



УДК 634.0.824.8:674.028

© О. И. Бегунков, Н. О. Бегункова, 2008

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА РАЗМЕРНОСТЕЙ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ СКЛЕИВАНИЯ ШПОНА

Бегунков О. И. – канд. техн. наук, доц. завкафедрой «Технология деревообработки»; *Бегункова Н. О.* – преп. кафедры «Прикладная математика и информатика» (ТОГУ)

При разработке оптимальных режимов склеивания шпона варьировать толщиной пакета в эксперименте по ряду причин достаточно сложно. Поэтому для распространения таких режимов на различные толщины фанеры необходимо найти и научно обосновать метод, позволяющий дополнить такие исследования и определить зависимость времени склеивания от толщины пакета шпона для разработанных режимов. Показана возможность использования для решения этой задачи метода анализа размерностей и теории подобия.

It is experimentally difficult, for a number of reasons, to vary the thickness of the veneer package in designing optimum regimes for veneer gluing. To use such regimes for different veneer thicknesses one must establish a scientific method which may help in conducting such studies and find the dependence of the veneer gluing time on the veneer package thickness for designed regimes. Dimensional analysis and the similarity theory are demonstrated to be useful in solving this problem.

Введение

Склеивание шпона в процессе горячего прессования следует отнести к сложным физико-химическим процессам с большим количеством влияющих факторов. Обычно данный процесс рассматривают в совокупности наиболее характерных переменных факторов. Задача состоит в отыскании такой области пространства факторов $(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$, где выбранный параметр оптимизации $Y_i = f(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$ принимает экстремальное значение при соблюдении ограничений по прочим параметрам. В результате решения задачи получают оптимальные режимы склеивания шпона с целью получения фанеры определенной толщины.

Однако распространить эти режимы автоматически на другие толщины фанеры мы не можем, так как толщина пакета шпона принимается в качестве постоянного фактора и, следовательно, не входит в найденные уравнения связи. Варьировать же толщиной пакета в основном эксперименте нецелесообразно по следующим причинам. Изменять толщину пакета шпона можно либо за счет изменения количества листов в пакете, либо за счет изменения толщины шпона. При изменении количества слоев в пакете изменяется степень анизотропии материала, что существенно сказывается на прочности материала. Варьирование толщиной пакета за счет изменения толщины шпона также не представляется возможным, так как меняется количество клеевых прослоек и относительная глубина проникновения смолы в шпон, что также ведет к изменению прочности фанеры. Кроме того, меняется прочность самого шпона [1, 2, 3]. Поэтому, принимая толщину пакета шпона в качестве постоянного фактора, мы тем самым обеспечиваем большую однородность эксперимента, что в свою очередь способствует выявлению условий, обеспечивающих получение фанеры с максимальной прочностью.

Решающее влияние толщина пакета шпона оказывает на фактор времени. Продолжительность времени склеивания определяется завершением физико-химических превращений в клеевых слоях. Следовательно, вопрос о возможности распространения полученных режимов на другие толщины фанеры сводится к определению времени склеивания, обеспечивающего получение фанеры с высокой прочностью.

Для решения данной задачи необходимо найти и научно обосновать метод, позволяющий дополнять проводимые исследования по поиску оптимальных режимов и определить зависимость времени склеивания от толщины пакета шпона для них.

Рассмотрим общую постановку задачи.

В работах А. Н. Кириллова [4], В. Г. Бирюкова [5] было получено уравнение прочности фанеры в общем виде, отражающее влияние технологических факторов на прочность

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\gamma_P} \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{\gamma_\nu} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\gamma_T} \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^{\gamma_Q} \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^{\gamma_\tau} \times \left(\frac{K}{K_0} \right)^{\gamma_K} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\gamma_\rho} \left(\frac{\delta_1}{\delta_{10}} \right)^{\gamma_{\delta_1}} \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\gamma_D} \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^{\gamma_\delta} \quad (1)$$

где P – удельное давление прессования, Па; T – температура плит пресса, К; τ – время прессования фанеры, с; ν – кинематическая вязкость



смола, $\text{м}^2/\text{с}$; Q – расход смолы на 1 м^2 поверхности листа шпона, $\text{кг}/\text{м}^2$;
 δ – толщина фанеры, м ; K – условный коэффициент качества шпона;
 ρ – плотность фанеры, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ_l – глубина пропитки смолой шпона, м ;
 D – коэффициент проницаемости шпона, с .

