

674
Д36

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Б С С Р

Белорусский технологический институт имени С.М.Кирова

На правах рукописи

ДЕРГАЧЕВ Петр Андреевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА МОЧЕВИНО-ФОРМАЛЬДЕГИДНОГО
КЛЕЯ НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ ФАНЕРЫ И РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

05.21.01 - Процессы и механизация
деревообрабатывающих производств

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

Минск 1977

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова на кафедре клееных материалов и плит.

Научный руководитель: профессор, кандидат технических наук МИНИН А.Н.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук КУЛИКОВ В.А.,
доцент, кандидат технических наук КУЗЬМИЧ Н.С.

Ведущее предприятие - Производственное объединение "Борисовдрев".

Защита состоится " _____ " _____ 197 г. в _____ час. на заседании специализированного совета К-497/2 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова.

Адрес: 220630, г. Минск-50, ул. Свердлова, 13-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского технологического института им. С.М.Кирова.

Автореферат разослан " _____ " _____ 197 г.

Ученый секретарь специализированного совета, доцент, кандидат технических наук ГРУШЕВСКАЯ Е.А.

ИСПИХ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы», утвержденных XXV съездом КПСС, поставлена задача по ускорению темпов научно-технического прогресса, как решающего условия повышения эффективности общественного производства и улучшения качества продукции.

Фанера, как в настоящее время, так и в перспективе остается эффективным продуктом переработки древесины при рациональном использовании сырья и снижении материальных затрат с улучшением ее качества. Одним из путей снижения материальных затрат является сокращение расхода клея, так как в себестоимости изготовления фанеры его стоимость составляет около 20%. При этом около 70% фанеры от ее общего объема выпускается на мочевино-формальдегидных клеях. Один процент снижения расхода клея в целом по фанерной промышленности позволит сократить расход мочевино-формальдегидной смолы на 850 тонн в год и получить экономический эффект в 157 тыс. рублей. Возможности же снижения расхода клея могут быть значительно большими.

Однако в целом проблема влияния расхода мочевино-формальдегидного клея на прочность склеивания фанеры в зависимости от различных факторов изучена недостаточно, хотя она имеет большое теоретическое, технологическое и экономическое значение. Настоящая работа и направлена на решение данной проблемы.

Ц е л ь р а б о т ы. Разработка мероприятий по снижению расхода мочевино-формальдегидного клея за счет изменения технологических факторов и режимов склеивания в производстве фанеры.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Теоретически установлена взаимосвязь между толщиной клеевого слоя и расходом клея при склеивании идеально гладких и шероховатых поверхностей непористых и пористых материалов. Выведена аналитическая формула и по ней построена номограмма для расчета потребного расхода жидкого клея в зависимости от толщины сплошного клеевого слоя между выступами микронеровностей и от величины шероховатости склеиваемых поверхностей, а также от объема пор и проникновения клея на соответствующую толщину шпона.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. В результате проведенных экспериментальных исследований и опытно-промыш-

4685 ар

БИБЛИОТЕКА ЦУМ
им. С. А. Пушкина

ленной проверки разработана технология производства фанеры марки ФК при пониженном расходе клея, отличающаяся от существующей тем, что обеспечивается малое (70-80 г/м², вместо рекомендуемых по технологической инструкции 100-110 г/м²) и равномерное нанесение жидкого не вспененного клея на обе поверхности листа лущеного шпона без снижения прочности склеивания. Утечка смолы шпона уменьшается на 1,9%.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Результаты диссертационной работы обсуждались и получили положительную оценку на научно-технических конференциях Белорусского технологического института им. С.М.Кирова в 1972 и 1974 гг., а также на Всесоюзной научной конференции «Рациональное и комплексное использование древесины в деревообрабатывающей промышленности» в 1974 г.

Результаты экспериментальных исследований апробированы на Борисовском ПДО и получили положительные подтверждения.

Основные положения диссертационной работы и предложения автора рассмотрены, одобрены и приняты к внедрению расширенным заседанием секции научно-технического совета Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности БССР 20 января 1977 г.

П у б л и к а ц и я. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из семи разделов, списка литературы из 84 наименований и 10 приложений, изложенных на 189 страницах машинописного текста с 16 таблицами и 30 рисунками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе диссертации (во введении) кратко характеризуется современное состояние производства фанеры, обоснована актуальность настоящей работы и необходимость ее проведения.

Во втором разделе приведен аналитический обзор по влиянию толщины клеевого слоя и расхода клея на прочность склеивания пористых и непористых материалов с гладкими и шероховатыми поверхностями, сформулированы цели и задачи исследования.

В нашей стране изучением влияния толщины клеевого слоя на

прочность склеивания гладких поверхностей цельной древесины занимались Б.М.Буглай, И.П.Бердинский, шпона - В.А.Куликов, В.М.Хрулев, А.Н.Минин, А.Н.Михайлов, металлов и пластмасс - Д.А.Карлашов, И.И.Михалев, А.Т.Саяжировский, М.С.Дыльков и др. Все исследователи пришли к выводу, что прочность склеивания возрастает с уменьшением толщины клевого слоя.

Ценный вклад в изучение влияния расхода клея на прочность склеивания древесных материалов внесли академические, учебно и научно-исследовательские институты (ЦНИИФ, ЦНИИМОД, ВИЛМ, НИИЛМ и др.). Были также проведены исследования отдельными авторами: по изготовлению фанеры - В.А.Куликовым, В.М.Хрулевым, А.Н.Мининым, А.Н.Михайловым, Р.Э.Темкиной, Г.П.Плотниковой, А.Т.Орловым, А.Д.Гнабелем, Т.В.Шевандо, В.Ф.Лосицким, Е.А.Демьяновым, по фанерованию древесины - И.С.Коротчаевым, С.Н.Зигельбоймом, по изготовлению гнучоклеенных заготовок - А.А.Порожиним, Л.А.Манкевичем, А.А.Куцаком, по склеиванию цельной древесины - Э.Р.Яксон, В.М.Ивановым, Л.М.Ковальчуком и др. Для горячего склеивания березового лущеного шпона они рекомендуют расход мочевино-формальдегидного клея 50-110 г/м² при давлении на пакет шпона 20 кгс/см². Однако следует отметить, что все исследования, проведенные ранее, носят разрозненный характер: не изучена взаимосвязь между степенью шероховатости поверхности шпона, расходом клея и величиной давления прессования. При склеивании шпона толщиной до 2 мм технологической инструкцией по производству фанеры рекомендуется расход клея 100-110 г/м² и давление прессования 18-21 кгс/см². При этом шпон сушится до более низкой влажности, удлиняется режим склеивания, образуются пузыри, увеличивается упрессовка пакета, повышается влажность и понижается прочность склеивания фанеры и пр.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы является исследование процесса склеивания и разработка мероприятий по снижению расхода клея в производстве фанеры марки ФК.

