, осуществляющий эту операцию. Подбором мощности нагревателя регулируют температуру в камере, а путём нормированного выброса из камеры влажного воздуха регулируют относительную его влажность в камере. Используя эти две операции, добиваются тех режимов, которые указаны в таблице №6.

## **§ 7. Универсальная лесосушильная камера**

Описанные методы сушки древесины, предусматривающие три её этапа, не поддаются автоматизации и требуют постоянного вмешательства оператора. Более того, любое нарушение режима, может привести к непоправимым последствиям, цена которых очень велика, т. к. древесина, особенно твёрдых пород, стоит не дёшево. Сейчас мы подробно опишем полностью автоматизированную камеру, которая за весь цикл работы не

требует вмешательства оператора. Причём в камере с одинаковым успехом можно сушить как мягкие, так и твердые породы древесины. Такие камеры эксплуатируются нами и нашими заказчиками более 10 лет, и в них не было серьёзных поломок. В нескольких камерах пришлось заменить вышедшие из строя двигатели, но это не наша вина, а вина изготовителей двигателей.

При конструировании любого сложного изделия всегда приходится встречаться с необходимостью выполнения противоречивых требований и находить между ними компромисс. Известно, что любое универсальное изделие, способное выполнять несколько функций, всегда сложнее и менее надёжно, чем однофункциональное устройство. И редко удаётся достигнуть такого компромисса, чтобы это было не так. Описанная камера представляет тот редкий случай, когда это сделать удалось.

Сформулируем основные задачи, которые ставились при разработке указанной камеры:

1. Первое и главное условие — это получение высококачественной сухой древесины, обладающей заданной влажностью, отсутствие в ней наружных и внутренних трещин при отсутствии коробления и поволок сортамента. Эти условия соответствуют первой категории сушки.
2. Простота в эксплуатации и независимость режима от возможных отключений электроэнергии. Это требование особенно важно при эксплуатации камер в сельской местности, где такие перебои не редкость.
3. Простота изготовления не требующая специализированного оборудования и дорогих комплектующих.
4. Простота сборки и разборки, и возможность перевозки в разобранном состоянии на грузовой машине.
5. Простота замены всех комплектующих, вышедших из строя в процессе эксплуатации, без выгрузки из камеры древесины.



6. Соответствие экологическим требованиям по отношению к той местности, где камера используется, а поскольку камеры могут использоваться в жилой зоне, то это соблюдение шумовых характеристик и отсутствие вредных выбросов.

7. Камера должна быть пожаробезопасна и это одно из важнейших требований.

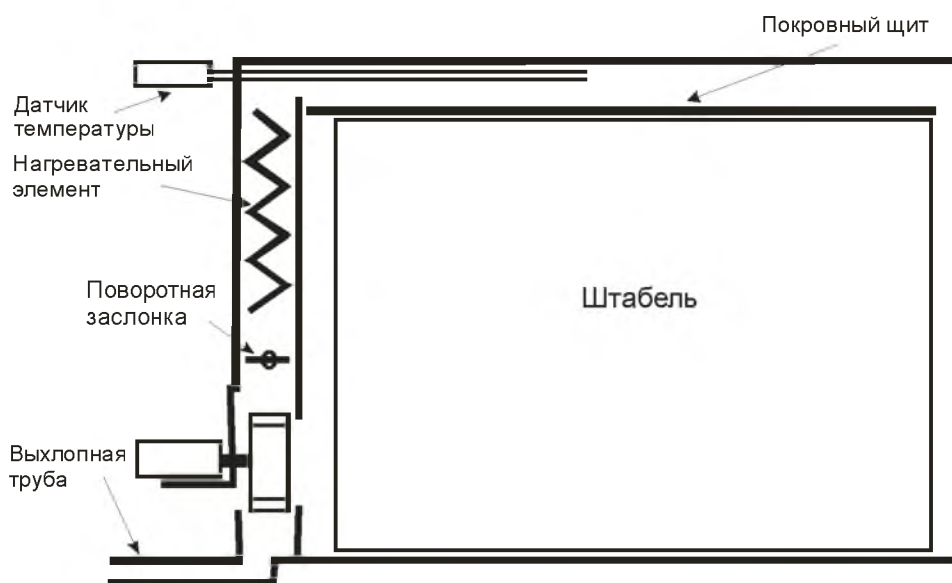


Рис. 11. Схема универсальной сушильной камеры.

В литературе саму коробку камеры принято называть ограждениями и в дальнейшем мы будем пользоваться этой терминологией.

Вначале нарисуем общую схему камеры (рис 11), а потом опишем её отдельные узлы и способы их изготовления.

На задней торцевой стенке камеры установлен двигатель, на ось которого насажен центробежный вентилятор типа беличье колесо. Отверстие в задней стенке выполнено такого диаметра, чтобы через него походило колесо вентилятора. Такая конструкция позволяет извлекать вентилятор и двигатель в случае выхода из строя двигателя, не выгружая из камеры древесину. Часть этого отверстия перекрывает Г-образная заслонка, прилегающая к стенке

камеры. Нижняя часть заслонки делается из стали толщиной 5-7 мм и на ней же крепится двигатель. Эта заслонка при помощи уголков крепится к торцевой стенке камеры. Вертикальная часть заслонки изготавливается из листовой нержавеющей стали толщиной 0.5 мм. Если смотреть на двигатель с торцевой стороны, то под Г – образной заслонкой видна полукруглая часть отверстия, через которое вставляется колесо вентилятора. Во время работы вентилятора через это отверстие происходит подсос воздуха из атмосферы. Принцип действия такого подсоса показан на рис. 9. Для регулировки интенсивности подсоса это отверстие закрывается планкой с отверстиями (на схеме она не показана), которые могут закрываться пробками. Подбором количества открытых отверстий устанавливается необходимый подсос воздуха из атмосферы. Схема такой планки показана на рис. 12.



Рис. 12. Планка с отверстиями.

В планке имеется 5 отверстий диаметром 30 мм.

В нижней части торцевой стенки имеется выхлопная труба, через которую осуществляется выброс влажного воздуха. Труба должна изготавливаться из нержавеющей стали алюминия или пластмассы, поскольку при сушке дуба конденсат, образующийся в трубе, содержит дубильные кислоты, которые разрушают обычную сталь. Диаметр трубы 60-70 мм. Устанавливать её следует с некоторым наклоном вниз, чтобы образующийся в ней конденсат не попадал обратно в камеру. Внешнюю часть трубы следует утеплить, чтобы в очень холодную погоду она не перемерзала. Высота фундамента камеры выбирается таким образом, чтобы внешний конец выхлопной трубы был выше уровня почвы. С этой целью перед заливкой фундамента и с целью

экономии используемого расходного материала можно насыпать земляную подушку толщиной ~ 10-15 см., предварительно утрамбовав её.

Поскольку в данной конструкции воздух в камеру нагнетается, то при непринятии соответствующих мер, может приходиться в негодность арматура и термоизоляция ограждений. При повышенном давлении в камере влажный воздух через неконтролируемые щели во внутренней обшивке может проникать в межстенное пространство, там будет конденсироваться влага, которая может портить арматуру ограждений. Влагой также будет напитываться термоизоляционный материал, теряя свои свойства. В данной конструкции эта проблема решается при помощи поворотной заслонки. Поворачивая её, можно создавать дополнительную преграду воздушному потоку, циркуляцию которого обеспечивает вентилятор. Поэтому самое высокое давление воздуха будет наблюдаться в вентиляторном отсеке, где расположено колесо вентилятора. Во всех же остальных частях камеры, давление воздуха будет ниже, чем в этом отсеке. Но поскольку указанный отсек соединён с атмосферой при помощи выхлопной трубы и имеет атмосферное давление, то давление во всех внутренних частях камеры будет ниже атмосферного.

