

674  
P-83

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С. М. Кирова

654.4052

На правах рукописи

РУДЕНОК ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ОХЛАЖДЕНИЯ МЕБЕЛЬНЫХ ЩИТОВ  
ПОСЛЕ ОБЛИЦОВКИ  
И РАЗРАБОТКА ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ**

Спец. 05.421. Машины, оборудование и технология лесопильных  
и деревообрабатывающих производств (05.21.01)

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Минск, 1974

674  
P-83

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Б С С Р  
Белорусский технологический институт им.С.И.Кирова

На правах рукописи

РУДЕНКО ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ

3487ар

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ МЕБЕЛЬНЫХ ЩИТОВ  
ПОСЛЕ ОБЛИЦОВКИ И РАЗРАБОТКА ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Спец.05.42I. Машины, оборудование и технология лесопильных и деревообрабатывающих производств (05.2I.0I)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ  
имени С. М. КИРОВА

Минск 1974

Работа выполнена на кафедре механической технологии древесины Белорусского технологического института им.С.И.Кирова и на Молодечненской мебельной фабрике.

Научный руководитель - доцент, кандидат технических наук  
Л.А.МАНКЕВИЧ

Научный консультант - доцент, кандидат технических наук  
А.А.БАРТАШЕВИЧ

Официальные оппоненты- доктор технических наук, профессор  
М.Д.БАВЕЛЬСКИЙ  
- кандидат технических наук, ассистент  
В.В.БОГОМАЗОВ

Ведущее предприятие - Минское проектно-производственное  
мебельное объединение

Автореферат разослан " \_ " \_ \_ \_ \_ \_ 1974 г.

Защита диссертации состоится "18" сентября 1974 г. в 10 часов на заседании Совета Белорусского технологического института им.С.И.Кирова, 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13а, в зале заседаний Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,  
кандидат технических наук



Е.А.ГРУШЕВСКАЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Планом развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг. перед мебельной промышленностью поставлены большие и сложные задачи по увеличению выпуска мебели, расширению ассортимента, резкому улучшению качества и др.

Увеличение объема производства мебели должно идти в основном за счет реконструкции предприятий, организационно-технических мероприятий и в меньшей мере за счет строительства новых предприятий. Основными направлениями технической перестройки мебельной промышленности являются внедрение в производство эффективных материалов и технологии, оснащение предприятий комплектами высокопроизводительным оборудованием, технологическая специализация и некоторые другие.

Для повышения производительности труда и улучшения качества продукции важное значение имеет установление оптимальных параметров технологических операций в соответствии с сущностью процесса и точное соблюдение их в производственных условиях. Выполненная работа ставила целью исследовать один из наиболее важных процессов облицовки древесностружечных плит - нагрев их при горячем прессовании и последующее охлаждение с тем, чтобы разработать рациональные режимы охлаждения плит.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании обзора литературных данных и проведенных наблюдений даются свойства выпускаемых древесностружечных плит, приводятся режимы их облицовки различными материалами и рекомендуемые режимы выдержки плит после прессования.

Тепловые свойства древесностружечных плит изучались рядом авторов за рубежом и в нашей стране (А.Д.Юна, И.О.Зведицким, Э.Э.Клуге, Г.М.Шварцманом, А.П.Багдатъевой и др.). При расчетных методах решения задач нагрева и охлаждения плит нами использовались тепловые коэффициенты по данным Г.М.Шварцмана, так как они приводятся с учетом результатов работ ряда наших и зарубежных исследователей.

В настоящее время облицовка древесины шпоном является основным видом облицовки древесностружечных плит. В связи с высокими

2. Зак. 5594

темпами роста объема производства мебели и ограниченными возможностями увеличения выпуска шпона, а также с учетом других особенностей получают и будут получать все более широкое применение недревесные облицовочные материалы, особенно на бумажных основах.

Для облицовки древесностружечных плит на мебельных предприятиях применяются еще многопролетные прессы. В настоящее время на многих крупных предприятиях применяются однопролетные прессы, которые в дальнейшем должны заменить многопролетные и на других предприятиях.

Из режимных факторов прессования, оказывающих наиболее существенное влияние на нагрев плит при облицовке, являются продолжительность прессования и температура плит прессы. Рекомендуемые и особенно применяемые на практике значения этих факторов варьируют в широких пределах и зависят в основном от вида облицовочных материалов, типа прессы (однопролетный или многопролетный) и марки клея.

На основании литературных данных и обследования ряда предприятий установлено, что при облицовке плит древесными материалами в многопролетных прессах время прессования колеблется в основном в пределах 5 - 7 мин, а температура плит прессы составляет в среднем 120°C. При облицовке в однопролетных прессах время прессования небольшое (обычно не превышает 90 сек), но более высокое значение температуры, что тоже приводит к значительному нагреву плит.

Очень разнообразны режимы облицовки недревесными материалами (бумагами, пропитанными различными смолами, поливинилхлоридными пленками и др.), при этом, значения времени выдержки и температуры плит прессы во многих случаях рекомендуются большими, чем при облицовке шпоном.

Рекомендации в отношении продолжительности выдержки плит после облицовки сводятся в основном к следующим: выдержка до полного охлаждения, но не менее 24-х часов (при облицовке в многопролетных прессах) - не менее 2-х часов (при облицовке в однопролетных прессах). Многие авторы указывают, что выдержка должна быть больше, до 2-5 суток. Следует отметить, что все рекомендации в отношении продолжительности выдержки в значительной мере неконкретны, так как они даются в целом, а не в зависимости от основных факторов: степени нагрева плит, их размеров и условий охлаж-

дения.

Недостаточно изучена степень нагрева щитов при облицовке. Имеющиеся данные касаются, как правило, значений текущей температуры в клеевом слое, а не средней по сечению всего щита. Без знания средней температуры нельзя говорить о продолжительности охлаждения щитов.

При установлении режимов охлаждения щитов критерием оценки, наряду с конечной температурой, принята величина коробления. При выполнении работы учтены результаты исследований авторов (Н.В.Васецва, Б.П.Жукова, Н.А.Михайлова, Н.И.Остапенко и др.), которые изучали коробление щитов. Учтены также работы Г.Кнозеффа, Б.П.Жукова и др. по изучению изменения прочности изготовленных древесностружечных плит в процессе акклиматизации и по их охлаждению.

На основании изучения состояния вопроса были определены следующие задачи исследований:

1. Определить степень нагрева щитов для различных режимов горячей облицовки;
2. Исследовать процесс охлаждения щитов в стопах с учетом основных факторов и дать рекомендации по оптимальной продолжительности их выдержки;
3. Разработать технологию и оптимальные режимы ускоренного охлаждения щитов на основе принудительной циркуляции воздуха в расчлененной стопе;
4. Дать принципиальные схемы установок для ускоренного охлаждения щитов после облицовки.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Решение задач нагрева и охлаждения щитов рассматривается в свете работ Б.С.Чудинова, А.В.Лыкова, М.А.Михеева, К.Ф.Севастьянова, П.С.Сергеевского и др. авторов.