Если ввести функцию прочности фанеры σ как функцию независимых технологических факторов, то

$$\sigma = \sigma_0(P, T, \tau, \nu, Q, \delta, K), \quad (2)$$

остальные факторы в уравнении (1) являются зависимыми от указанных в формуле (2).

Значения каждого технологического фактора определены на некоторой конечной области их изменения. Совокупность их определяет некоторую область определения функции σ .

Область определения изменения факторов является их ограничениями. Указанные ограничения для всех факторов имеют простую структуру:

$$\begin{aligned} P_{\min} &\leq P \leq P_{\max}; & T_{\min} &\leq T \leq T_{\max}; \\ \tau_{\min} &\leq \tau \leq \tau_{\max}; & \nu_{\min} &\leq \nu \leq \nu_{\max}; \\ Q_{\min} &\leq Q \leq Q_{\max}; & \delta_{\min} &\leq \delta \leq \delta_{\max}; \\ & & K_{\min} &\leq K \leq K_{\max}. \end{aligned} \quad (3)$$

Эта область определения технологических факторов представляет собой семимерный параллелепипед в семимерном пространстве. Ограничения типа (3) являются тривиальными.

Однако между факторами в условиях эксперимента существуют и более сложные нелинейные зависимости типа равенств или неравенств, в общем-то не известные нам:

$$P \geq f_1(K, Q, \nu), \quad \nu \geq f_2(T, \tau), \quad Q \geq f_3(K, P) \text{ и т.д.} \quad (4)$$

Совокупность тривиальных (3) и нелинейных (4) ограничений представляет собой некоторую результирующую область изменения факторов Ω .

Задача определения максимальной прочности фанеры на области Ω представляет собой достаточно общую задачу математического программирования. Эту задачу можно решить, если нам будет известна функция $\sigma_0(P, T, \dots, K)$ и область Ω .

Рассмотрим область изменения параметров и их оптимальные значения, полученные в работе [6]. Как видно из табл. 1, одни факторы, например T , ν , Q , H , для режима 5 имеют оптимальные значения где-то на границе области, другие – P , τ – находятся в середине области определения.

Таблица 1

**Интервалы изменения факторов и их оптимальные значения
для различных режимов**

Наименование фактора	Обозначения	Уровень варьирования		Оптимальное значение фактора	
		нижний	верхний	режим 1	режим 5
Расход клея, кг/м ²	Q	0,140	0,180	0,148	0,179
Удельное давление, МПа	P	1,0	2,0	1,6	1,5
Время склеивания, с	τ	420	600	510	525
Вязкость клея по ВЗ-4, с	ν	60	180	180	180
Температура плит пресса, К	T	375	403	375,1	378,8
Наполнитель, м.ч.	H	0	4	1,8	3,94

Качество шпона K принимается средним, а толщина δ пакета шпона определяется исходя из целевого назначения фанеры.

Если бы максимальное значение прочности фанеры находилось внутри области Ω , то значения факторов при известной функции (2) нашлись бы из решения системы уравнений:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial P} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial T} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial \tau} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial \nu} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial Q} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial \delta} = 0; \frac{\partial \sigma}{\partial K} = 0. \quad (5)$$

Но на самом деле нам даже не известна вся область Ω . Поэтому утверждать о нахождении решения задачи, определении местонахождения точки в области Ω , затруднительно. Можно только сказать о зависимости прочности от технологических факторов на области Ω как об очень сложной задаче.

Введем искомую функцию, представляющую собой решение задачи нахождения $\max \sigma(P, T, \dots, K)$ на области Ω как

$$\sigma_{\max} = \max \sigma(P, T, \tau, \nu, Q, \delta, K), \quad (6)$$

$$P, T, \dots, K \in \Omega.$$

В работе [6] мы нашли решение задачи $\max \sigma(P, T, Q, \tau, \nu, H)$ методом математического планирования эксперимента. В результате получили оптимальные значения факторов режима склеивания: P, T, Q, τ, ν, H . Однако в функцию $\sigma(P, T, Q, \tau, \nu, H)$ не вошел параметр толщины δ , поэтому для решения задачи (6) необходимо найти связь между σ, δ и временем склеивания τ . Так как влияние δ на прочность фанеры тесно связано с вопросом определения времени склеивания τ , то рассмотрим предварительно некоторые существующие методы определения τ .