Для достижения намеченной цели в диссертации предстояло решить следующие задачи:

теоретически и экспериментально установить влияние расхода мочевино-формальдегидного клея на прочность склеивания фанеры и величину упрессовки пакета при различной степени шероховатости поверхности лущеного шпона и величине давления прессования;

выяснить влияние начальной влажности шпона при малом расходе клея и оптимальном давлении прессования на прочность склеивания фанеры и величину упрессовки пакета;

изыскать способ и конструкцию оборудования для нанесения более равномерного и малого количества неспевенного мочевино-формальдегидного клеев на поверхность листа шпона;

проверить в промышленных условиях результаты лабораторных исследований по изготовлению фанеры марки ФК при пониженном расходе клея и различной величине давления прессования;

разработать технологию производства фанеры марки ФК при пониженном расходе клея;

определить экономическую эффективность от внедрения предлагаемых мероприятий в промышленность.

Т р е т ь и й р а з д е л посвящен теоретическим предпосылкам по изучению влияния толщины клеевого слоя и расхода клея на прочность склеивания. Между толщиной клеевого слоя и расходом клея при соответствующих технологических факторах в этом разделе установлена взаимосвязь.

При склеивании идеально гладких и ровных поверхностей непористого материала (рис. 1) толщина клеевого слоя (мкм) определяется:

$$h_2 = \frac{q_n}{\rho_k}, \quad (1)$$

где q_n - расход жидкого клея, г/м²; ρ_k - плотность клея, г/см³ (для мочевино-формальдегидных клеев равна 1,15-1,20).

При склеивании же шероховатых поверхностей пористого материала, например, лущеного шпона, средняя толщина (мкм) жидкого клеевого слоя состоит из толщины сплошного слоя клея (h_w), находящегося между выступами микронеровностей, глубины заполнения клеем впадин микронеровностей (h_g) и глубины проникновения клея в поры древесины (h_n) (рис. 2):

$$h_c = h_w + 2h_g + 2h_n. \quad (2)$$

Поперечное сечение шпона можно условно рассматривать как состоящее из двух различных слоев, один из которых представляет собой поверхностный слой древесины, включающий микронеровности обеих сторон шпона, а второй - сплошной слой древесины (тело шпона). Из этого следует, что при нанесении клея на поверхность листа шпона в первую очередь увлажняются выступы микронеровностей. Соответственно уменьшается их сопро-

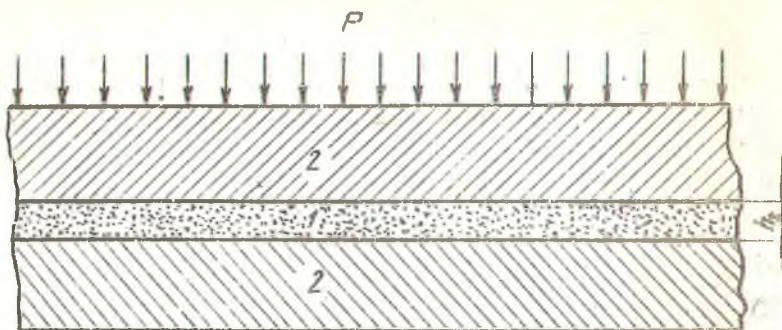


Рис. 1. Схема толщины жидкого клеевого слоя между идеально гладкими и равными поверхностями непористого материала:

1 — слой клея; 2 — склеиваемые материалы; h_2 — толщина клеевого слоя.

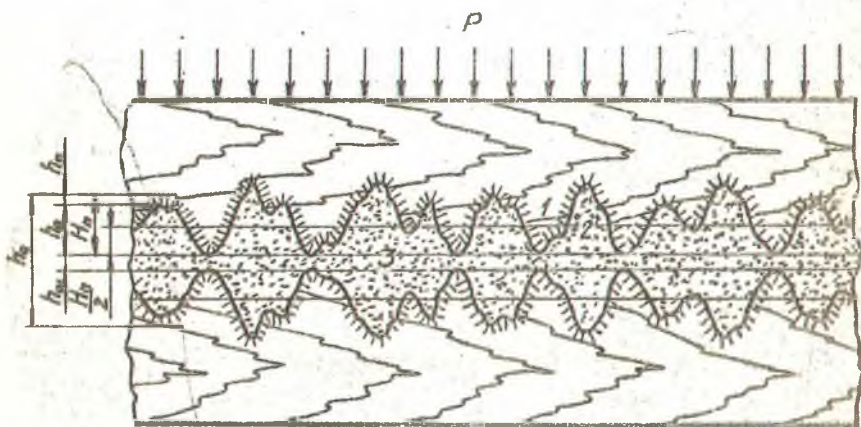


Рис. 2. Схема толщины жидкого клеевого слоя между шероховатыми поверхностями пористого материала:

1 и 2 — выступы и впадины неровностей; 3 — слой клея; h_3 — толщина непрерывного клеевого слоя между выступами; H_p — приведенная общая глубина проникновения клея во впадины (h_6) и поры (h_5); h_4 — средняя толщина клеевого слоя.

гивление давлению прессования и, вероятно, упрессовка шпона будет происходить в основном за счет деформации этих выступов. При прочих равных условиях величина смятия выступов находится в прямой зависимости от их высоты: чем ниже качество обработки поверхности шпона, тем на большую величину они деформируются под действием приложенного внешнего давления. Оставшаяся высота микронеровностей (мкм) после их деформации будет равна:

$$h_0 = R_{z_{\text{макс}}} - 10^3 \left(\frac{\sum S_w - S_{\text{ф}}}{2n} \right) = R_{z_{\text{макс}}} - \frac{10^3 \sum S_w Y}{200n}, \quad (3)$$

где $R_{z_{\text{макс}}}$ - шероховатость поверхности шпона, мкм; $\sum S_w$ - толщина пакета шпона до склеивания, мм; $S_{\text{ф}}$ - толщина фанеры, мм; n - число слоев шпона в листе фанеры; Y - упрессовка пакета, %.

Глубина проникновения клея (мкм) в древесину зависит от ее микроскопического строения, главным образом, от длины волокон и угла, под которым они наклонены к склеиваемой поверхности:

$$h_n = 10^3 l \sin \alpha, \quad (4)$$

где l - средняя длина волокон, мм (для березовой древесины 0,8-1,6); α - угол наклона волокон, град. (в шпоне около $0^\circ 20'$).