При известных условиях продолжительность прессования может рассчитываться по значению температуры в клеевом слое. Последнюю можно определить как для случая одностороннего или двухстороннего нагрева при граничных условиях первого рода.

Определение средней температуры нагрева щитов по текущим значениям ее на поверхности и в середине в момент окончания

прессования ( $t_{cp} = \frac{t_n + t_c}{2}$ ), как принято часто в расчетах, дает очень большую неточность и не может применяться, особенно при малой выдержке и высокой температуре плит пресса.

В общем виде средняя температура по сечению щита при времени прессования  $\tau$  равна (по А.В.Ликову):

$$\bar{t}(\tau) = \frac{1}{2R} \int_0^R t(x, \tau) dx, \quad (I)$$

где  $2R$  - толщина щита,

$t(x, \tau)$  - температура в рассматриваемой точке,

$x$  - расстояние от поверхности до рассматриваемой точки нагрева.

Решение уравнения (I) имеет вид:

$$\bar{\theta} = \frac{t_{np} - t(x, \tau)}{t_{np} - t_0}, \quad (2)$$

где  $\bar{\theta}$  - средняя безразмерная температура,

$t_{np}$  - температура плит пресса, град.,

$t_0$  - начальная температура щита, град.

При значениях критерия Фурье  $F_0$  меньше 0,1 средняя безразмерная температура может достаточно точно определяться по формуле:

$$\bar{\theta} = 1 - 2 \sqrt{\frac{F_0}{\pi}}, \quad (3)$$

а при больших - определяется графически как функция  $F_0$ .

Для случая нагрева древесностружечных плит еще более точное значение  $\bar{\theta}$  можно получить графически по номограмме К.Ф.Севастьянова.

Решение задач на охлаждение щитов при естественной конвекции необходимо рассматривать для двух случаев: как для неограниченной пластины (когда один из размеров превышает два остальных в три и более раза) или как для параллелепипеда. В данных случаях (граничные условия третьего рода)  $\theta = f(F_0, \frac{x}{R}, Bi)$  и определяется графически.

При этом для параллелепипеда:

$$\theta_{x, y, z} = 1 - (1 - \theta_x)(1 - \theta_y)(1 - \theta_z) \quad (4)$$

или 
$$\theta_{x, y, z} = \theta_x \theta_y \theta_z. \quad (5)$$

При решении задач с использованием формулы (4) значение определяется по номограммам, приводимым А.В.Ликовым, а с использованием формулы (5) - по номограммам, приводимым П.С.Сергеевским. Искомая температура определяется по формуле:

$$t_{(x, \tau)} = \bar{t}_0 - \theta(\bar{t}_0 - t_0), \quad (6)$$

где  $\bar{t}_0$  - средняя начальная температура щита (стопа),  
 $t_a$  - температура охлаждающего воздуха.

Нами было предложено охлаждение мебельных щитов после облицовки производить с помощью принудительной циркуляции воздуха. При таком охлаждении определение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , необходимого для определения критерия Би ( $Bi = \frac{\alpha}{\lambda} R$ ), производится по формуле:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{l} \quad (\text{ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}) \quad (7)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности охлаждаемого материала,  
 (ккал/м · час · град),

$\lambda_a$  - коэффициент теплопроводности воздуха,

$l$  - длина щита в направлении движения воздуха (определяющий размер), м.

Критерий Нуссельда  $Nu$  определяется в зависимости от характера движения воздуха:

при ламинарном  $Nu = 0,66 Re^{0,5}$ , (8)

при турбулентном  $Nu = 0,032 Re^{0,8}$  (9)

И.А. Михеев приводит формулу (8) для  $Re_{кр} < 10^5$  и формулу (9) для  $Re_{кр} > 10^5$ ,

где  $Re = \frac{v_0 \cdot l}{\nu}$  - критерий Рейнольдса,

$v_0$  - скорость движения охлаждающего воздуха,  
 м/сек,

$\nu$  - кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/сек.

В нашей работе была проверена экспериментально правомерность формулы (8) и (9) для условий, соответствующих мебельному производству, так как эти формулы приводятся для идеального случая (без учета начальной турбулентности потока, реальной формы пластин на входе и ширины щели между щитами). Так как определяющий размер щитов и ширина щели небольшие, а форма входа необтекаемая, оказалось, что турбулентный характер движения воздуха имеет место при значении  $Re < Re_{кр}$ . Практически для любых размеров мебельных щитов формула (9) соответствует уже значению  $v_0 = 1$  м/сек. Меньшие значения  $v_0$  не рассматривались, т.е. во всех случаях при расчетах принималась формула (9).

Исследование влияния на равномерность охлаждения щитов по длине колебаний относительной влажности воздуха  $\varphi$  (через изменение его влагосодержания по длине) показало, что этот фактор не  
 3. Зак. 5594

оказывает существенного влияния. Так, при колебании  $\varphi$  в пределах  $70 \pm 30\%$  равномерность охлаждения будет колебаться в пределах не более  $\pm 1,3\%$ .

Процесс охлаждения щитов с применением принудительной циркуляции воздуха может поддаваться автоматическому регулированию. При этом выходным контролируемым параметром может служить перепад температуры воздуха на входе и выходе  $\Delta t_g$  (см. схему рис. I), так как средняя температура щитов  $\bar{t}(t) = f(\Delta t_g)$ . Контроль же  $\Delta t_g$  в практике может быть простым.

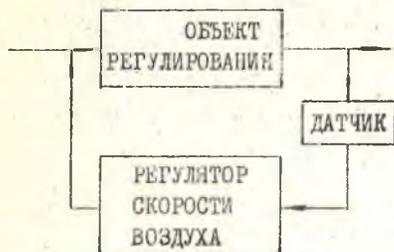


Рис. I. Принципиальная схема автоматического регулирования.

Регулируемым параметром для заданного времени охлаждения может служить только скорость воздуха  $v$ , так как остальные (температура воздуха на входе, длина и толщина щита и др.) являются *не* регулируемыми, т.е. относятся к возмущениям. На основании уравнения теплового баланса в работе дается вывод математического уравнения объекта регулирования в операторной форме.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все исследования проводились в лаборатории и непосредственно в цехе Молодечненской мебельной фабрики.

Исследования по нагреву и охлаждению проводились при облицовке трехслойных древесностружечных плит строганным шпоном дуба толщиной 0,8 мм.

Так как на степень нагрева плит оказывает влияние большое число факторов, вначале были проведены отсеивающие эксперименты с целью установления существенных и несущественных факторов. Эти опыты проведены по методу насыщенного плана. Все остальные факторы и интервалы их варьирования приведены в табл. I.