Поворот заслонки должен подбираться таким образом, чтобы он перекрывал примерно  $1/3$  площади поперечного сечения вентиляторного отсека. Такая заслонка нужна ещё и для того, чтобы обеспечивать равномерный обдув тэнов или нагревателей, расположенных в верхней части вентиляторного отсека. В случае её отсутствия прямые потоки воздуха, отбрасываемые центробежным вентилятором, неравномерно обдувают тэн. В тех местах, где лента тэна расположена в непосредственной близости к колесу вентилятора, интенсивный обдув может приводить к её вибрации, что при длительной эксплуатации может привести к её порыву. С целью упрощения заслонку можно сделать и стационарной, прикрепив её к задней стенке камеры, или к щиту, отделяющему камеру от вентиляторного отсека.

Таким образом, один вентилятор выполняет сразу четыре функции: осуществляет продувку штабеля, подсасывает воздух из атмосферы, обеспечивает выброс влажного воздуха в атмосферу и пониженное давление в самой камере.

Над заслонкой устанавливаются нагревательные элементы, которыми могут быть как электрические тэны, так батареи водяного нагревательного котла.

В верхней части камеры установлен датчик температуры, который обеспечивает автоматическую её работу. Его конструкцию и принцип действия мы рассмотрим, когда будем описывать режим работы камеры.

Схему работы камеры мы рассмотрели, теперь опишем конструкцию её отдельных узлов и элементов. И начнём с ограждений, представляющих герметизированный теплоизолированный бокс, внутренняя и внешняя обшивка которого должна соответствовать определённым требованиям. Внешняя обшивка должна быть долговечной, не требующей постоянного ухода и выдерживать воздействие внешней среды (дождь, морозы, воздействие лучей солнца). К внешней обшивке не предъявляется требование герметичности. Внутренняя обшивка должна быть герметичной и выдерживать воздействие агрессивных сред, которыми являются пары дуба, содержащие дубильные кислоты. Между внешней и внутренней обшивкой должен размещаться теплоизоляционный материал, обеспечивающий высокую теплоизоляцию. Не следует увлекаться чрезмерно высокими теплоизолирующими свойствами этого слоя, т.к. это приводит к удорожанию камеры. Теплоизоляционные свойства подбираются так, чтобы расходы энергии за счёт ухода тепла во внешнюю среду при самых сильных морозах составлял ~2% от общих расходов энергии необходимой для осуществления процесса сушки. В данной камере использован пенопласт толщиной 40 мм, который укладывается между обшивками камеры в два слоя. Приспособление для резки пенопласта приведено в Приложении №1.

Рассматриваемая камера может иметь два габаритных размера: 3000x3000x4500 и 3000x3000x7500 мм. Первый габарит предназначен для сушки древесины общим полезным объёмом 8 м<sup>3</sup> и длиной сортамента 3 м, при этом в камере размещается один штабель и используется продольная продувка. При втором габарите в камере размещается последовательно два штабеля такого же сортамента. Требование быстрой сборки камеры и возможность перевозки на грузовой машине заставляет элементы ограждений делать блочными. Каркасы этих блоков изготавливаются из сосновой доски с сечением 30x140 мм. Одна из досок боковых стенок камеры, к которой прилегает дверь камеры, выполняется из дубовой доски с сечением 50x140. На этой доске крепятся гайки, используемые для плотного прижатия двери к кромке камеры. Потолочные блоки изготавливаются по такому же принципу.

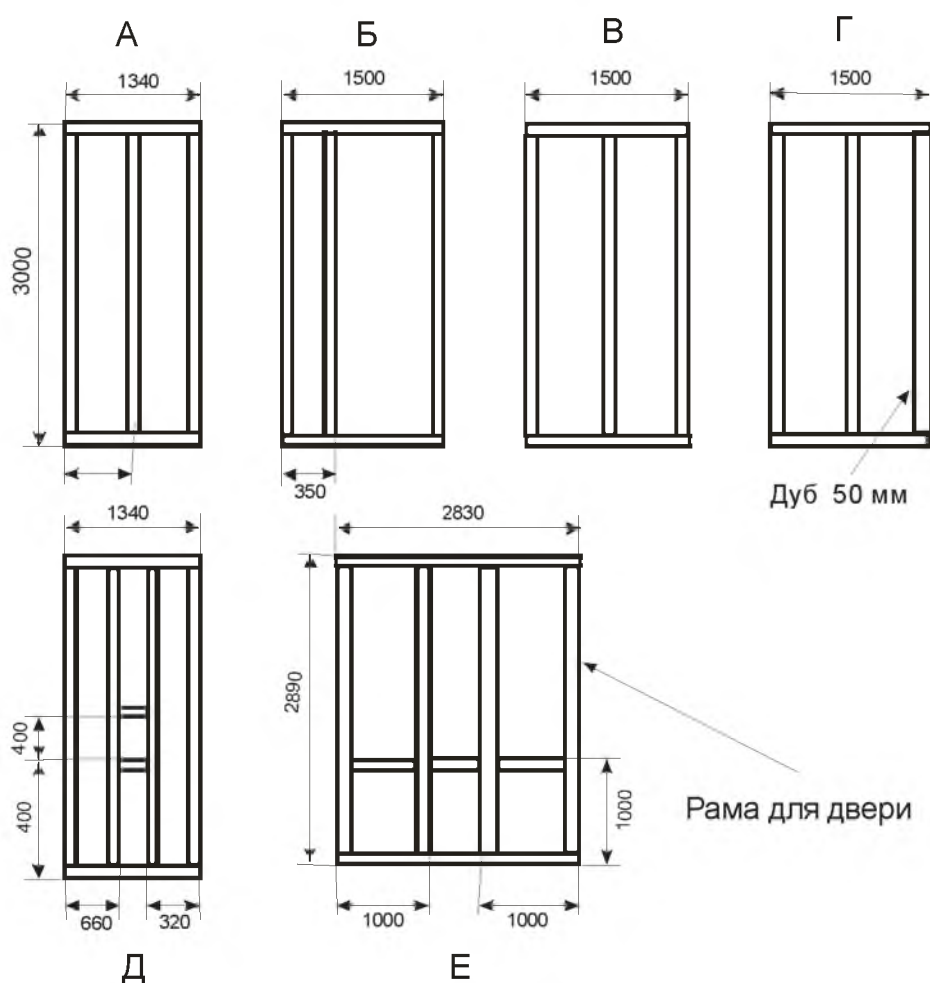


Рис. 13. Эскизы рам для изготовления стен, потолка и двери камеры.

Эскизы всех блоков входящих в комплектацию приведены на рис. 13. Во всех блоках имеется центральная перегородка, необходимая для жесткого крепления листов внутренней и внешней обшивки.

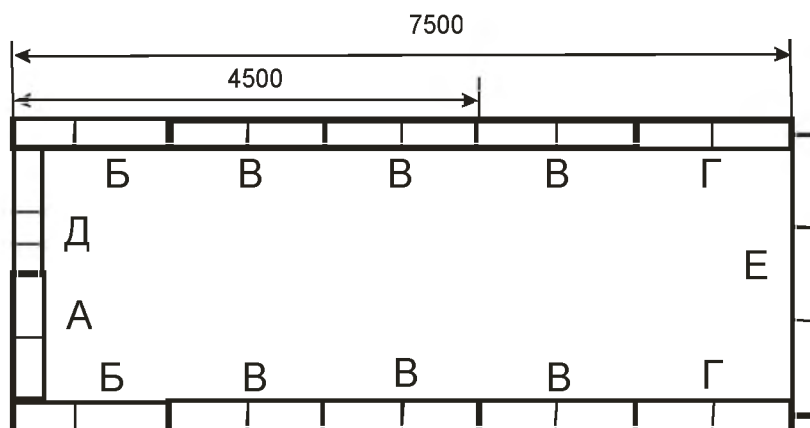


Рис. 14. Последовательность установки блоков камеры.