Подставляя вышеприведенные значения в формулу (2), получим среднюю толщину клеевого слоя:

$$h_c = h_w + 2 \left(R_{z_{\text{макс}}} - \frac{10^3 \sum S_w Y}{200n} \right) + 2 \cdot 10^3 l \sin \alpha. \quad (5)$$

Из анализа формулы (5) видно, что в данном случае средняя толщина клеевого слоя h_c из-за наличия на склеиваемых поверхностях объема выступов и впадин микронеровностей и пор в древесине больше толщины h_2 .

Расход жидкого клея, потребного для контактирования его с материалом в любой точке, определяется:

при склеивании идеально гладких и ровных поверхностей непористого материала

$$q_n = h_2 \rho_{\text{ж}}; \quad (6)$$

при склеивании оборотных сторон луценого шпона

$$q_n = q_1 + 2q_2 + 2q_3 + 2q_4, \quad (7)$$

где q_1 - количество клея, необходимое для образования сплошного слоя между выступами микронеровностей склеиваемых

поверхностей; Q_2 - количество клея, необходимое для заполнения впадин микронеровностей склеиваемой поверхности; Q_3 - количество клея, необходимое для заполнения пор на соответствующую толщину шпона; Q_4 - количество клея, необходимое для заполнения микротрещин.

Расход жидкого клея ($\text{г}/\text{м}^2$) на образование сплошного слоя между выступами микронеровностей склеиваемых поверхностей может быть выражен:

$$Q_1 = h_w \rho_{ж} \quad (8)$$

Основной удельный вес в потребном расходе клея занимает вторая составляющая, которая находится в прямой зависимости от степени шероховатости склеиваемых поверхностей и в обратной от податливости древесины при взаимодействии давления прессования.

Учитывая специфику процесса лущения древесины, мы знаем, что профиль микронеровностей шпона образован рядом треугольников различной высоты, расположенных на его поверхности. Микронеровности имеют более или менее постоянный шаг и при этом распределение их высот подчиняется нормальному закону. Объем впадин микронеровностей прямо пропорционален шероховатости поверхности шпона и выражается зависимостью, полученной методом наименьших квадратов $V_0 = 0,476 R_{z, макс}$. За расчетную толщину клеевого слоя приблизительно можно принять величину, равную $0,5 R_{z, макс}$.

Объем впадин микронеровностей ($\text{см}^3/\text{м}^2$) на одной из склеиваемых поверхностей шпона после прессования может быть определен:

$$V_0 = 0,5 \left(R_{z, макс} - \frac{10^3 \sum S_w Y}{200\pi} \right) \quad (9)$$

Отсюда потребный расход жидкого клея ($\text{г}/\text{м}^2$) для заполнения впадин микронеровностей составит:

$$Q_2 = \rho_{ж} V_0 = 0,5 \rho_{ж} \left(R_{z, макс} - \frac{10^3 \sum S_w Y}{200\pi} \right) \quad (10)$$

Для определения потребного расхода клея для заполнения пор и проникновения его на определенную глубину в древесину, необходимо знать пористость древесины, характеризующую объем внутренних пустот (полостей клеток и межклеточных пространств). Зная коэффициент разрыхления шпона, можно определить его плотность:

$$\rho_w = K_p \rho_g \quad (11)$$

где K_p - коэффициент разрыхления шпона; ρ_g - плотность древесины, г/см³.

Пористость шпона до прессования (%) по аналогии с пористостью цельной древесины составит:

$$\Pi_w = 100(1 - 0,65K_p\rho_g) \quad (12)$$

Объем пор в листе шпона (см³/м²), подлежащих заполнению клеем на одной из его сторон на определенную толщину, определяется по формуле:

$$V_n = \frac{\Pi_w}{100} h_n = 10^3(1 - 0,65K_p\rho_g) L \sin\alpha \quad (13)$$

Степень прессования шпона равна

$$\epsilon = \frac{\sum S_w - S_\phi}{\sum S_w} = \frac{y}{100} \quad (14)$$

Так как при прессовании в процессе склеивания шпона плотность древесины повышается от ρ_w до ρ_ϕ за счет уменьшения объема пор, то

$$\rho_\phi = \frac{\rho_w}{1 - \epsilon} = \frac{K_p \rho_g}{1 - \frac{y}{100}} \quad (15)$$

Аналогично уравнению (13) определяется объем пор (см³/м²) в шпоне фанеры:

$$V_n = 10^3(1 - 0,65\rho_\phi) L \sin\alpha = 10^3\left(1 - \frac{65K_p\rho_g}{100 - y}\right) L \sin\alpha \quad (16)$$

Учитывая, что в нашем случае шпон пропитывается клеем, имеющим большую вязкость, чем вода, коэффициент качества пропитки принимается равным 0,6. Поэтому расход клея для заполнения пор на определенную глубину одной из склеиваемых сторон шпона может быть определен:

$$q_3 = K_n \rho_{ж} V_n = 0,6 \cdot 10^3 \rho_{ж} \left(1 - \frac{65K_p \rho_g}{100 - y}\right) L \sin\alpha \quad (17)$$

Величины q_3 и q_4 исследованиями не выявлены, но отдельные наблюдения показывают, что при склеивании березового шпона на их долю приходится не свыше 20% от общего потребного расхода клея. Исходя из этого, трудно определить в отдельности потребное количество клея для заполнения пор на определенную глубину древесины и для заполнения микротрещин. Поскольку для заполнения микротрещин требуется слишком малое количество клея q_4 , то они исключаются нами из рассмотрения.

Для учета принятых допущений в аналитическую формулу вводится поправочный коэффициент ($K_K = 0,75$) на расход клея. Тогда, согласно уравнению (7), окончательная формула для опре-

деления необходимого расхода клея ($\text{г}/\text{м}^2$) приобретает вид:

$$q_n = K_k \rho_{\text{ж}} \left[h_{\text{ш}} + \left(R_{z, \text{микро}} - \frac{10^3 \sum S_{\text{ш}} y}{200n} \right) + 1,2 \cdot 10^3 \left(1 - \frac{65 K_p P_0}{100 - V} \right) L \sin \alpha \right]. \quad (18)$$

Из формулы (18) следует, что расход жидкого клея зависит от толщины сплошного клеевого слоя между выступами и от объема впадин микронеровностей склеиваемых поверхностей, а также от объема пор и проникновения клея на соответствующую глубину древесины (толщину шпона). С увеличением толщины сплошного клеевого слоя, объема впадин микронеровностей и объема пор, а также с увеличением длины волокон древесины и угла их наклона к склеиваемой поверхности будет увеличиваться потребное для их заполнения количество клея. Однако при прочих равных условиях, с увеличением давления на склеиваемый пакет шпона уменьшается толщина сплошного клеевого слоя, объем впадин микронеровностей и пор древесины, и, соответственно, уменьшится потребный расход клея. Из изложенного следует, что для того, чтобы снизить расход клея при изготовлении фанеры, необходимо получать гладкий, равномерный по толщине и плотный шпон с минимальным углом наклона волокон к его поверхности. Для облегчения пользования выведенной формулой (18) по ее расчетным данным построена номограмма. Порядок пользования номограммой показан на рис. 3.