За выходной параметр  $y$  принималась средняя температура по сечению щита, которая достигалась в момент ее выравнивания. Опыты проводились на щитах размером 500x300 мм. Всего в стопу укладывалось 9 щитов. Опытный щит укладывался в середину стопы. Прессование

Таблица I  
Значения изучаемых факторов при отсеивающем эксперименте

Условное обозначение факторов:	Ф а к т о р ы	Значения уровней		
		нуле-вой : 0	ниж-ний : -	верх-ний : +
$I_1$	Время прессования $\tau$ , сек	120	60	180
$I_2$	Температура плит пресса $t_{np}$ , °C	120	100	140
$I_3$	Время нахождения пакета в прессе до установления давления $\tau_{прод}$ , сек	40	10	70
$I_4$	Давление прессования $q$ , $10^5$ м/м	6,9	3,7	9,8
$I_5$	Расход клея $Q$ , г/м <sup>2</sup>	180	140	220
$I_6$	Влажность плиты $W$ , %	8	6	10
$I_7$	Плотность плиты $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	700	600	800
$I_8$	Вязкость клея по ВЗ-4, сек	150	50	250
$I_9$	Толщина прессуемого пакета $S$ , мм	18	16	20
$I_{10}$	Способ выдержки щитов при выравнивании температуры	-	свобод- ный	в столе
$I_{11}$	Наличие дюралюминиевых прокладок (толщиной 2,5 мм) во время выдержки щитов при выравнивании температуры	-	нет	да

велось в лабораторном прессе, а при необходимости одновременного нагрева щитов всей стопы — непосредственно в цехе в одном промежутке многопролетного пресса. Температура замерялась медьконстантановыми термопарами в середине щита и в клеевом слое. За среднее значение ее по сечению принималось то, которое достигалось в момент равенства температур и в клеевом слое, и в середине щита при выравнивании (правомерность такого метода будет показана ниже).

Заложение термопар в середину щита производилось следующим образом. Два смежных образца калибровались до половины толщины с противоположных сторон. Затем они склеивались при небольшом расходе смолы с заложенными в середину термопарами. Такая подготовка значительно более точная, чем при заложении термопар в отверстия, к тому позволяет закладывать их в различных точках по площади щитов больших размеров.

Полученное уравнение регрессии зависимости средней температуры нагрева щитов от всех факторов имеет вид:

$$y = 71,48 + 11,05 I_1 + 9,8I_2 + 1,4I_3 + 0,7I_4 + 0,52I_5 + 0,18I_6 - 0,22I_7 - 0,8I_8 - 1,72I_9 + 2,88I_{10} + 1,27I_{11}, \quad (I0)$$

а с учетом только значимых факторов (с 5%-ным уровнем значимости) следующий вид:

$$y = 71,58 + 11,05I_1 + 9,8I_2 + 1,4I_3 - 1,7I_9 + 2,88I_{10} + 1,27I_{11}. \quad (II)$$

Дальнейшие исследования по нагреву проводились с учетом только значимых факторов. Значения остальных были приняты следующими:  $q = 6,9 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ ;  $Q = 180 \text{ г/м}^2$ ;  $W = 7\%$ ;  $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость клея 100 сек по ВЗ-4. Изучаемые факторы варьировались в пределах:  $\tau = 45 \text{ сек} - 10 \text{ мин}$ ;  $t_{np} = 100 - 160^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{прогр} = 10 - 90 \text{ сек}$ ;  $\delta = 8 - 24 \text{ мм}$ ; факторы  $I_{10}$  и  $I_{11}$  - на двух уровнях, как указано в табл. I.

Для определения характера изменения температуры по сечению щита при свободном охлаждении проведен опыт с измерением температуры в 7 точках (2 - в клеевых слоях, остальные - в плите). В данном опыте термопары закладывались в отверстия на глубину 50 мм, а кромки дополнительно теплоизолировались. Прессование в опыте велось при  $t_{np} = 140^\circ\text{C}$  и  $\tau = 60 \text{ сек}$ .

Опыты по охлаждению щитов в плотных стопах проводились при размерах последних в пределе от  $100 \times 300 \times 300$  до  $500 \times 1500 \times 1500$  мм (меньший размер - ширина щита). Средняя начальная температура нагрева, т.е. максимальная в момент выравнивания, принималась в пределе  $50 - 100^\circ\text{C}$ . Опыты проводились при отсутствии смежных охлаждаемых стоп. С целью определения влияния смежных стоп на продолжительность охлаждения соответствующий опыт проводился методом последовательного уменьшения расстояния между стопами. Размер стоп принимался при этом  $500 \times 1500 \times 1500$  мм. Контроль температуры велся в клеевом слое и в середине одного и того же щита.

Опыты по изучению продолжительности охлаждения щитов с принудительной циркуляцией воздуха проводились в лабораторной камере и непосредственно в цехе (с 1970 г. такой способ охлаждения применялся на фабрике). Изучаемые факторы варьировались в пределах:  $v_0 = 1 - 15 \text{ м/сек}$ ;  $l = 0,01 - 1,5 \text{ м}$ ; ширина щели между щитами  $\delta = 4 - 30 \text{ мм}$ ;  $\delta = 8 - 24 \text{ мм}$ ;  $t_0 = 80^\circ\text{C}$ ;  $t_6 = 0$  и  $20^\circ\text{C}$ .

Опыты проводились в такой последовательности. Сначала была найдена зависимость времени охлаждения  $t_{ох.н} = f(v_0)$  при  $\delta = 8 \text{ мм}$ . Значение  $\delta$  было принято на основании уже имевшегося опыта работы на фабрике. Затем были проведены опыты по изучению  $t_{ох.н} = f(\delta)$  при  $v_0$  в пределах оптимальных значений. Опыты проведены для летнего

времени при значениях остальных факторов, соответствующих оптимальным производственным. На основании  $\tau_{\text{охл}} = f(\%, \delta)$  отысканы оптимальные значения  $\%$  и  $\delta$ , при этом, кроме  $\tau_{\text{охл}}$  в расчет принимался удельный расход мощности на циркуляцию воздуха.

Все остальные факторы были изучены каждый в отдельности при оптимальных  $\%$  и  $\delta$ . Здесь имелось ввиду, что влияние всех этих факторов независимое, а в процессе охлаждения они должны только учитываться, так как не относятся к регулируемым (т.е. не требуется отыскивать их оптимальные значения).

Грубая регулировка скорости производилась изменением числа оборотов вентилятора с помощью ступенчатой ременной передачи, точная — дросселем, установленным на всасывающем воздуховоде между камерой и вентилятором. Измерение скорости воздуха до 3 м/сек производилось чашечным анемометром, свыше 3 м/сек — вакуумприбором с помощью пьезометрической трубки. Градуировка вакуумметра была произведена в специальной трубе с регулируемой скоростью воздуха. В производственной камере замеры скорости воздуха производились теми же способами. Для более равномерного движения воздуха по сечению камеры ее входной и выходной патрубки были снабжены коническими распределительными ячеистыми коллекторами, а сама камера была подключена ко всасывающей ветви вентилятора.