Вопрос определения времени склеивания шпона в зависимости от



технологических факторов рассмотрен в ряде работ [3, 7, 8, 9].

В. А. Куликов отмечает [3], что в настоящее время теоретически решена только задача определения времени нагрева склеиваемого пакета до желаемой температуры в любой точке его поперечного сечения. Автор выделяет три способа определения времени склеивания пакета шпона: экспериментальный, основанный на проведении нескольких опытных запрессовок при разном времени склеивания с последующим определением прочности их склеивания; расчетно-графический, основанный на использовании кривой прогрева пакета данной толщины $t = f_1(\tau)$ и кривой отверждения клея данной марки $t = f_2(T)$; определение времени склеивания с помощью специального прибора.

Довольно широкое распространение получил также графоаналитический метод, в основе которого лежит формула, предложенная Н. М. Кирилловым [8]

$$\tau = 39 \cdot 10^{-4} \frac{\delta^2}{\alpha} \lg \left(1,273 \frac{T_n - T_0}{T_n - T_k} \cos \frac{\pi x}{\delta} \right), \quad (7)$$

где T_n – температура плит пресса; T_0 – начальная температура пакета; T_k – конечная температура нагрева данной точки пакета; α – коэффициент температуропроводности пакета шпона; x – расстояние от плоскости симметрии пакета до точек, в которых определяют температуру или время прогрева; δ – толщина пакета шпона.

При расчете по формуле (7) основная трудность заключается в определении оптимальной конечной разности температур $\Delta T = T_n - T_k$. Она определяется, как правило, графически в зависимости от концентрации смолы, T_n и δ . Н. М. Кирилловым предложен такой график для смолы марки СФЖ-3011. Для других смол таких зависимостей нет.

Заслуживает внимания способ, предложенный К. Ф. Севастьяновым [9], согласно которому

$$\tau = \frac{\delta^2}{\alpha \pi^2} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{3,66}{f(T_n - T_0) \sin \frac{\pi x_1}{\delta}}} \right], \quad (8)$$

где x_1 – расстояние до наиболее удаленной от источника тепла клеевой прослойки; f – коэффициент отверждения смолы.

В формуле (8) введен коэффициент отверждения смолы. С помощью этого коэффициента учитывается химическая сторона процесса склеивания шпона, при этом предполагается, что каждой смоле, при прочих равных условиях, свойствен присущий ей коэффициент отверждения. Считается, что интенсификация отверждения смолы зависит

не только от температуры нагрева, расстояния клеевого слоя от источника тепла, времени нагрева, влажности шпона, породы древесины и т. д., но и от чисто химических свойств применяемой для склеивания смолы (глубина конденсации, количество вводимого отвердителя, количество бромирующих и др.). Кроме того, при выводе формулы (8) авторы учитывали влияние степени сжатия пакета на время его нагрева до заданной температуры.

Однако для расчетов по формуле (8) необходимы дополнительные данные по установлению зависимости величины f от относительной удаленности клеевого слоя от источника тепла; причем, каждая смола имеет свой коэффициент отверждения f .

Краткий обзор способов определения времени склеивания показывает необходимость проведения экспериментальных исследований в том или ином объеме при их использовании. При этом следует отметить, что первый способ, несмотря на большую трудоемкость, отличается высокой надежностью результатов. Такое явление можно объяснить тем, что влияние различных технологических факторов на прочность фанеры проявляется не порознь, а совместно, поэтому в экспериментальном способе косвенно учитывается весь комплекс явлений, определяющих прочность фанеры.