С целью проверки приведенных выше теоретических зависимостей нами было проведено экспериментальное исследование по изучению влияния расхода мочевино-формальдегидного клея на прочность склеивания фанеры и упрессовку пакета при различной степени шероховатости поверхности шпона и величине давления прессования в лабораторных и производственных условиях.

В четвертом разделе изложены основные методические положения по проведению экспериментов и обработке их результатов, приводится описание основных установок.

Исходя из принятых в работе направлений исследования, предусматривалось определение влияния:

расхода клея на прочность склеивания фанеры и упрессовку пакета;

степени шероховатости поверхности лущеного шпона на прочность склеивания фанеры и упрессовку пакета;

Линейные координаты
 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120

Равенство

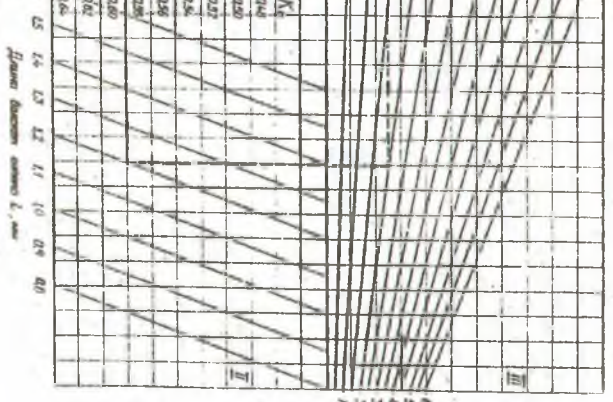
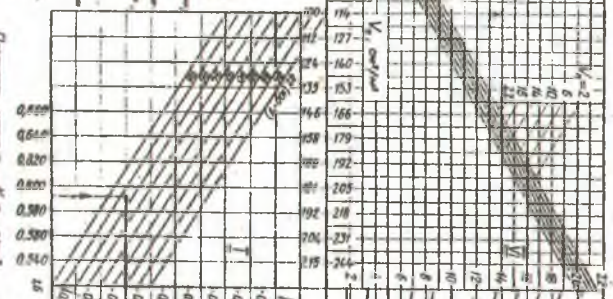
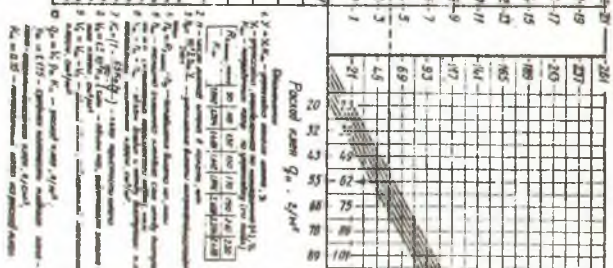
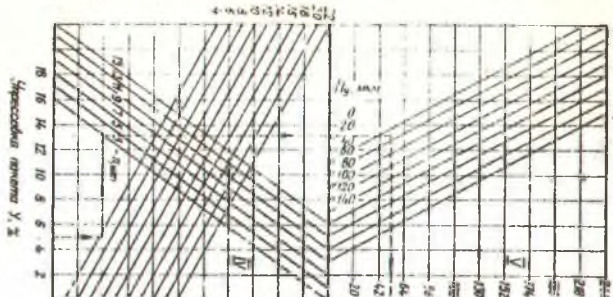


Рис. 3. Выявление для различных значений параметра λ зависимости скорости движения от времени t .

Указанные значения соответствуют значениям λ в таблице 1.

величины давления прессования на прочность склеивания фанеры и упрессовку пакета;

начальной влажности шпона на прочность склеивания фанеры и упрессовку пакета.

Постоянными факторами в исследовании принимались: порода древесины, размер листа лушеного шпона и его начальная влажность, марка клея, сборка пакета, режим склеивания, форма и размеры образцов, способы их изготовления и испытания, метрологические факторы (точность и условия изготовления).

Исследования в лабораторных условиях были проведены на безрезовом лушеном шпоне размером $200 \times 200 \times 1,5$ мм, влажностью $8 \pm 1\%$.

В качестве связующего применялся клей на основе мочевиноформальдегидной смолы МГ9-62, концентрацией 66,5%, вязкостью 90с по вискозиметру ВЗ-4 с исходными значениями рН 7,6. Для получения клея в смолу вводили 1% (по массе) хлористого аммония и доводили величину рН клея до 5,5-6,0. Вспенивание клея не производилось.

Клей на лист шпона наносился с двух сторон путем пропуска его между вальцами лабораторного клеенаносящего станка. Вальцы стенка съемные двух типов: гладкие обрезиненные и рифленые стальные. При нанесении клея 55 и 100 г/м² применяли гладкие обрезиненные вальцы, а при 150 и 200 г/м² - рифленые стальные. Давление верхнего вальца на шпон регулировалось прижимным устройством в зависимости от заданного расхода клея.

Сборка пакета производилась из трех листов шпона при взаимно перпендикулярном направлении волокон в склеиваемых поверхностях.

Склеивание шпона производилось горячим способом по одному пакету в проемутке лабораторного гидравлического пресса с двусторонним контактным нагревом по режиму, рекомендованному ЦНИИФом.

Переменными факторами в исследовании принимались: расход клея 55, 100, 150 и 200 г/м²; шероховатость поверхности шпона 90, 157 и 225 мкм; давление прессования 2,5; 5; 10; 15 и 20 кгс/см²; начальная влажность шпона 7,4; 9,3; 11,4; 13,7 и 17,3%.

Критерием оценки качества фанеры явилось определение предела прочности образцов при скалывании по клеевому слою.

Кроме того, визуально определялся характер скола (по древесине, клеевому слою, смешанный).