На рис. 14 показана последовательность установки блоков ограждений (вид сверху). Тонкими линиями на блоках указано расположение перегородок. Блоки боковых стен устанавливаются зеркально. Это нужно учитывать при их изготовлении. Блок Г монтируется таким образом, чтобы дубовая доска прилежала к двери. В случае камеры длиной 4500 мм два первых стеновых блока со стороны двери не монтируются. Все секции потолка камеры монтируются из блоков типа В. Исключение составляет секция, прилегающая к двери, для этой секции используется блок Г, повернутый дубовой доской к двери.

Рамы и перегородки в них изготавливаются из сосновой доски сечением 30x140 мм. Доски используются без предварительной простружки. При вырезке досок желательно использовать оправки, т.к. даже незначительные отклонения от размера существенно усложняют сборку. Размеры рам блоков подобраны таким образом, чтобы в них в качестве внешней и внутренней

обшивки можно было использовать листовой шифер с размером 1500x3000. При этом следует учитывать то обстоятельство, что сами листы не являются точными прямоугольниками, а представляют параллелограмм. Поэтому перед обшивкой блоков следует отторцевать листы таким образом, чтобы их диагонали были одинаковы. При этом длина листа может несколько сократиться, что нужно учесть при изготовлении рам. Поэтому размер рам по длине, указанный на эскизах является справочным. Листы к рамам крепятся при помощи шурупов. При сверлении отверстий под шурупы следует диаметр отверстия выбирать на 2 мм больше, чем диаметр шурупа. Это необходимо для того, чтобы избежать разрыва шифера при изменении его размера при изменении температуры в камере. Зеньковка под головку шурупа должна производиться так, чтобы при его завинчивании её верхняя кромка была ниже плоскости шифера. После сборки блока и завинчивания крепёжных шурупов зеньковка заделывается герметиком, это необходимо для того, чтобы агрессивные пары дуба не разрушали шуруп.

Во избежание канцерогенного влияния внутренней шиферной обшивки на древесину камера изнутри окрашивается нитрокраской. При сборке камеры все возможные щели между блоками также заделываются при помощи герметика, для этих целей используется белый или прозрачный силиконовый герметик.

Пространство между внутренней и внешней обшивкой заполняется теплоизоляцией. Для этого используется пенопласт толщиной 40 мм, который укладывается в два слоя. При вырезке и укладке пенопласта следует следить за тем, чтобы стыки пенопласта в нижнем и верхнем слое не совпадали. Это необходимо по той причине, что при длительной работе пенопласт может давать усадку, и если это правило не соблюдать, то сквозные швы ухудшают теплоизолирующие свойства теплоизоляции.

Можно использовать и другие материалы для внутренней и внешней обшивки. Например, внутренняя обшивка может быть выполнена из листов

нержавеющей стали, или алюминия, что существенно удорожает камеру. При использовании такой обшивки и типоразмеры блоков могут быть изменены с целью более рационального использования стандартных типоразмеров листов. Важно только, чтобы габаритные размеры камеры не сильно выходили за указанные пределы.

Важным элементом ограждений является дверь камеры, она является передней её торцевой стенкой. Дверь должна легко открываться, и при открытии обеспечивать беспрепятственную загрузку камеры пиломатериалами. При закрытии она должна обеспечивать надёжную герметизацию камеры. Для этого используется армированный резиновый шланг высокого давления диаметром 20 мм, применяемый в гидравлических системах. Он крепится при помощи П-образных проволочных скобок, выполненных из нержавеющей стали. Диаметр проволоки 2 мм. При помощи этих скобок шланг крепится по периферии дверной рамы, как показано на рис. 15. Для этого в месте забивания скобок, в шланге делается продольный разрез по ширине скобки. При таком способе крепления шланг остаётся эластичным на всём его протяжении и обеспечивает герметичное прилегание двери к торцевым блокам камеры при её закрытии.

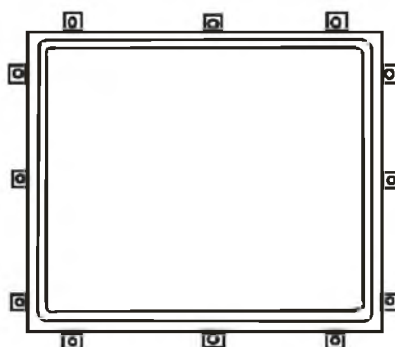


Рис. 15. Схема крепления уплотняющего шланга и уголков затяжки двери.

На рис. 15 показаны также уголки, которые крепятся к боковым торцам двери при помощи шурупов (маленькие квадратики по бокам двери). В этих



уголках, вырезанных из уголка 50, имеются отверстия диаметром 25 мм, через которые проходят стальные болты с резьбой М-16, при помощи которых дверь притягивается к торцу камеры. Напротив этих отверстий к торцам блокам стен и потолка камеры крепятся ответные гайки, в которые и завинчиваются затяжные болты. Эти гайки представляют квадраты 20 х35х50, по центру которых нарезается резьба М-16, а по краям имеется четыре отверстия, с помощью которых шурупами гайка крепится к дубовой доске стенных и потолкового блока. Операция крепления гаек должна производиться при помощи оправок, т.к. несоосность резьб в гайках и отверстий в уголках не даст возможность завинтить затяжные болты после закрытия двери.

Петлями двери, на которых осуществляется её подвеска, служат планшайбы, привинчиваемые к верхнему и нижнему торцу двери при помощи шурупов. Эти планшайбы стыкуются с ответными уголками, которые крепятся к боковым стенкам камеры. В планшайбах и уголках имеются отверстия, через которые проходят крепёжные болты. Отверстие в планшайбах делается овальными, как показано на рис 16. Такая форма отверстия необходима по той причине, что при затяжке болтов, прижимающих дверь к торцу камеры, происходит усадка герметизирующего шланга, поэтому петли должны иметь соответствующую степень свободы. Схема верхнего и нижнего узла подвески двери к стенке камеры показана на рис. 16.

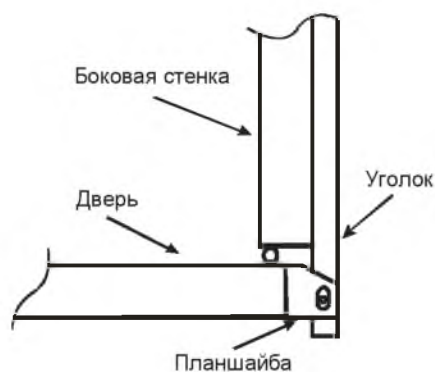


Рис. 16. Узел подвески двери к стенке камеры.

Камера устанавливается на фундаменте, который представляет плиту из керамзитобетона толщиной 7-10 см. размеры которой выбираются таким образом, чтобы её кромки выходили за края камеры на 5-10 см. При отсутствии керамзитобетона в качестве материала для фундамента может быть использован цементный раствор с соотношением цемента к песку 1:6. Для укладки фундамента не требуется особой подготовки почвы, площадка должна быть очищена от травы и нивелирована так, чтобы имелся небольшой наклон в сторону двери камеры. Такой наклон даёт возможность вытекать конденсату, который на первых этапах работы камеры конденсируется на фундаменте.

В нижней части переднего торца камеры в створе с этим торцом крепиться дубовая доска толщиной 50 мм (рис. 17).

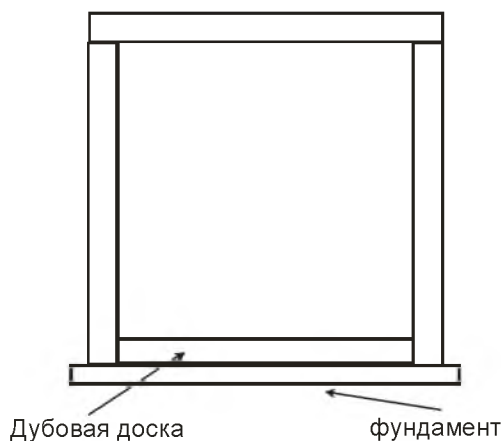


Рис. 17. Вид камеры на фундаменте со стороны двери.