При определении конечной температуры охлаждения щитов в соответствующих опытах определялась величина коробления этих щитов при охлаждении в стопе и в камере. Начальная средняя температура нагрева щитов принималась  $90^{\circ}\text{C}$ .

За базу сравнения принималась величина устойчивого коробления при полном охлаждении щитов в стопе и последующий выдержке их в течение 3-х месяцев. Допускаемая температура охлаждения определялась по величине устойчивого допустимого коробления. При этом конечная температура охлаждения в стопе последовательно увеличивалась (с градацией  $10^{\circ}\text{C}$ ), а затем производилась свободная выдержка щитов в вертикальном положении до момента устойчивой стабилизации формы.

Опыты проводились в лабораторных условиях на щитах размером  $300 \times 500$  мм и в цехе на щитах размером  $500 \times 1500$  мм. Всего произведено замеров на 600 щитах.

При проведении опытов по изучению влияния способа охлаждения на изменение прочности плиты было испытано по 60 образцов на растяжение перпендикулярно пласти для каждого из двух способов. Обли-

цовка щитов производилась при давлении  $9,8 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup>, времени прессования 5 мин и температуре плит пресса 120°C. Щиты размером 500x1500 мм охлаждались в стопе в течение 3-х суток и в камере в течение часа при  $v_0 = 3$  м/сек.

Число наблюдений в опытах определялось из расчета  $P \leq 5\%$  ( $P$  - показатель точности). Данные опытов обрабатывались методом математической статистики.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Величины погрешностей допущений, принимаемых расчетными методами решения задач нагрева, по отношению к производственным условиям.

При расчетах принимаются следующие допущения:

1.  $t(x, 0) = t_0 = const$

2.  $t(x_R, 0) = t_0 = const$

3. Процесс нагрева происходит без выделения отдачи тепла.

4. Во время прессования плотность материала не изменяется.

Здесь:  $t(x, 0)$  - температура по сечению щита перед началом прессования,

$t(x_R, 0)$  - температура на поверхности пакета при контакте с плитами пресса (момент начала прессования).

Экспериментальные проверки производственных условий и соответствующие расчеты показали следующее:

Допущение 1. Практически соблюдается.

Допущение 2. Значительно нарушается по причинам: нагрев пакета в прессе до начала прессования; неодинаковые условия нагрева верха и низа пакета; неравномерность температуры плит пресса по площади и во времени; наличие прокладок (у многопролетных прессов); загрузка холодного пакета в пресс.

При ручной загрузке многопролетных прессов время нахождения первого пакета в прессе находится обычно в пределах 45 - 70 сек, а в отдельных случаях до 120 сек. Область вероятной скорости нагрева клевого слоя с нижней стороны при толщине шпона 0,8 мм и  $t_{np} = 120^\circ\text{C}$  показана на рис.2.

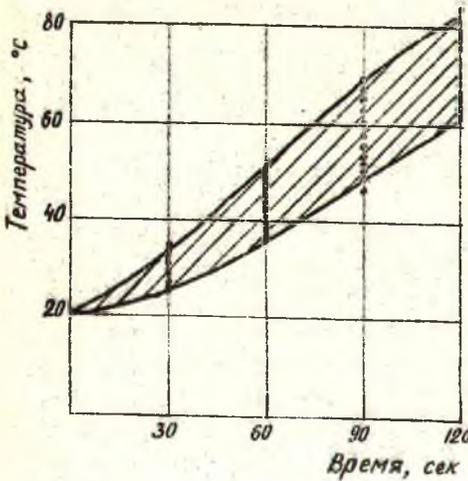


Рис.2. Область наиболее вероятной скорости нагрева клееного слоя во время нахождения пакета в прессе до подъема давления.

Допущение 3. Из-за отдачи тепла с поверхностей кромок нагрет периферийной зоны шита замедляется. Так, при температуре плит пресса  $130^{\circ}\text{C}$  время прессования для периферийной зоны при использовании клея М-60 должно быть больше на 9 сек, чем для центральной.

Допущение 4. Из-за упрессовки во время прессования средняя температура нагрева шита выше, чем получаемая расчетным путем при прочих равных условиях. Например, при  $t_{пр} = 130^{\circ}\text{C}$ ,  $\gamma = 700\text{кг/м}^3$  и  $\tau = 5$  мин. фактическая средняя температура нагрева выше расчетной на  $3,5^{\circ}\text{C}$ , а при  $\tau = 3$  мин. — на  $1,8^{\circ}\text{C}$ .

Колебание температуры по площади одной плиты многопролетного пресса типа П713 А или П713 Б в одно и то же время достигает  $4 - 15^{\circ}\text{C}$ , в пределах всего процесса в среднем  $20 - 25^{\circ}\text{C}$ ; в одной и той же точке плиты за время смены — в пределах  $15 - 22^{\circ}\text{C}$ , а во всем прессе — в пределах  $35 - 40^{\circ}\text{C}$ .

Достижение на поверхности пакета температуры, равной температуре плиты пресса при наличии дюралюминиевой прокладки толщиной 2,5 мм происходит примерно за 50 сек.

Указанные особенности являются главной причиной превышения времени прессования на практике против рекомендуемого. Большие колебания температуры плит пресса имеют место из-за отсутствия нормального ее контроля и возможностей плавного регулирования. Этот существенный недостаток многопролетных прессов должен быть учтен в однопролетных.

Таким образом, при применении расчетных методов необходимо более тщательно определить исходные расчетные данные. В первую очередь это относится к установлению температуры плит пресса и ее колебаний.

## II. Нагрев древесностружечных плит при облицовке

В табл.2 приведены расчетные и опытные значения текущей температуры в процессе прессования ( $t_{np} = 120^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 20$  мм, толщина шпона 0,8 мм, толщине прокладок 2,5 мм,  $t_{пресд.} = 3 - 5$  сек).

Так как расчетные условия близки к фактическим, опытные и расчетные значения температуры в клеевом слое также практически совпадают. Не имеет существенного значения метод расчета. В середине щита фактический рост температуры быстрее по отношению к расчетному, что связано в основном с явлением массопереноса. Эта разница еще больше с возрастанием температуры плит пресса. С увеличением времени прессования, наоборот, уменьшается.

После выгрузки плит из пресса изменение температуры по их сечению происходит в зависимости от способа выдержки. На рис.3 показан характер изменения температуры по сечению свободно охлаждаемого щита ( $\tau = 60$  сек,  $\gamma = 700$  кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пресд.} = 25^{\circ}\text{C}$ ).

Как видно, в момент равенства температур в клеевом слое и в середине щита тепловая амплитуда имеет небольшую величину.