Результаты экспериментальных данных подвергались математической обработке. Применялся корреляционно-регрессионный анализ для построения математических моделей зависимости величин предела прочности фанеры при скалывании по клеевому слою в сухом состоянии (τ_c) и после вымачивания в воде в течение 24 ч (τ_a), а также зависимости величины упрессовки пакета (Y) от расхода клея (X_3), шероховатости поверхности шпона (X_1) и давления прессования (X_2). Поскольку поведение каждой из этих функций с достаточной точностью выразить одним уравнением оказалось делом чрезвычайно сложным, то на данном этапе было решено описать поведение каждой из функций τ_c , τ_a и Y двумя уравнениями: для малого (2,5 и 5,0 кгс/см²) и большого (10, 15 и 20 кгс/см²) давлений прессования в отдельности. Для удобства при дальнейшем изложении материала были введены следующие обозначения: $\tau_{см}$, $\tau_{ам}$ и Y_m функции τ_c , τ_a и Y при малом давлении прессования; $\tau_{сб}$, $\tau_{аб}$ и Y_b функции τ_c , τ_a и Y при большом давлении прессования.

Ввиду того, что с применением методов корреляционно-регрессионного анализа значения этих функций должны быть распределены по нормальному закону, вычислялось среднее квадратическое отклонение S_y , асимметрия β_1 , эксцесс β_2 , среднеквадратическое отклонение для асимметрии S_{β_1} и эксцесса S_{β_2} . Если выборочные асимметрия и эксцесс удовлетворяли неравенствам $|\beta_1| \leq 3S_{\beta_1}$ и $|\beta_2| \leq 5S_{\beta_2}$, то наблюдаемое распределение считалось нормальным. Для проверки однородности дисперсий был использован критерий Кохрена. Далее производили вычисление коэффициентов парной корреляции.

При выполнении всех предпосылок корреляционно-регрессионного анализа непосредственно приступали к построению регрессионных уравнений. Адекватность (пригодность) моделей проверялась по критерию Фишера. Другой важной характеристикой качества уравнения регрессии является коэффициент множественной корреляции R . С его помощью сравнивались различные формы уравнения регрессии. Предпочтение отдавалось тому уравнению, у которого была больше величина R , т.е. ближе к $R = 1$. Определялось среднее значение ошибки аппроксимации ϵ . Малые ошибки указывают на то, что уравнение выбрано правильно, в него включены основные факторы, в целом модель отражает реальную дей-

ствительность формирования величины зависимой переменной от учетных факторов.

В данной работе все вычисления проводились на ЭВМ „Минск-22“ или ЭВМ „Минск-32“ (в режиме совместности).

В п я т о м р а з д е л е приведены результаты экспериментальных исследований в лабораторных условиях, их математическая обработка и анализ.

Все эксперименты исследования и математическая обработка их результатов были проведены в строгом соответствии с вышеизложенной методикой. В результате были получены математические модели, описывающие исследуемый процесс зависимости предела прочности фанеры при скалывании по клеевому слою и упрессовки пакета от расхода клея, степени шероховатости поверхности шпона и величины давления прессования уравнениями регрессии. На практике не всегда удобно пользоваться математическими зависимостями в кодированных величинах. Для большей наглядности и удобства практического использования полученные уравнения регрессии преобразованы введением вместо кодированных величин величин именованных, после чего указанные уравнения приняли вид:

$$\tau_{\text{см}} = 25,79210 - 0,09257 R_{z \text{ макс}} + 1,30379P - 0,00051Pq + 0,00029 R_{z \text{ макс}} q \quad (19)$$

$$\tau_{\text{см}} = \exp \left[(278453 - 325 R_{z \text{ макс}} + 8477P + 418 q - 0,8 R_{z \text{ макс}}^2 - 1,5 q^2 - 29,3Pq + 2,3 R_{z \text{ макс}} q) \frac{1}{10^5} \right] \quad (20)$$

$$\tau_{\text{ср}} = 71,0106 - 0,06795 R_{z \text{ макс}} + 0,0121 \ln P - 0,15219 q - 5,44169 \ln R_{z \text{ макс}}^2 + 0,28769 \sqrt{R_{z \text{ макс}}} q \quad (21)$$

$$\tau_{\text{ср}} = \exp(3,5032 - 0,0045 R_{z \text{ макс}} + 0,000005P - 0,000012 q^2 + 0,000025 R_{z \text{ макс}} q) \quad (22)$$

$$Y_{\text{м}} = \exp(-6,08219 - 0,11197P - 0,00566 q + 0,45321 \ln q^2 + 0,72427 \ln R_{z \text{ макс}} P - 0,00056 \ln R_{z \text{ макс}} q) \quad (23)$$

$$Y_{\text{с}} = \exp(-10,22116 - 0,06033P - 0,00873 q + 0,00088P^2 + 0,68201 \ln q^2 + 1,03456 \ln R_{z \text{ макс}} P - 0,00152 \sqrt{R_{z \text{ макс}}} q) \quad (24)$$

где $R_{z \text{ макс}}$ - шероховатость поверхности шпона, мкм; P - давление прессования, кгс/см²; q - расход клея, г/м².

а) для фанеры, изготовленной при малом давлении прессования (2,5; 5,0 кгс/см²): $\tau_{\text{см}}$ - предел прочности при скалывании

по клеевому слою в сухом состоянии, кгс/см²; $\tau_{см}$ - то же после вымачивания в воде комнатной температуры в течение 24 ч, кгс/см²; Y_x - упрессовка пакета, %;

б) для фанеры, изготовленной при большом давлении прессования (10, 15, 20 кгс/см²): $\tau_{сб}$ - предел прочности при скалывании по клеевому слою в сухом состоянии, кгс/см²; $\tau_{сб}$ - то же после вымачивания в воде комнатной температуры в течение 24 ч, кгс/см²; Y_c - упрессовка пакета, %.

В нашем случае для всех уравнений регрессии коэффициенты множественной корреляции близки к единице. Это говорит о том, что выбранные нами формы уравнений регрессии хорошо описывают исследуемый процесс.

Уравнения регрессии (19) - (24) можно применять для определения предела прочности фанеры при скалывании по клеевому слою и упрессовки пакета в случаях, когда входящие в них величины не выходят за следующие пределы: шероховатость поверхности шпона $R_z \text{ макс} = 90 - 225$ мкм; давления прессования $P = 2,5 - 7,0$ кгс/см² для $\tau_{см}$, $\tau_{см}$, Y_x и $P = 7 - 20$ кгс/см² для $\tau_{сб}$, $\tau_{сб}$, Y_c ; расход клея $q = 55 - 200$ г/м².

Для наглядности по данным уравнений построены графики зависимости предела прочности фанеры при скалывании по клеевому слою (рис. 4) и упрессовки пакета (рис. 5) от расхода клея при различной величине давления прессования и разной степени шероховатости поверхности шпона.