К этой доске крепятся гайки для болтов затяжки нижней части двери.

Первый ряд прокладок, на которые укладывается штабель на фундамент, имеет толщину не менее 70 мм, сечение остальных прокладок 30x40 мм. Первый штабель укладывается так, чтобы между ним и перегородкой, за которой расположен вентиляторный отсек, оставался зазор не менее 200 мм.

Рассмотрим схему установки вентилятора в блоке Д. В качестве вентилятора используется центробежный вентилятор типа беличье колесо с диаметром колеса 315 мм, которое насажено на ось двигателя. Двигатель установлен на стальной платформе 5х360х400, как показано на рис. 19 слева. Вид компоновки сзади показан на правом рисунке. Между двигателем и колесом установлена Г – образная перегородка, выполненная из листовой нержавеющей стали, которая крепится к платформе при помощи болтов. Размер перегородки 300х355 мм. Двигатель устанавливается в проёме блока Д. Вид проёма показан на рис. 20 А. В месте проёма во внутренней обшивке камеры имеется отверстие по диаметру колеса вентилятора. Имеются также боковые уголки, на которых устанавливается и крепится платформа двигателя. Когда по этим уголкам, как по салазкам, вентилятор задвигается на установочное место, колесо вентилятора, оказывается внутри камеры, а Г – образная перегородка закрывает большую часть отверстия для колеса вентилятора. Остаётся только часть открытого отверстия под платформой. Через это отверстие и происходит подсос воздуха в камеру. Для регулировки интенсивности подсоса под платформой устанавливается планка с отверстиями, показанная на рис. 12. Отверстия могут затыкаться различным количеством пробок, чем и регулируется интенсивность подсоса.

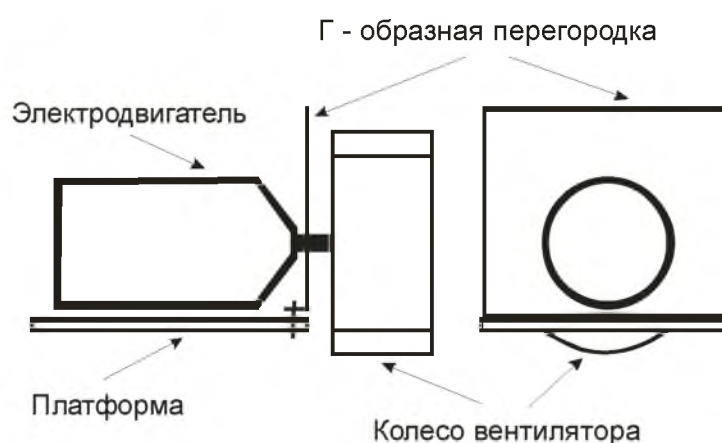


Рис.19. Компоновка вентилятора на платформе.

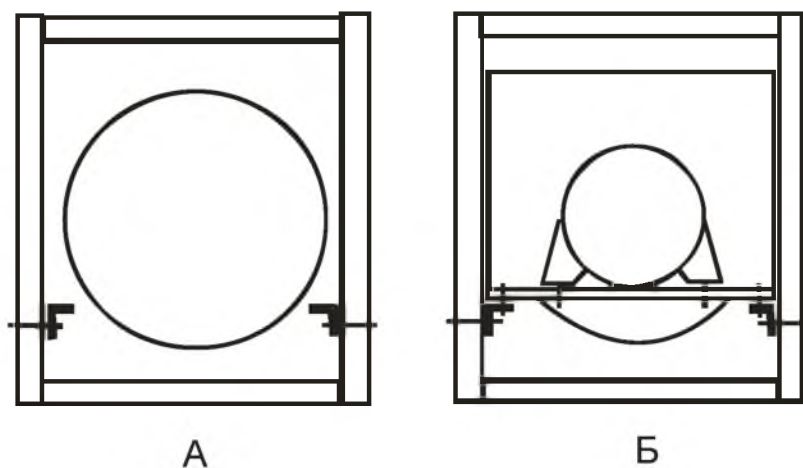


Рис. 20. Проём для установки вентилятора (вид А) и установленный в проёме вентилятор (вид Б).

В качестве нагревательных элементов в камере могут использоваться как батареи, питаемые от газового водогрейного котла, так и электрические тэны. В качестве водяных нагревательных элементов лучше всего использовать стальные трубки, опресованные алюминиевым спиральным оребрением. Такие трубки выпускаются промышленностью и из них можно монтировать батареи. Камера может быть снабжена и электрическими нагревателями – тэнами. Нежелательно использование заводских тэнов, которые нагреваются до высоких температур, а это пожароопасно.

Для эффективной сушки нагреватели должны обеспечивать примерно 1 кВт мощности на каждый кубический метр древесины при сушке твёрдых пород и вдвое больше при сушке мягких.

Приведём параметры и конструкцию эффективного пожаробезопасного нагревателя, выполненного из ленточной нержавеющей стали 12Х18Н10Т (можно использовать и другие марки). Для этого необходима лента толщиной 0.3 мм при ширине 20 мм. При наличии в камере штабеля с объёмом 8 м<sup>3</sup> для обеспечения мощности нагревателя 8 кВт сопротивление ленты должно составлять 6 Ом, при этом её длина составит 30 м. К сожалению, такую ленту промышленность не выпускает и её приходится

вырезать вручную из рулонного сортамента. Если в камере располагается два штабеля, то следует установить два таких тэна.

Для сушки мягких пород, где требуется увеличить мощность нагревателей примерно в два раза, тэны включаются между фазами, что даёт такое увеличение мощности. Температура ленты такого нагревателя при указанной мощности не превышает 200 градусов, что полностью пожаробезопасно, т.к. сухая древесина начинает обугливаться только при температуре 350 градусов. Кроме того, тэны устанавливаются между двумя шиферными перегородками и непосредственного контакта с древесиной иметь не могут.

Лента тэнов располагается на держателях (крюках) зигзагообразным образом, как показано на рис. 21. Шиферные пластины, к которым прикреплены крюки, крепятся к верхнему и нижнему уголку при помощи полосок из листовой нержавеющей стали. Концы тэнов припаяны к ламелям из листовой меди, к этим же ламелям припаяны и сетевые провода, которые через отверстия в стенке камеры уходят на распределительный щит.