Когда щиты укладываются сразу в стопу, то выравнивание температуры происходит при незначительных потерях тепла, а тепловая амплитуда практически отсутствует. Значение температуры в момент выравнивания ее по сечению в данном случае может быть принято за среднюю температуру нагрева при облицовке.

На рис.4 показано изменение температуры в клеевом слое и в середине щита при различных условиях прессования и последующей выдержке при  $t_g = 25^{\circ}\text{C}$ .

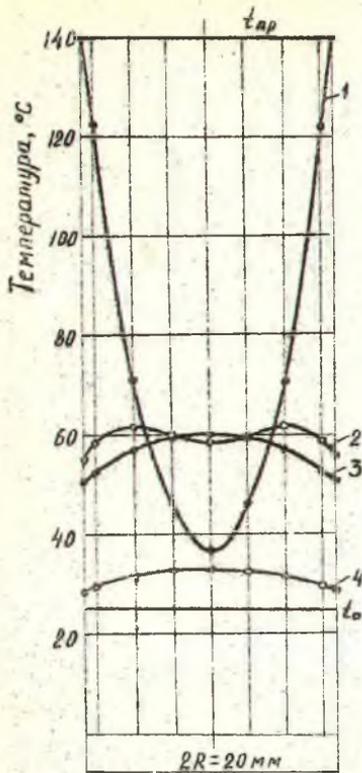


Рис.3. Кривые распределения температуры по сечению свободного охлаждаемого щита:

1 - в момент размыкания плит пресса;

2,3,4 - соответственно, после выдержки в течение 3,4, 5 и 40 мин.

Таблица 2

Изменение температуры в сечении щита во время прессования

Время прессования, сек	Расчетные значения температуры, °C			Опытные, °C	
	односторонний нагрев : в клеевом слое	двухсторонний нагрев : в клеевом слое	двухсторонний нагрев : в середине щита	в клеевом слое	в середине щита
0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
15	81,0	80,0	20,0	65,0	20,0
30	91,5	91,0	20,4	84,0	21,5
60	99,5	98,4	22,0	97,2	25,2
120	105,5	105,5	34,0	104,3	41,5
180	108,0	108,4	46,2	107,0	51,2
240	109,8	110,7	59,2	108,8	61,3
300	111,0	112,0	70,2	109,2	72,4
360	111,7	112,9	78,6	110,0	78,8

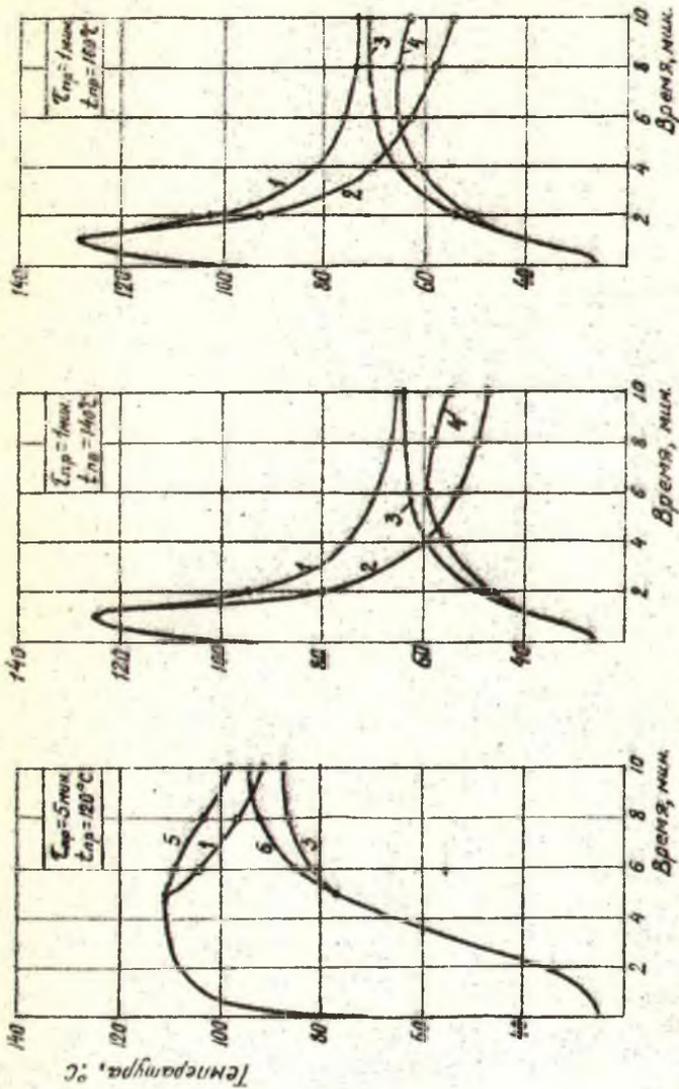


Рис. 4. Кривые нагрева штов при облицовке и последующем выравнивании температуры по сечению:

1 - изменение температуры в клеювом слое при выдержке штов в стале; 2 - то же, при свободной выдержке; 3 - изменение температуры в середине шта при выдержке в стале; 4 - то же, при свободной выдержке; 5 - изменение температуры в клеювом слое при выдержке штов в стале совместно с прокладками; 6 - то же, в середине шта.

Расчетные значения средней температуры нагрева несколько ниже фактических, полученных по опытным данным. С учетом условий и особенностей, имеющих место на практике, в табл.3 приведены значения средней температуры нагрева щитов в зависимости от основных факторов (для  $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$ ;  $\tau_{\text{предв.}} = 10 \text{ сек}$ ; выдержка в стопе без прокладок).

Приведенные в табл.3 данные характерны для условий прессования в однопролетном прессе. Если облицовка ведется в многопролетном прессе, температура щитов будет несколько выше в результате нагрева их за время, предшествующее установлению давления, а также за счет передачи щитами тепла, аккумулированного дираляминиевыми прокладками. В этом случае необходимо брать поправочные коэффициенты: при механизированной загрузке и выгрузке щитов - I,1, при ручной - I,15.

Таблица 3

Средняя температура нагрева щитов,  $^{\circ}\text{C}$ 

время прессова- ния, сек	Толщина облицованных щитов, мм							
	20				26			
	Температура плит пресса, $^{\circ}\text{C}$							
	100	120	140	160	120	140	120	140
45		46,4	51,8	51,1	51,0	57,0	60,2	67,6
60		52,6	58,7	64,9	56,3	63,8	67,3	75,3
75		56,3	63,0	74,8	61,0	68,9	72,4	81,2
90	49,6	59,6	67,1	83,2	65,1	73,0	76,2	86,3
120	54,4	65,3	74,4	90,0	71,3	80,2	82,7	94,0
150	58,1	70,2	80,3		76,0	86,3	88,5	101,4
180	61,3	74,8	85,2		80,3	91,0	93,7	107,3
240	65,9	80,7			87,3		101,6	
300	70,5	86,9			92,8		107,2	
600	87,2	105,0			110,0		118,0	

### III. Охлаждение щитов при естественной конвекции

Для определения продолжительности охлаждения стопы необходимо иметь значения коэффициента теплоотдачи с поверхности. Основными охлаждающими поверхностями для стоп являются боковые, образованные кромками. Коэффициенты теплоотдачи с поверхностей пластей и кромок плит не одинаковы, притом значения последних неизвестны. Поэтому для практики необходимо пользоваться данными на основании опытов.