Из графиков на рис. 4 видно, что с увеличением расхода клея от 55 до 200 г/м² при давлении прессования 2,5 и 5,0 кгс/см² (кривые 1 и 2) для всех трех исследуемых случаев шероховатости поверхности шпона (90, 157 и 225 мкм) прочность склеивания фанеры повышается.

С увеличением расхода клея от 55 до 110 г/м² (кривая 3) при давлении 10, 15 и 20 кгс/см² на пакет шпона с шероховатостью его поверхности 90 мкм прочность склеивания фанеры остается почти на постоянном уровне. Разница в этом случае составляет при испытании образцов фанеры на скалывание по клеевому слою в сухом состоянии - 0,26 кгс/см² (2,7%), а после вымачивания их в воде в течение 24 ч - 0,40 кгс/см² (3,6%). При дальнейшем увеличении расхода клея от 110 до 200 г/м² при испытании как в сухом состоянии, так и после вымачивания образцов в воде прочность склеивания фанеры понижается соответственно на 16 и 14%. Совершенно другая зависимость получается

Предел прочности при скалывании по клеивому слою, кгс/см²

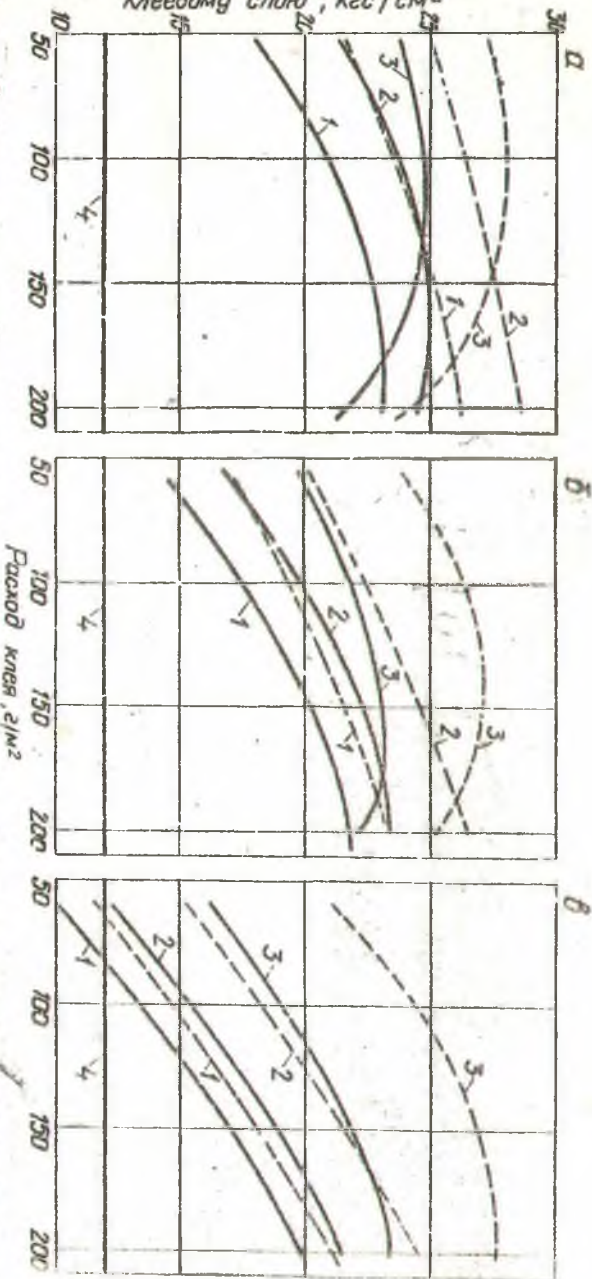


Рис. 4. Зависимость предела прочности фанеры при скалывании по клеивому слою от расхода клея :

1, 2, 3 — соответственно при сдвиге при прессовании 2,5; 5,0; 10; 15; 20 кгс/см²; 4 — допустимый предел прочности фанеры при скалывании по клеивому слою по ГОСТ 3916-69; сплошные линии — испытание образцов после вымачивания в воде в течение 24 ч, шпиритовые — в сухом состоянии; а, б, в — соответственно — даны при шероховатости поверхности шпона 90, 157, 225 мкм.

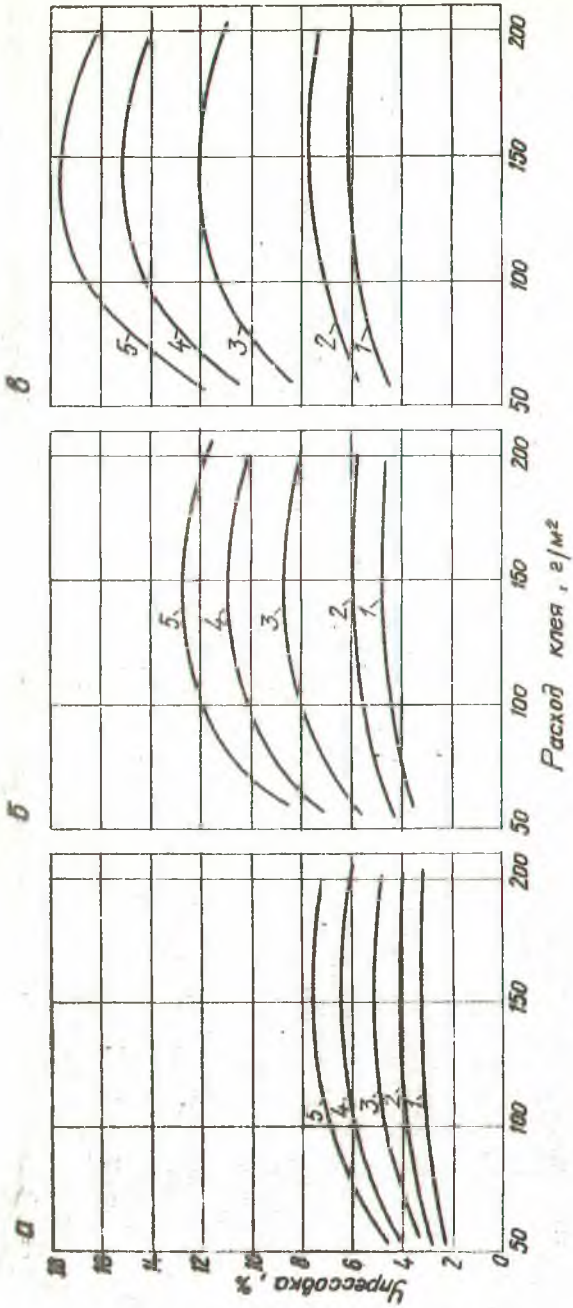


Рис. 5. Зависимость упрессовки пакета от расхода клея :

1, 2, 3, 4, 5 — соответственно при давлении прессования 2,5 ; 5,0 ; 10 ; 15 ; 20 кгс/см² ; а, б, в — соответственно при шероховатости поверхности шпона 90, 157, 225 мкм.