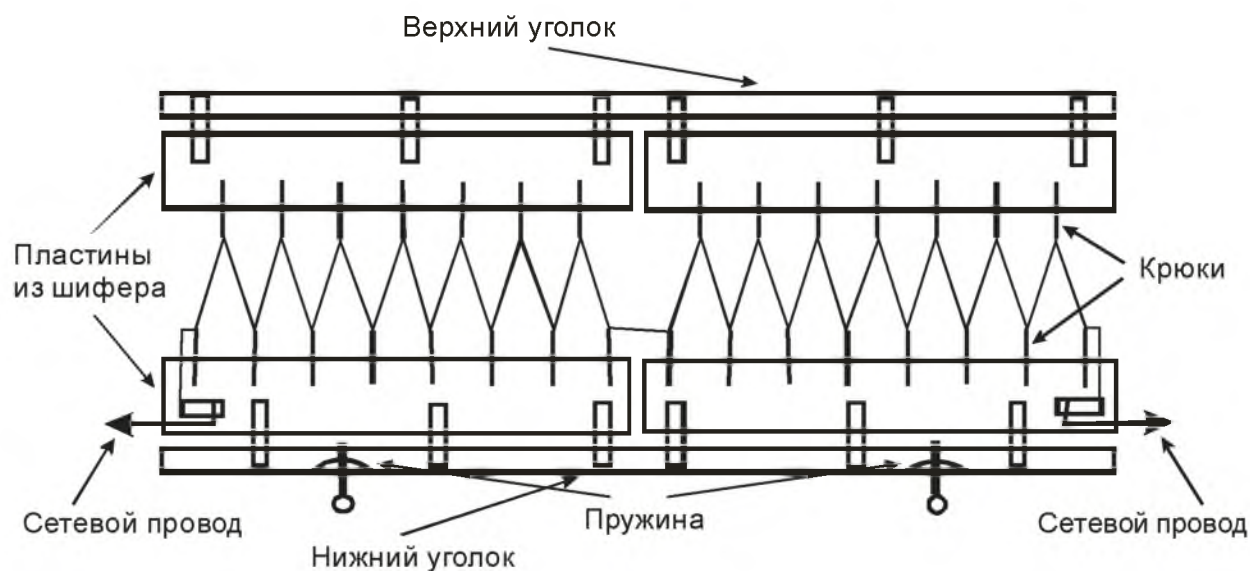


Рис.21. Конструкция тэна.

При повышении температуры ленты она расширяется, чтобы компенсировать это расширение используются пружинные узлы, которые сдвигают нижний уголок при таком расширении. Конструкция пружинного узла показана на рис. 22.

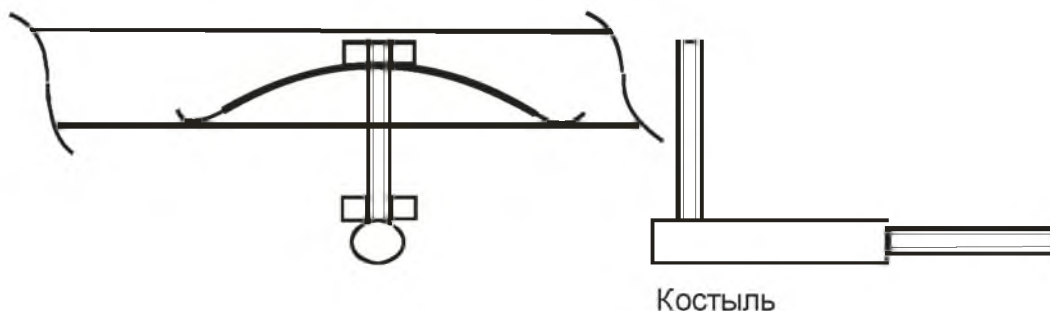


Рис. 22. Конструкция пружинного узла.

На костылях, которые своим хвостовиком ввинчиваются в заднюю стенку, имеется штырь с резьбой, на котором расположено две гайки. Между верхней гайкой и полкой нижнего уголка расположена латунная плоская пружина. Во время сборки тэна нижняя гайка закручивается вверх до упора, полностью сжимая пружину. После сборки она опускается в нижнее положение, обеспечивая необходимый ход нижнему уголку при расширении ленты тэна. Отверстия для крепления костылей на задней стенке камеры сверлятся напротив центральных деревянных перемычек, затем в них нарезается резьба, и ввинчиваются костыли. Таким точно образом крепятся и шпильки, на которых крепится верхний уголок. Длина хвостовика у костыля и шпилек должна быть порядка 50-60 мм, чтобы он надёжно держался в теле доски.

Крепление крюков на шиферных пластинах и самих тэнов в камере показано на рис. 23

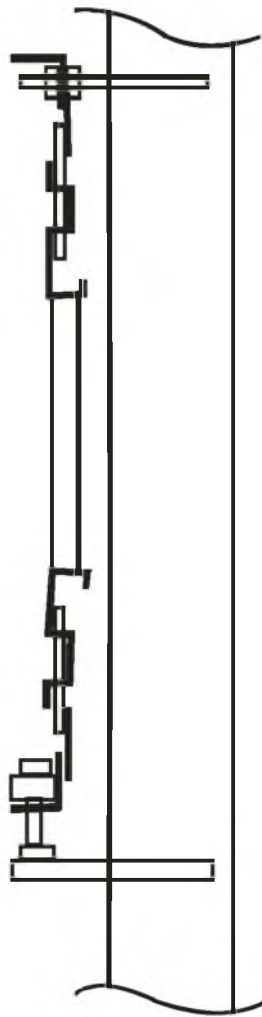


Рис. 23. Крепление крюков на шиферных пластинах и тэна в камере.

Крюки изготавливаются из медного или алюминиевого прутка или проволоки диаметром 3-5 мм.

При необходимости размещения в камере двух тэнов, они крепятся параллельно друг другу. При этом в стержень костыля ввинчивается два вертикальных штыря с резьбой, а шпильки на которых крепятся верхние уголки делаются такой длины, чтобы на них между гайками можно было закрепить два уголка.

## § 8. Методы сушки древесины и способы их реализации

В данной камере выбран особый циклический режим работы, который даёт одинаково хорошие результаты как при сушке мягких, так и твёрдых пород. Идея этого метода заключается в том, что влага в любых условиях всегда стремится в более холодную зону. Эта закономерность и используется в циклическом режиме. Технически он осуществляется следующим образом. После прогрева штабеля и достижения в камере заданной температуры сушильного агента она переходит на циклический режим работы. При первом цикле древесина разогревается до определённой температуры, после достижения которой, подогреватели выключаются и температура древесины начинает падать. При этом охлаждение начинается с наружной стороны пиломатериала, в то время как её внутренние части остаются более нагретыми. При этом влага начинает переходить из внутренних слоёв досок к поверхностным, увлажняя их. При таком режиме не образуется внешняя пересушенная корка и происходит равномерное уменьшение влажности по всей толщине доски. Температурный график такого режима сушки представлен на рис. 24.

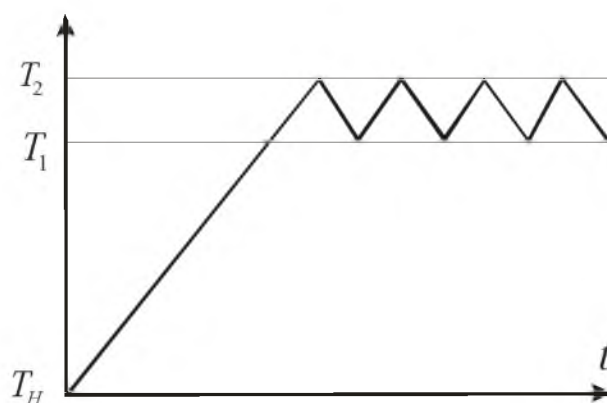


Рис. 24. Температурный график циклического режима сушки.



Для осуществления такого режима необходим соответствующий датчик температуры и исполнительная система, при помощи которой осуществляется заданный циклический режим. Для этого нужен соответствующий датчик температуры. От этого датчика, используемого для осуществления циклического режима, зависит многое. Сбои в его работе могут привести к сбою режима с непоправимыми последствиями. Особенно это касается тех камер, в которых требуется длительное время работы без контроля со стороны оператора. Следует сказать, что простых и надёжных термометров, которые бы обеспечивали 100% гарантию надёжности работы, нет. Поэтому был разработан простой и надёжный датчик температуры, обладающий такими качествами. Его работа основана на использовании разницы в коэффициентах линейного расширения стали и полиэтилена. Принцип работы датчика показан на рис. 25.



Рис.25. Датчик температуры.

В полиэтиленовой трубке (показана чёрным) располагается стальной прут, закреплённый к одному из концов трубки. При длине датчика 2000мм разница в сокращении трубки и стержня составляет 0.3 мм на один градус, что вполне достаточно для регулировки температуры с точность 2-3 градуса. В качестве полиэтиленовой трубки применяется трубка диаметром 20 мм, используемая для водяного отопления. Такой датчик обладает высочайшей надёжностью и из строя выйти не может, за исключением каких-нибудь чрезвычайных обстоятельств.