Продолжительность охлаждения щитов в стопе зависит в основном от размеров последней и средней начальной температуры. Для практического пользования табл.4 приведено время охлаждения стоп в зависимости от указанных факторов. Данные приведены для температуры воздуха 20°C и условий, если один из размеров стопы (определяющий) меньше остальных в 3 и более раз (т.е. случай неограниченной пластины). Если в стопе будет два одинаковых определяющих размера, то в соответствии с расчетом данные необходимо уменьшить в 1,8 раза, а при всех одинаковых размерах - в 2,35 раза.

Полное охлаждение щитов в стопе требует очень длительного времени. На основании исследований величины устойчивого коробления установлено, что охлаждение в стопе достаточно производить до температуры 30 - 40°C. Большее значение ее относится к щитам малых размеров, менее ответственными или закрепляемым в изделии. Для таких деталей, как дверки шкафов, охлаждение в стопе должно быть более полное, т.е. до 30°C.

На продолжительность выдержки оказывает влияние расстояние между одновременно охлаждаемыми стопами. При размере стоп 500x1500x1500 мм и  $t_0 = 80^\circ\text{C}$  зависимость между двумя факторами выражается уравнениями:

$$\tau_{охл} = e^{3,2(t-l)} + 69,5 \text{ час (при охлаждении до } 30^\circ\text{C)} \quad (12)$$

$$\tau_{охл} = e^{3,4(t-l)} + 49,6 \text{ час (при охлаждении до } 40^\circ\text{C)} \quad (13)$$

где  $l$  - расстояние в м.

На основании данных опытов показано, что расстояние между смежными охлаждаемыми стопами менее 0,5 м нежелательно.

Таблица 4

Продолжительность охлаждения щитов в стопах (в час)

Средняя температура нагрева, °С	Определяющий размер, мм						
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
90	<u>145,5</u>	<u>108,7</u>	<u>75,5</u>	<u>50,4</u>	<u>29,6</u>	<u>13,9</u>	<u>4,1</u>
	104,0	74,0	52,0	34,4	20,0	9,5	2,8
70	<u>116,0</u>	<u>86,5</u>	<u>61,7</u>	<u>40,2</u>	<u>23,2</u>	<u>11,2</u>	<u>3,4</u>
	71,8	66,6	47,5	25,3	14,5	6,9	2,1
50	<u>74,5</u>	<u>56,0</u>	<u>39,1</u>	<u>25,3</u>	<u>14,7</u>	<u>7,2</u>	<u>2,1</u>
	35,7	25,2	18,2	12,0	7,1	3,3	1,0

Примечание: в числителе - при охлаждении до 30°С, в знаменателе - при охлаждении до 40°С.

#### IV. Охлаждение щитов при принудительной циркуляции воздуха.

Проведенные опыты по определению продолжительности охлаждения щитов в зависимости от различных факторов показали достаточно близкое соответствие экспериментальных и расчетных данных при условии, если в основу расчета принимается формула (9). Опытные значения при этом несколько меньше расчетных, что связано в основном с интенсивным охлаждением кромок щитов (при расчетном методе охлаждение поверхности кромок не учитывается). Кроме того, расчетный метод предусматривает одинаковую начальную температуру по всей длине щита, а фактически периферийные зоны его имеют несколько меньшую температуру. Для практики расчетный метод определения приемлем, так как некоторое превышение данного параметра по отношению к фактически допустимому принимаемому минимальному значению на качестве щитов всегда будет сказываться в лучшую сторону.

К режимным факторам охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха могут относиться скорость воздуха, ширина щели между ци-

тами и температура воздуха. Остальные, как было указано, должны только учитываться. Однако регулирование температуры воздуха возможно в холодное время. В летнее время этот фактор практически не регулируется, т.е. режим охлаждения может лишь учитывать колебание температуры. Ширина щели между щитами, после того как определяется ее оптимальное значение, остается величиной постоянной. Экспериментально оптимальное значение ширины щели установлено 8 мм. При большей ширине значительно возрастает расход воздуха (или уменьшается его скорость), а продолжительность охлаждения щитов сокращается мало.

Оптимальное значение скорости воздуха установлено 3 м/сек. Увеличение ее ведет еще к заметному сокращению продолжительности охлаждения щитов, однако при этом значительно возрастает расход воздуха.

Так как положение щитов при рассматриваемом способе охлаждения фиксируется, то сразу после охлаждения коробление их меньше, чем после окончания выдержки в стопе. Но в последующем величина коробления щитов изменится в первом случае несколько больше. В связи с этим, исходя из величины устойчивого коробления, установлено, что охлаждение мебельных щитов при принудительной циркуляции воздуха должно проводиться до средней температуры  $30^{\circ}\text{C}$ .

На основании изложенного и проведенных расчетов на рис.5 показана функция отклика  $\tau_{охл} = f(\bar{t}_0, t_g)$  для следующих условий:

$v_0 = 3$  м/сек;  $S = 20$  мм;  $r = 700$  кг/м<sup>3</sup>; средняя температура охлаждения  $50^{\circ}\text{C}$ ; расчетная длина щита  $\ell_p = 0,25$  м (средней температуре по сечению щита при  $\ell_p$  близко соответствует средняя температура по объему щита при длине его  $\ell = 2\ell_p$ . То-есть, данные  $\tau_{охл}$  рис.5 соответствуют средней температуре по объему щита при длине его  $\ell = 0,5$  м).

Для практических расчетов предлагается простой и достаточно точный табличный метод определения продолжительности охлаждения щитов. В табл.5 приведена зависимость  $\tau_{охл} = f(\bar{t}_0)$  для  $t_g = 20^{\circ}\text{C}$  и  $\delta = 8$  мм. Остальные условия те же, что и для рис.5. В табл.6 приведены поправочные коэффициенты, полученные на основании экспериментов, которые необходимо учитывать в тех случаях, когда какие-либо из факторов имеют отклонения от значений, принятых для табл.5 или для рис.5. Поправочные коэффициенты для фактора  $\ell$  можно не учитывать, так как колебания его для практических условий работы небольшие. Изменение же плотности плиты будет однозначно сказываться как на скорости охлаждения, так и на скорости нагрева.