Структура приведенных формул (7), (8) показывает, что они учитывают влияние технологических факторов, характеризующих процесс, в основном, с точки зрения его интенсификации. В то же время известно, например, что прочность склеивания зависит не только от концентрации смолы, но и от количества свободных метилольных групп. Последние, в основном, и определяют адгезию смолы к древесине. Увеличивая концентрацию смолы, мы уменьшаем время ее отверждения, но тем самым уменьшаем время и количество свободных метилольных групп. Увеличение температуры прессования также способствует ускорению процесса склеивания, лучшему структурированию смолы, но в результате увеличиваются внутренние напряжения в материале [10]. Поэтому мы не можем воспользоваться данными формулами для решения задачи (6), так как они требуют дополнительных сведений о процессе и свойствах используемой смолы.

Следовательно, представляет определенный интерес найти способ, позволяющий получить достаточно надежные результаты и в то же время дающий возможность определить τ в зависимости от толщины пакета шпона.

Метод планирования эксперимента, который можно было бы применить для этой цели, достаточно трудоемок. Поэтому, на наш взгляд, наиболее целесообразно использовать для нахождения τ физическую модель процесса горячего склеивания, разработанную с помощью тео-



рии подобия и метода анализа размерностей [5, 11].

Определение оптимального времени склеивания фанеры

В работах [4, 5, 11] получено общее уравнение процесса склеивания фанеры на основе метода анализа размерностей. Процесс записан в форме безразмерных комплексов и симплексов, в самой структуре которых отражено взаимодействие различных факторов:

$$\Pi_1 = c_0 \Pi_2^{X_2} \Pi_3^{X_3} \Pi_4^{X_4} \Pi_5^{X_5} \Pi_6^{X_6} \Pi_7^{X_7} \Pi_8^{X_8} \Pi_9^{X_9} \Pi_{10}^{X_{10}} \Pi_{11}^{X_{11}} \quad (9)$$

или соответственно

$$\begin{aligned} \Pi_1 = c_0 & \left(\frac{\alpha \tau}{\delta^2} \right)^{X_2} \left(\frac{Q}{\rho \delta_1} \right)^{X_3} \left(\frac{P \tau^2}{Q \delta_1} \right)^{X_4} \left(\frac{c T \rho_1}{P} \right)^{X_5} \left(\frac{\delta_1}{V} \right)^{X_6} \times \\ & \times \left(\frac{D}{\tau} \right)^{X_7} \left(\frac{\delta_1}{\delta} \right)^{X_8} \left(\frac{\rho_0}{\rho_1} \right)^{X_9} \left(\frac{V_1}{V} \right)^{X_{10}} \left(\frac{v}{\alpha} \right)^{X_{11}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Так как работы данных авторов были направлены на получение фанеры из древесины березы конструкционного назначения, то в первую очередь изучалось влияние технологических параметров на прочность фанеры. Уравнение прочности фанеры (1), полученное из выражения (10), было приведено нами ранее.

Из соотношения (1) видно, что анализ прочности фанеры можно производить как по каждому фактору в отдельности, так и при изменении любого числа их. Тогда при постоянных значениях всех факторов, кроме τ и δ , получим

$$\sigma = A \tau^{\gamma_\tau} \delta^{\gamma_\delta}, \quad (11)$$

откуда

$$\tau = c \delta^{\frac{\gamma_\delta}{\gamma_\tau}}, \quad (12)$$

где A – некоторые постоянные, c .

Для нахождения показателей γ_τ и γ_δ необходимо составить систему из двух уравнений. Прологарифмируем уравнение (11), тогда получим уравнение, линейное относительно неизвестных показателей. Если взять его для двух состояний и вычесть одно из другого, то получим

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_0} = \gamma_\tau \lg \frac{\tau}{\tau_0} + \gamma_\delta \lg \frac{\delta}{\delta_0}. \quad (13)$$

Искомая система уравнений получается из выражения (13), если изменять каждый параметр в отдельности:

$$\gamma_\tau = \lg \frac{\sigma}{\sigma_0} / \lg \frac{\tau}{\tau_0}, \quad \gamma_\delta = \lg \frac{\sigma}{\sigma_0} / \lg \frac{\delta}{\delta_0}. \quad (14)$$

За нулевой уровень комбинации факторов примем значения, полу-

ченные при оптимизации процесса (см. табл. 1).