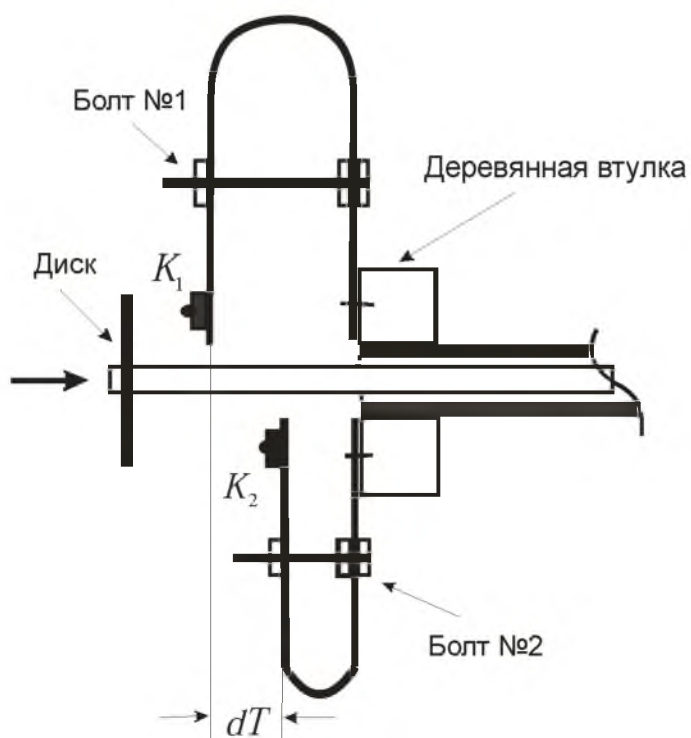


Рис. 26. Исполнительный механизм датчика температуры.

Схема исполнительного механизма датчика температуры показана на рис. 26. На конец полиэтиленовой трубки одета деревянная втулка, на которой крепятся две V – образные пружины, на концах которых установлены концевые выключатели  $K_1$  и  $K_2$ . С левой стороны от этих выключателей находится диск, прикреплённый к стальному прутку, являющегося частью датчика температуры.

## § 9. Электрическая схема камер

Электрическая схема камеры с длиной 4500 мм, предназначенной для сушки древесины твёрдых пород представлена на рис. 27. Входной автоматический выключатель АП-50 на 63 А служит для подключения к пульту управления сетевого напряжения. Ещё один АП-50 на 6.4 А служит для включения двигателя вентилятора, который на схеме обозначен буквой

М. Мощность двигателя 3 кВт при скорости вращения 1400 об/минуту.  
Диаметр беличьего колеса вентилятора составляет 315 мм.

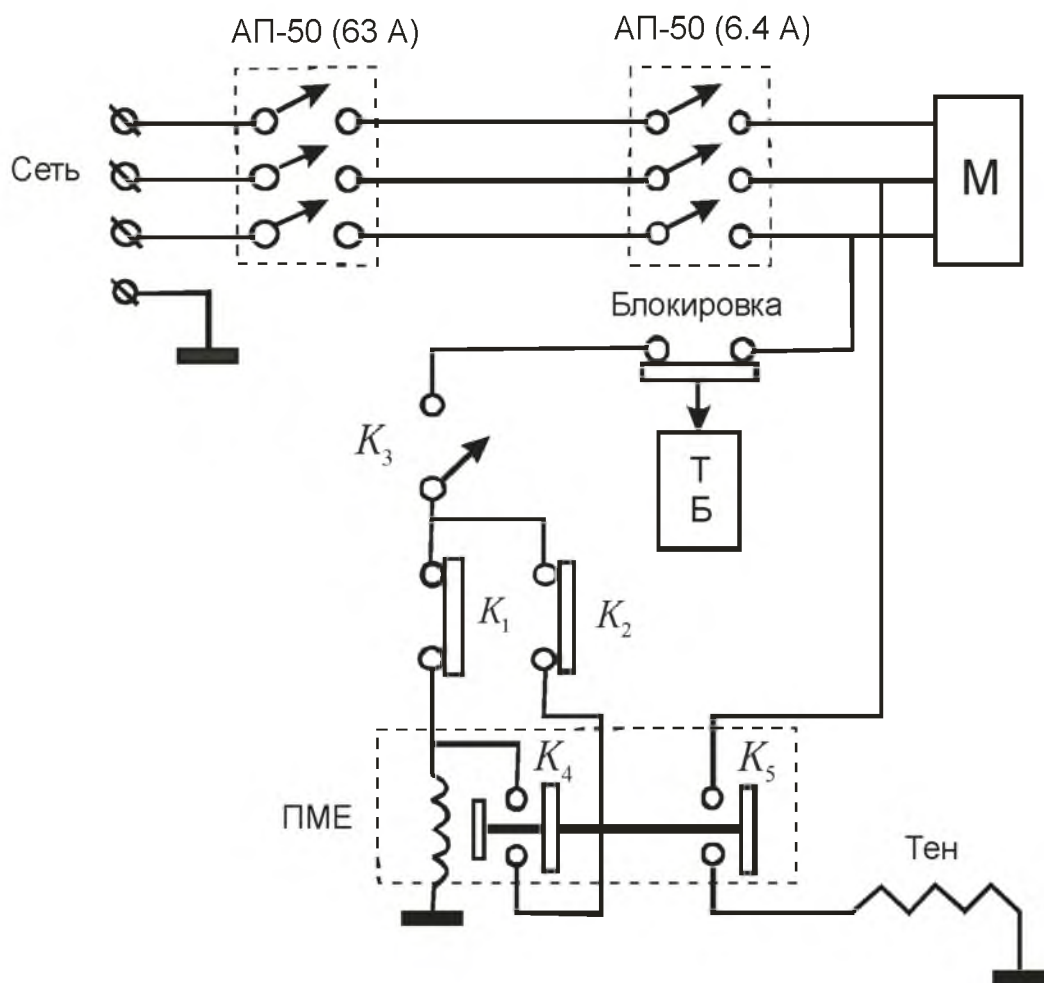


Рис. 27. Электрическая схема камеры для сушки одного штабеля

Ключ  $K_3$ , в качестве которого используется тумблер, служит для включения системы управления температурным режимом камеры. Эта система включает два нормально замкнутых концевых выключателя  $K_1$  и  $K_2$ , расположенных на исполнительном механизме датчика температуры (рис. 26), а также пускатель ПМЕ-211. Его слаботочный нормально разомкнутый ключ  $K_4$  подключён одним концом к пусковой катушке пускателя, а другим концом к ключу  $K_2$ . Ключ  $K_5$  представляет собой три силовые контактные пары пускателя, соединённые параллельно. Эти контактные пары служат для подключения тэна к одной из фаз сети. Питание на исполнительный

механизм системы терморегулирования подаётся с одного из фазовых проводов, идущих после АП-50, который включает двигатель. Такое соединение обеспечивает отключение тэна в случае срабатывания этого пускателя в аварийных ситуациях при выходе из строя двигателя вентилятора.