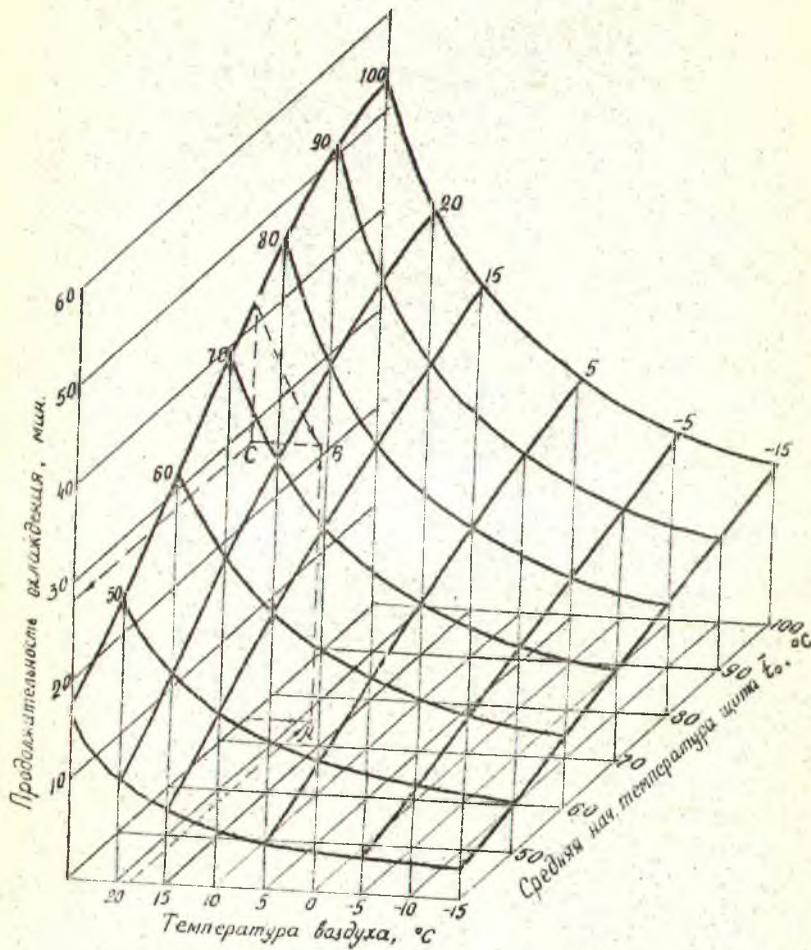


Рис. 5 Поверхность отклика  $\tau_{охл} = f(\bar{t}_0, t_g)$ .

Таблица 5

Зависимость продолжительности ускоренного охлаждения щитов от их средней температуры нагрева

Средняя температура нагрева щитов, °С	100	90	80	70	60	50
Время выдержки при охлаждении до температуры 30°С, мин	40,0	37,5	33,5	29,0	23,5	17,0

При интенсивном охлаждении щитов по их длине и толщине образуются перепады температуры. Экспериментальные исследования величин перепадов температуры, а также времени их выравнивания, показали следующее.

Перепад температуры по длине щита практически не зависит от скорости воздуха, толщины щита и плотности плиты. Больше всего он зависит от начальной температуры и длины щита и температуры охлаждающего воздуха. Максимальный перепад температуры достигается к середине периода охлаждения, а к концу значительно уменьшается. При охлаждении воздухом температурой 20°С к концу охлаждения перепад температуры при длине щита 0,5; 1,0 и 1,5 м и начальной средней температуре 80°С равен примерно 5,7 и 8°С, а при температуре воздуха 0°С — соответственно 15, 17 и 18°С.

По сечению величина перепада температуры зависит в основном от скорости и температуры воздуха, толщины и степени нагрева щита. К концу охлаждения величина перепада значительно уменьшается.

После окончания охлаждения выравнивание температуры по сечению происходит быстро, при этом, поверхностные слои щитов несколько нагреваются, а средние интенсивно охлаждаются. В первое время происходит интенсивное выравнивание температуры и по длине щита, а затем замедляется. При этом уменьшение перепада происходит как за счет выравнивания температуры по сечению, так и за счет дальнейшего охлаждения. Для выравнивания температуры по объему щитов после ускоренного охлаждения их воздухом при  $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$  для практики достаточно дать выдержку в условиях цеха в течение 10-ти мин.

Значение поправочных коэффициентов для определения продолжительности ускоренного охлаждения

Факторы	Значения факторов и коэффициентов				
Толщина шита, мм	$\frac{8}{0,29}$	$\frac{12}{0,5}$	$\frac{16}{0,77}$	$\frac{20}{1,0}$	$\frac{24}{1,25}$
Скорость воздуха, м/сек	$\frac{0}{10,0}$	$\frac{1}{2,0}$	$\frac{2}{1,25}$	$\frac{3}{1,0}$	$\frac{5}{0,77}$
Температура воздуха, °С	$\frac{-10}{0,38}$	$\frac{0}{0,48}$	$\frac{10}{0,67}$	$\frac{15}{0,77}$	$\frac{20}{1,0}$ $\frac{25}{1,43}$
Ширина щели, мм	$\frac{4}{1,25}$	$\frac{8}{1,0}$	$\frac{20}{0,9}$		

Примечание: в числителе - значения факторов, в знаменателе - коэффициентов.

#### У. Изменение прочности плит в процессе прессования и охлаждения

При прочности необлицованной плиты на растяжение перпендикулярно пласти  $\sigma_{рл} = 0,5$  н/мм<sup>2</sup> соответствующий показатель после облицовки (по режиму, приведенному в методике) оказался равным:

при охлаждении в ступе  $\sigma_{рл} = 0,422$  н/мм<sup>2</sup>,

при ускоренном охлаждении  $\sigma_{рл} = 0,436$  н/мм<sup>2</sup>.

По величине отношения коэффициента корреляции к его средней ошибке ( $\frac{r}{m_r} = 2,87 < 4$ ) установлено, что способ охлаждения не оказывает существенного влияния на изменение прочности плиты. Можно говорить лишь о тенденции некоторого дополнительного снижения прочности при длительном охлаждении. Таким образом, заметное снижение прочности имело место в процессе горячего прессования, а не при охлаждении.

## II. Принципиальные конструктивные решения ускоренного способа охлаждения щитов.

Конкретные решения ускоренного способа охлаждения щитов после облицовки могут иметь несколько вариантов. На Молодечненской мебельной фабрике ускоренное охлаждение решено следующим образом.