при тех же давлениях на пакет шпона с шероховатостью его поверхности 157 мкм (рис. 4, б, кривая 3). При увеличении расхода клея от 55 до 150 г/м² прочность склеивания повышается в среднем на 13%, а при дальнейшем увеличении расхода клея от 150 до 200 г/м² она понижается примерно на 6%. Если пакет состоит из шпона с шероховатостью поверхности 225 мкм (рис. 4, в), то с увеличением расхода клея от 55 до 200 г/м² прочность склеивания фанеры повышается в сухом состоянии на 24%, а после вымачивания в воде на 30%.

Из данных на рис. 4 видно, что на прочность склеивания фанеры существенное влияние оказывает как расход клея, так и шероховатость поверхности шпона и давление прессования, причем, их влияние взаимосвязано. Наиболее высокая прочность склеивания фанеры получается при применении шпона с минимальной шероховатостью поверхности (90 мкм), малом количестве наносимого клея (55-60 г/м²) и давлении прессования 10 кгс/см². В этом случае она превышает минимально допустимый по ГОСТу 3916-69 предел прочности в два раза. Также следует отметить, что прочность склеивания фанеры во всех случаях удовлетворяет требованиям ГОСТа, за исключением случая, когда шероховатость поверхности шпона 225 мкм, расход клея от 55 до 80 г/м² и давления прессования 2,5 кгс/см².

Результаты опытов по определению влияния расхода клея на упрессовку пакета иллюстрированы графиками на рис. 5. На рисунке видно, что с увеличением расхода клея от 55 до 150 г/м² упрессовка пакета возрастает, а при расходе клея от 150 до 200 г/м² незначительно уменьшается. Такая закономерность наблюдается при всех исследуемых значениях давления прессования и шероховатости поверхности шпона. Наиболее интенсивно возрастает упрессовка пакета при увеличении количества наносимого клея от 55 до 100 г/м², особенно при более высоких значениях давления и шероховатости.

С целью определения влияния начальной влажности шпона (7,4; 9,3; 11,4; 13,7 и 17,3%) на прочность склеивания фанеры (рис. 6, а) и упрессовку пакета (рис. 6, б) нами были проведены дополнительные опыты при малом расходе клея 55 г/м², шероховатости поверхности шпона 196 мкм и давлении прессования 10 кгс/см².

Из рис. 6, а и б видно, что с увеличением начальной влажности шпона от 7,4 до 17,3% прочность склеивания фанеры по-

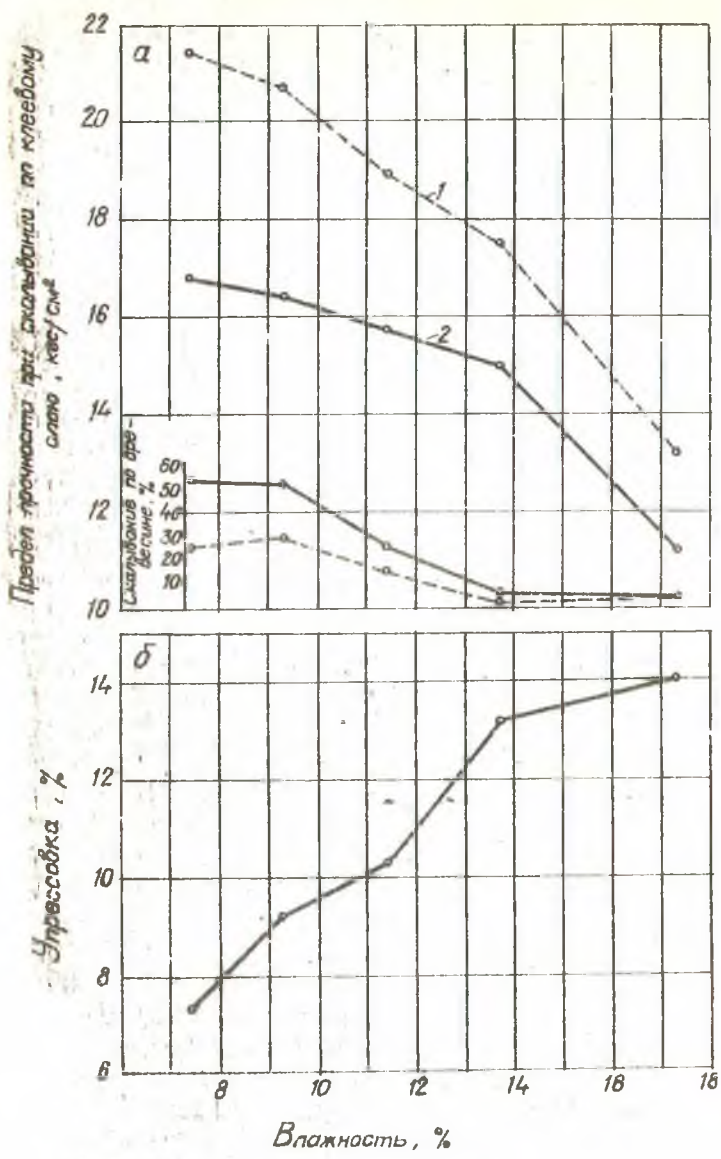


Рис. 6. Зависимость предела прочности франеры при скалывании по клеевому слою (а) и упрессовки пакета (б) от влажности шпана:

1 — испытание образцов в сухом состоянии; 2 — то же, после вымачивания в воде в течение 24 часов.

нижается в среднем на 36%, а упрессовка возрастает с 7,3 до 14,1%.

В пятом разделе приведены опытно-промышленная проверка результатов экспериментальных исследований на Борисовском ПДО и технико-экономическое обоснование технологии производства фанеры при пониженном расходе клея.

Для изготовления фанеры применялся березовый лущеный шпон размером 1600x1600x1,5 мм влажностью $8 \pm 2\%$. Шероховатость поверхности шпона соответствовала 142 мкм. Склеивание шпона производилось клеем М19-62. По физико-химическим свойствам он соответствовал клею, применяемому в экспериментальных исследованиях.

Клей на лист шпона наносился с двух сторон путем пропускания его между вальцами клеенаносящего станка КВ-18, изготовленного Рыбинским заводом деревообрабатывающих станков. С целью уменьшения расхода и более равномерного нанесения клея на поверхность листа шпона по нашему предложению данная конструкция станка была модернизирована: вместо обрезиненных вальцов, имеющих на поверхности трапецидальную нарезку, применены обрезиненные вальцы с гладкой поверхностью. Средний расход клея составлял 68 г/м^2 против нормы 100-110 г/м^2 , согласно технологической инструкции.