Работает система терморегулирования следующим образом. При температуре окружающей среды диск датчика температуры находится в крайнем левом положении. В этом положении тэн подключен к сети, и температура в камере повышается. При этом диск начинает смещаться в сторону указанную стрелкой и при определённой температуре, касаясь кнопки концевого ключа  $K_1$ , разрывая контакт между его контактами. Но отключение тэна при этом не происходит, т.к. контактные пары конечных нормально замкнутых ключей  $K_2$  и  $K_3$  остаются замкнутыми и температура в камере продолжает повышаться. При этом диск по-прежнему продолжает двигаться в сторону, указанную стрелкой, сжимая пружину, на которой расположен ключ  $K_1$ . При дальнейшем увеличении температуры в камере диск достигает кнопки ключа  $K_2$ , и разрывает его контакты. При этом питание катушки пускателя отключается, и происходит отключение тэна от фазы, разрывается также контакт между контактами ключа  $K_3$ . После этого температура в камере начинает падать. При обратном движении диска вначале замыкаются контакты ключа  $K_2$ , но это не приводит к запуску пускателя, т.к. контакты ключа  $K_3$  пока ещё разомкнуты. И только после уменьшения температуры на величину  $dT$ , диск отпускает кнопку ключа  $K_1$ , включая пускатель. После этого цикл повторяется. Таким образом положение ключа  $K_2$  определяет верхнюю температуру цикла, а положение ключа  $K_1$  нижнюю. Эти температуры устанавливаются при помощи гаек на болтах пружины. При размещении болтов на пружинах регулятора, следует следить за тем, чтобы отверстия в пружинах были больше диаметров болтов и не

препятствовали свободному сжатию пружин при настройке и работе системы.

Схема универсальной камеры длиной 7500 мм, предназначенной для сушки как твёрдых, так и мягких пород, показана на рис. 28

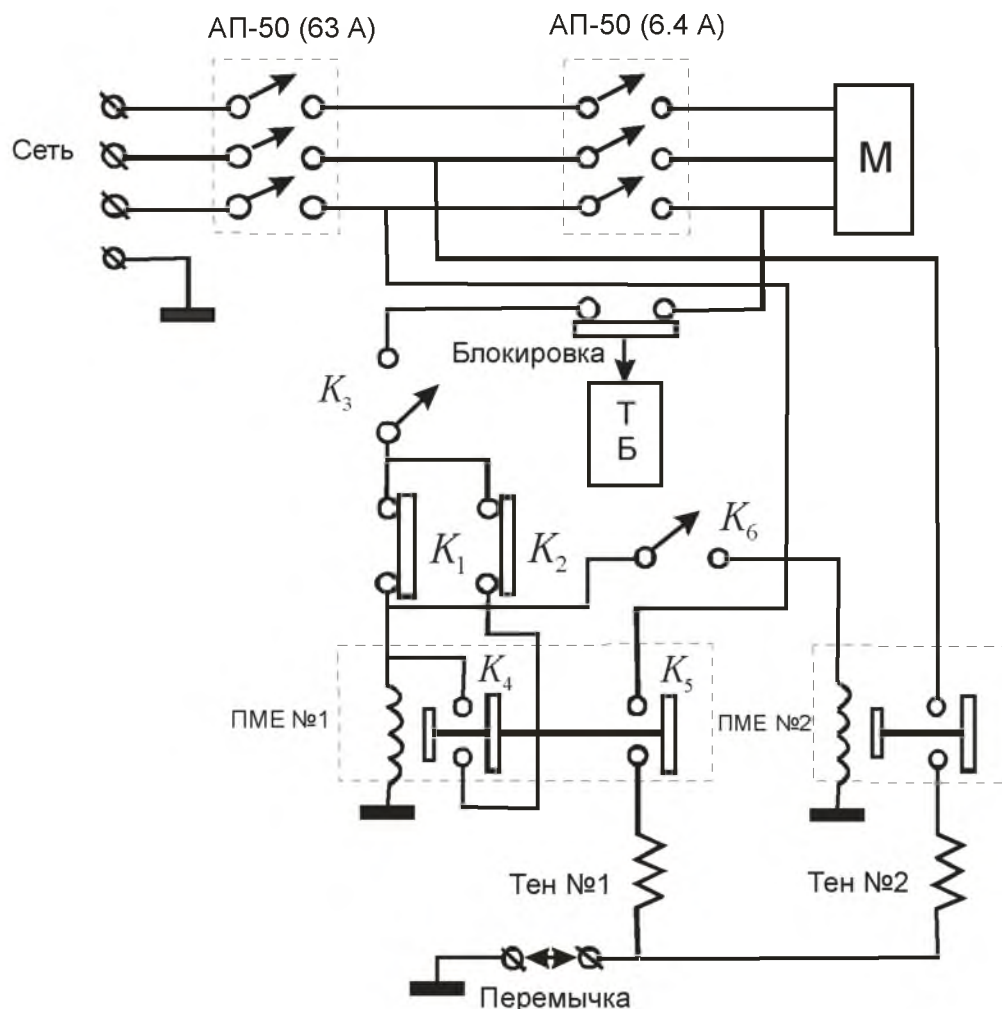


Рис. 28. Электрическая схема универсальной камеры.

В отличие от схемы, изображенной на рис. 27, в камере имеется два тэна, которые обеспечивают возможность работать в трёх режимах. В первом режиме когда разорваны контакты ключа  $K_6$ , к сети подключен только тэн №1 и потребляемая им мощность составляет 8 кВт. При этом перемычка, изображенная в нижней части схемы, замыкает клеммы. При замыкании ключа  $K_6$  происходит подключение второго тэна №2, и потребляемая тэнами мощность составляет 16 кВт. В случае размыкания перемычки оба тэна

оказываются включенными между двух фаз последовательно, и потребляемая ими мощность составляет 24 кВт. Эти три режима позволяют сушить в камере, как один штабель, так и два штабеля древесины, как твёрдых, так и мягких пород. При номинальной мощности 6 кВт в камере размещается один штабель твёрдых пород. При номинальной мощности 12 кВт в камере может размещаться или два штабеля твёрдых пород, или один штабель мягких пород. При номинальной мощности 24 кВт в камере размещается два штабеля мягких пород.

Для перехода на режим сушки мягких пород не следует каждый раз перестраивать блок контроля температуры, а следует изготовить отдельный датчик, настроив его на соответствующий режим. Переключение датчиков следует производить при помощи переключателя режимов. Для этого можно использовать три тумблера, при помощи которых следует три проводника от одного датчика переключать на три проводника другого. При этом необходимо выполнить ещё одну операцию, сняв перемычку, указанную в нижней части схемы. При сушке твёрдых пород следует верхнюю температуру устанавливать ~ 65-70 градусов, а нижнюю ~ 50-55. При сушке мягких пород эти интервалы должны быть ~ 85-90 и 65-70 градусов соответственно. Готовность древесины определяют по разности между сухим и влажным термометром, которая должна составлять 29-30 градусов. В этом случае относительная влажность пиломатериалов будет находиться в пределах 6-8 процентов. При достижении этой температуры камеру выключают. Для более быстрого охлаждения древесины можно приоткрыть дверь камеры. При достижении в камере температуры ~35-40 градусов древесину можно выгружать.

Рассмотренные камеры не требуют вмешательства оператора за весь цикл их работы независимо от начальной влажности загружаемой древесины. Единственный параметр, который в конце сушильного цикла подлежит

контролю со стороны оператора, это разность между показаниями сухого и влажного термометров.

При сушке свежеспиленной древесины мягких пород расход электроэнергии на один кубический метр загружаемой древесины составляет  $\sim 700-800$  кВт/ч, а при сушке твёрдых пород  $\sim 900-1000$  кВт/ч.

Для отключения системы терморегулирования от источника питания в случае превышения в камере температуры выше заданных пределов (аварийная ситуация) служит блокировка. Для её работы в качестве датчика используется отдельный термодатчик, такой же, как и в системе терморегулирования, он показанный на рис. 28.