Щиты после выгрузки из пресса укладываются в тележку на прокладках толщиной 8 мм. Сверху в тележке имеется винтовой прижим для щитов. Тележки подаются в охлаждательную камеру, в которой вентилятором создается движение воздуха ( $v = 3$  м/сек, забор воздуха может быть с улицы и с цеха). Всего в одну камеру загружается 4, в другую 5 тележек. В каждую тележку может укладываться до 40 щитов. При установленных в цехе трех прессах типов П713 А и П713 Б площадь для охлаждения щитов составляет всего 40 м<sup>2</sup>. Обработка щитов после облицовки может производиться примерно через час. Кроме того, щиты находятся в камерах с вытяжной вентиляцией в период максимального испарения свободного формальдегида, что снижает его концентрацию в цехе. Для устройства камер необходимо выполнить несложные расчеты:

1. Определить габариты тележек применительно к размерам щитов. Высоту их необходимо принять из расчета укладки щитов кратного числа запрессовок.
2. Установить минимальную продолжительность цикла запрессовки.
3. Принять оптимальный режим охлаждения и определить его продолжительность для летнего времени.
4. Определить количество одновременно загружаемых в камеру тележек.
5. Определить габариты охлаждающей камеры и расход воздуха.

Перемещение тележек в камере может быть продольным или поперечным. В последнем случае число тележек в камере должно быть на одну больше против расчетного, так как средняя температура охлаждающего воздуха будет несколько выше, чем наружного. Но и в этом случае такая схема устройства камеры более удобная, так как расход воздуха значительно сокращается по сравнению с камерой с продольным перемещением тележек. При одновременном охлаждении в камере пяти тележек перепад температуры по длине щитов несколько меньше, чем при одной тележке.

Применение на Молодечненской мебельной фабрике ускоренного охлаждения щитов позволило повысить их качество за счет улучшения организации работы на участке и уменьшения коробления за счет полного охлаждения. Кроме того, достигнут годовой экономический эффект в сумме 5,4 тыс.руб., в основном за счет высвобождения производственных площадей и уменьшения неснижаемых запасов в цехе.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании обзора работ и обследований ряда мебельных предприятий дан анализ различных свойств древесностружечных плит, режимов облицовки и последующего охлаждения щитов. Рассмотрены расчетные методы решения задач нагрева и охлаждения щитов в плотных и расчлененных стопах, соответственно при естественной и при принудительной циркуляции воздуха. Установлены величины отклонений фактических производственных условий по отношению к принимаемым в расчетных методах допущениям и показано их влияние при решении задач нагрева.

2. Факторами, которые оказывают существенное влияние на степень нагрева щитов при облицовке в однопролетном прессе, являются: время прессования, температура плит прессы и толщина щитов, а в многопролетном - дополнительно: способ загрузки и разгрузки прессы, продолжительность времени от загрузки до установления давления и наличие контактных прокладок. Определены скорость и средняя температура нагрева щитов (табл.2 и 3).

3. Из учета величины устойчивого коробления щитов установлено, что в стопах охлаждение их может вестись до 30 - 40°C (меньшее значение температуры - для больших размеров и более ответственных деталей), а ускоренное - до 30°C.

4. Продолжительность выдержки должна устанавливаться с учетом размеров стои и степени нагрева щитов (табл.4). С целью уменьшения взаимного влияния охлаждаемых стои расстояние между ними менее 0,5 м нежелательно (при высоте стои 1,5 м).

5. При значительном нагреве щитов целесообразно применять ускоренное их охлаждение. Скорость охлаждающего воздуха достаточно принимать 3 м/сек, а ширину щели между щитами при укладке их на прокладках — 8 мм. Большие значения этих факторов не дают преимущества, так как некоторое сокращение продолжительности охлаждения ведет к заметному увеличению расхода воздуха. Для указанных значений скорости воздуха и ширины щели размеры охладительных камер будут небольшими (на 4-5 тележек).

6. Продолжительность ускоренного охлаждения определяется в зависимости от различных факторов (рис.5, табл.5,6). при этом регулирование ее в некотором пределе может производиться за счет скорости воздуха.

7. Температурные перепады по сечению щита к концу ускоренного охлаждения сравнительно небольшие и в первое время после окончания такого охлаждения быстро уменьшаются. Перед разгрузкой тележки достаточно выдержки в течение 10 мин.

8. Для загрузки щитов в камеру хороша зарекомендовали себя тележки с прижимным приспособлением. Устройство камеры с поперечным перемещением тележек лучше, так как это не требует большого расхода воздуха. Количество тележек должно быть больше на одну против расчетного числа, так как скорость охлаждения в этом случае несколько снижается.

9. Ускоренное охлаждение способствует лучшему сохранению прочности древесностружечных плит, позволяет обеспечить полное охлаждение и хорошую формоустойчивость щитов, значительно сокращает технологический цикл на стадии между облицовкой и обработкой и позволяет организовать непрерывный технологический процесс на стадии облицовка — механическая обработка.

Основное содержание диссертации опубликовано —  
но в следующих работах:

1. Технический прогресс и экономическая эффективность производства на Молодечненской мебельной фабрике (в соавторстве с Липовой Г.М.). Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции, Минск, 1971.

2. Планирование и постановка отсеивающего эксперимента при

исследовании нагрева древесностружечных плит в процессе фанерования (в соавторстве с Барташевичем А.А.). Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции, Минск, 1972г.

3. Изменение прочности и формоустойчивости древесностружечных плит при фанеровании и последующем охлаждении. Тезисы республиканской научно-технической конференции, Минск, 1972.

4. Расчет и регулирование продолжительности ускоренного охлаждения щитов после фанерования, Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции, Минск, 1972г.

5. Древесностружечные плиты предприятий БССР (в соавторстве с Барташевичем А.А. и Буйвидовичем Ф.В.). Сборник "Механическая технология древесины", вып.2. "Высшая школа", Минск, 1972.

6. Продолжительность нагрева и охлаждения древесностружечных плит (в соавторстве с Барташевичем А.А.). Сборник "Механическая технология древесины", вып.2. "Высшая школа", Минск, 1972.

7. Камера для охлаждения щитов после фанерования. Реферативная информация "Мебель" ВНИПИЭЛеспром, № 1, 1973.

8. Нагрев и продолжительность охлаждения древесностружечных плит (в соавторстве с Барташевичем А.А.). Ж. "Деревообрабатывающая промышленность", № 8, 1973.

9. Погрешность допущений и их влияние при решении задач нагрева и охлаждения древесностружечных плит" (в соавторстве с Барташевичем А.А. и Буйвидовичем Ф.В.). Сборник "Механическая технология древесины", вып.3, "Высшая школа", Минск, 1973.

Результаты исследований доложены на научно-технических конференциях:

1. БТИ им.С.М.Кирова по итогам научно-исследовательских работ - 1970, 1971, 1972, 1973 гг.
2. Республиканской научно-технической конференции, Минск, 1971г.
3. Республиканской научно-технической конференции, Молодечно, 1972г.

Отпечатано на ротационном тип. "Победа"  
АТ 10168. Подписано в печать 17.У.74 г.  
Объем 1,75 п.л. Тираж 210 экз  
Формат 60x84 1/16. Заказ 5594  
Бесплатно  
г. Молодечно, пер. Привокзальный, 11