Пакет собирался из трех листов шпона. Набранные пакеты по одному загружались в промежутки гидравлического клеильного пресса П714Б. Склеивание шпона производилось горячим способом по режиму, рекомендованному ЦНИИФ. Давление прессования принималось 5, 10, 15 и 20 кгс/см^2 .

В результате опытно-промышленной проверки установлено, что средний предел прочности при скалывании по клеевому слою после вымачивания в воде комнатной температуры в течение 24 ч фанеры, изготовленной при давлении прессования 5 кгс/см^2 , составил 17,2 кгс/см^2 . Этот предел выше минимально допустимого (12 кгс/см^2), предусмотренного ГОСТ_м3916-69. Однако в этой группе опытов были образцы с минимальным пределом прочности 6 кгс/см^2 . Коэффициент изменчивости - 32,3%.

При давлении прессования 10 кгс/см^2 средний предел прочности фанеры равен 20,4 кгс/см^2 . При этом имелись образцы с минимальным пределом прочности 12 кгс/см^2 . Стандартный минимум прочности составил 15,4 кгс/см^2 . Коэффициент изменчивости - 18,9%.

При давлении прессования 15 кгс/см² средний предел прочности фанеры при скальвании по клеевому слою составил 23,3 кгс/см² с минимальным пределом прочности 16 кгс/см², что выше предусмотренного ГОСТом. Стандартный минимум прочности - 19,6 кгс/см². Коэффициент изменчивости в данном случае более устойчив - 12,4%. Аналогичные данные получены и при давлении прессования 20 кгс/см².

На основании экспериментальных исследований и опытно-промышленной проверки их результатов рекомендуется следующий режим изготовления трехслойной 4-миллиметровой березовой фанеры марки ФК по одному пакету шпона в промежутке пресса при постоянном давлении прессования:

Начальная влажность шпона, %	Расход клея, г/м ²	Давление прессования, кгс/см ²	Температура плит пресса, °С	Выдержка пакета под давлением, с
10	70-80	15	150	30

Экономический эффект от внедрения в промышленность технологии производства фанеры марки ФК при пониженном расходе клея составит 4,6 руб/м³.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

На основании аналитического обзора, теоретических предположений, экспериментальных исследований и опытно-промышленной проверки результатов исследований можно сделать следующие выводы и предложения:

1. При горячем склеивании березового лущеного шпона расход мочевино-формальдегидного клея может быть снижен со 100-110 до 70-80 г/м² без ухудшения качества фанеры.

2. Для обеспечения малого (70-80 г/м²) и более равномерно нанесения жидкого вспененного мочевино-формальдегидного клея на обе поверхности листа шпона рекомендуется модернизировать серийно выпускаемый станок КВ-18: вместо обрезиненных вальцов, имеющих на поверхности трапециевидную нарезку, применить обрезиненные вальцы с гладкой поверхностью. При этом отпадает необходимость в технологической операции вспенивания клея.

3. Давление на склеиваемый пакет шпона может быть снижено

с 20 до 15 кгс/см² без ухудшения качества фанеры.

4. Уменьшение шероховатости поверхности шпона способствует сокращению расхода клея, снижению величины давления прессования, уменьшению упрессовки пакета и улучшению качества выпускаемой фанеры.

5. Сокращение расхода клея со 100-110 до 70-80 г/м² и снижение давления прессования с 20 до 15 кгс/см² позволяет уменьшить упрессовку пакета на 1,9% и снизить расход сырья, удельный вес которого в себестоимости фанеры составляет около 50-55%.

6. С увеличением влажности шпона прочность склеивания фанеры понижается, а упрессовка пакета возрастает. Сокращение расхода клея приводит к уменьшению влаги, вносимой с ним в пакет, и позволяет использовать шпон с начальной влажностью до 10%, вместо 6-8%, применяемых в настоящее время. Это дает возможность увеличить производительность роликовых сушилок на 6,7% и снизить потери шпона на усушку и брак от его разрывов.

7. На основе теоретического анализа процесса склеивания выведена формула (18) для определения расхода мочевино-формальдегидного клея при склеивании березового лущеного шпона и по ней построена номограмма (рис. 3).

8. Получены математические модели (19)-(24), позволяющие прогнозировать возможные значения прочности склеивания фанеры и упрессовки пакета для различных комбинаций значений варьируемых факторов (расход клея, шероховатости поверхности лущеного шпона и давления прессования).

9. Правильность теоретических и экспериментальных выводов подтверждена опытно-промышленной проверкой на Борисовском производственном деревообрабатывающем объединении.

10. На основании экспериментальных исследований и опытно-промышленной проверки их результатов разработана технология производства фанеры марки ФК при пониженном расходе клея.

11. В настоящее время результаты данной работы внедряются на фанерных предприятиях Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности БССР.

12. Годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии при объеме производства 25 тыс. м³ фанеры марки ФК составляет 115 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации изложено в следующих опубликованных работах:

1. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние расхода клея на прочность склеивания фанеры. «Механическая обработка древесины», ВНИПИЭИ леспром, 1971, № 17.

2. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние расхода клея на упрессовку фанеры. «Фанера и плиты», ВНИПИЭИ леспром, 1972, №5.

3. Дергачев П.А. Влияние шероховатости поверхности шпона на прочность склеивания фанеры при различном давлении прессования. Сб. «Механическая технология древесины», Минск, «Высшая школа», 1972, вып. 2.

4. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние давления прессования на прочность склеивания фанеры. Сб. «Механическая технология древесины», Минск, «Высшая школа», 1973, вып. 3.

5. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние давления прессования на упрессовку фанеры. Сб. «Механическая технология древесины», Минск, «Высшая школа», 1974, вып. 4.

6. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние некоторых технологических факторов при склеивании фанеры на расход сырья. Сб. «Рациональное и комплексное использование древесины в деревообрабатывающей промышленности». Материалы Всесоюзной научной конференции (24-26 сентября 1974 г.), Минск, 1974.

7. Дергачев П.А., Минин А.Н. Влияние влажности шпона на прочность склеивания и упрессовку фанеры. Сб. «Механическая технология древесины», Минск, «Высшая школа», 1975, вып. 5.

8. Дергачев П.А., Минин А.Н., Кравцов Л.С. Проверка результатов лабораторных исследований по снижению расхода клея при изготовлении фанеры в производственных условиях. Сб. «Механическая технология древесины», Минск, «Высшая школа», 1977, вып. 7.