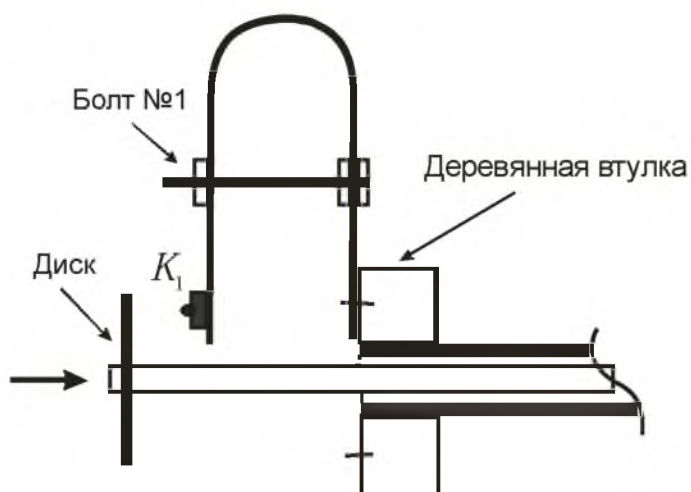


Рис. 28. Схема блокировочного датчика.

В датчике используется нормально замкнутый ключ  $K_1$ . При помощи гайки на болте №1 положение ключа устанавливается так, чтобы срабатывание блокировки происходило при максимально допустимой температуре в камере.

Теплота испарения воды составляет  $2260$  кДж/кг ( $540$ ) ккал/кг. Но если посчитать количество воды, содержащееся в древесине и количество энергии, расходуемое на её испарение, то даже с учётом идеальной

теплоизоляции камеры, удельный расход оказывается в 1.5 – 2 раза больше. Это связано с тем, что на протяжении всего цикла сушки в камеру подсасывается атмосферный воздух, который потом, будучи нагрет до рабочей температуры камеры, выбрасывается наружу. Существенно уменьшить эти непроизводительные потери можно в конденсационной камере, схема которой изображена на рис. 29.

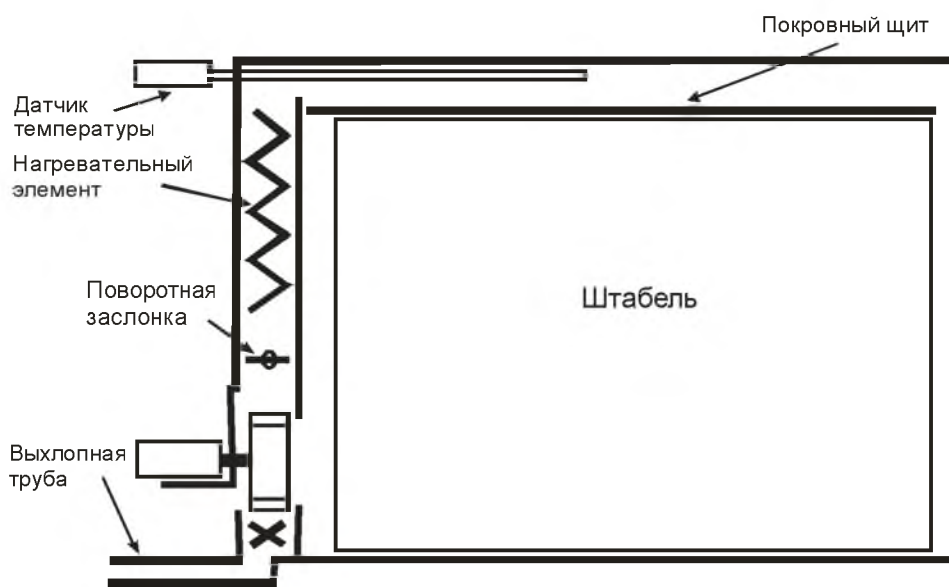


Рис. 29. Схема конденсационной камеры.

Эта схема отличается от схемы, изображенной на рис. 11, наличием теплообменника в нижней части вентиляторного отсека (показан жирным крестом). При работе в конденсационном режиме в планке, расположенной под двигателем (Рис.12) все отверстия закрываются пробками, и подсос в камеру атмосферного воздуха прекращается. Если через теплообменник пропускать холодную воду, то на нём будет конденсироваться вода, которая будет стекать через выхлопную трубу. Особенно рационально применение такой схемы сушки при наличии артезианской скважины, где температура воды составляет около 9 градусов и практически не меняется в течение года. Для целей охлаждения теплообменника можно использовать и



водопроводную воду. При разности температур в 20 градусов между водой, поступающей в теплообменник и водой, вытекающей из выхлопной трубы, для сушки 1 м<sup>3</sup> древесины требуется ~ 10000 кг воды. Указанный режим рационально использовать, когда влажность древесины не ниже 15% и влажность воздуха в камере относительно высока. При значениях влажности древесины ниже указанного значения следует переключить камеру на циклический режим, рассмотренный выше. Применение рассмотренного режима даёт до 25 % экономии по расходу электроэнергии.

В качестве нагревательных элементов могут использоваться и батареи, питаемые от газового водогрейного котла. В водяном контуре такого котла должен стоять насос, который должен включаться по такой же схеме, как и тэны. При этом используется схема электропитания камеры, изображенная на рис. 27 с той лишь разницей, что вместо тэна подключается электродвигатель насоса. При использовании водогрейного котла приходится снижать температуру сушки древесины мягких пород до 80 градусов, т.к. при использовании более высоких температур эффективность использования водогрейного котла сильно снижается по причине малой разности между температурой в камере и температурой воды. При работе с водогрейным котлом поверхность батарей должна составлять ~ 15 м<sup>2</sup>, в то время как при использовании тэнов их поверхность составляет ~ 1 м<sup>2</sup>. Это связано с тем, что разность температур между воздухом в камере и поверхностями батарей и тэнов отличается примерно в 15 раз.

Все замечания, пожелания и вопросы по тематике монографии следует посылать по адресу [mende\\_fedor@mail.ru](mailto:mende_fedor@mail.ru), и мы ответим на ваши вопросы.

## **Список литературы**

1. Кречетов И. В. Сушка древесины. М., Лесная промышленность, 1980. – 432с.

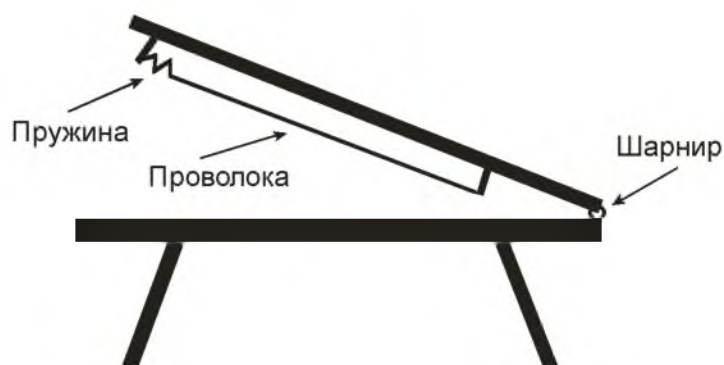
## Оглавление

От автора.....	3
§ 1. Сущность, цель и значение сушки древесины.....	6
§2. Влажный воздух и его свойства.....	12
§ 3. Гигроскопичность древесины.....	17
§ 4. Свойства влажной и сухой древесины и процессы, происходящие в древесине во время сушки.....	20
§ 5. Режимы сушки пиломатериалов.....	26
§ 6. Конструкции сушильных камер.....	29
§ 7. Универсальная лесосушильная камера.....	38
§ 8. Методы сушки древесины и способы их реализации.....	55
§ 9. Электрические схема камер.....	57
Список литературы.....	65

## Приложение № 1

### Приспособление для резки пенопласта.

Схема приспособления для резки пенопласта показана на рисунке.



К рабочему столу на шарнире крепится доска, на которой расположены два металлических штыря. Между концами этих штырей растянута нихромовая проволока толщиной 0.5 мм. Для того чтобы при нагревании проволока не провисала, используется пружина. К проволоке через понижающий трансформатор подводится напряжение, которое подбирается таким образом, чтобы нагретая проволока быстро плавил пенопласт.