Для нахождения γ_τ и γ_δ дополним эксперимент по проверке режимных точек 1 и 5, приведенный в работе [6]. При определении γ_τ примем время склеивания в точке отклонения равным 600 с, а при определении γ_δ склеим такую же по конструкции фанеру, как в нулевой точке, но в два листа в промежутке пресса, сохранив при этом постоянным время склеивания на 1 мм толщины пакета. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Определение показателя γ_τ

Режим	Предел прочности при растяжении, МПа		Время склеивания, с		Величина показателя γ_τ
	в нулевой точке	в точке отклонения	в нулевой точке	в точке отклонения	
1	57,62	53,62	510	600	-0,4419
5	66,62	63,13	525	600	-0,4048

Таблица 3

Определение показателя γ_δ

Режим	Предел прочности при растяжении, МПа		Толщина фанеры, м		Величина показателя γ_δ
	в нулевой точке	в точке отклонения	в нулевой точке	в точке отклонения	
1	57,62	56,95	$9,98 \cdot 10^{-3}$	$9,62 \cdot 10^{-3}$	0,3125
5	66,62	65,90	$10,10 \cdot 10^{-3}$	$9,71 \cdot 10^{-3}$	0,2749

На основании данных табл. 2 и 3, формулу (12) можно записать: для режима 1

$$\tau_1 = c_1 \delta^{\frac{0,3125}{-0,4419}} = c_1 \delta^{0,7072}, \quad (15)$$

для режима 5

$$\tau_2 = c_2 \delta^{\frac{0,2749}{-0,4048}} = c_2 \delta^{0,6791} \quad (16)$$

Коэффициенты c_1 , c_2 в формулах (15, 16) определим при подстановке в них значений факторов в нулевой точке. При этом под обозначением δ для удобства пользования формулами будем понимать в дальнейшем сумму толщин шпона в пакете. Для нулевой точки средняя толщина пакета шпона в эксперименте равна 11,30 мм.

Результаты расчетов времени склеивания по формулам (15), (16) приведены в табл. 4. Так как в физическом отношении явления, происходящие при склеивании фанеры различных толщин, идентичны, то зависимость (12) можно получить исходя из известных положений теории подобия.



На основании теоремы Кирпичева-Гухмана подобны те явления или системы, которые описываются одинаковыми уравнениями связи и условия однозначности которых подобны [12, 13, 14]. Подобие условий однозначности обеспечивается равенством определяющих критериев в случае, если явления или процессы качественно одинаковы.

Соблюдение этих двух требований для рассматриваемых нами явлений позволяет по характеристикам одного процесса делать заключение о другом и, кроме того, переносить основные параметры прессования, полученные для одной толщины пакета шпона, на другие толщины. Так как процессы склеивания фанеры различных толщин качественно одинаковы, описываются одним уравнением связи (10), и условия однозначности их подобны, то должны быть равны и определяющие критерии. Исходя из физических соображений, а также анализа общего уравнения процесса (10) перемножим критерии Π_2 , Π_4 и Π_{11} , которые являются наиболее существенными для нашей задачи и в которые входят все факторы режима склеивания. При этом необходимо отметить, что любые комбинации критериев дают в силу их независимости друг от друга новые правильно построенные критерии.

Первый критерий – это определяющий критерий теплообмена Фурье, выражающий определенное соответствие между темпом изменения условий в окружающей среде и темпом перестройки температурного поля внутри тела, т. е. время, необходимое для перестройки температурного поля внутри тела, пропорционально квадрату толщины пакета шпона и обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности среды.

Второй – технологический критерий, характеризующий меру относительной эффективности между силами давления и движением фронта смолы в условиях нестационарного процесса.

Третий – определяющий критерий Прандтля, характеризующий процесс склеивания с точки зрения переноса импульса посредством внутреннего трения в смоле и тепла с помощью теплопроводности

$$\Pi_K = \Pi_2 \Pi_4 \Pi_{11} = \frac{\alpha \tau}{\delta^2} \cdot \frac{P \tau^2}{Q \delta_1} \cdot \frac{\nu}{\alpha} = \frac{P \tau^3 \nu}{Q \delta^2 \delta_1}. \quad (17)$$

Тогда условие подобия можно записать в следующем виде:

$$\Pi_K = \text{idem}. \quad (18)$$

Отсюда время склеивания определится как

$$\tau = \sqrt[3]{\frac{\Pi_K Q \delta^2 \delta_1}{P \nu}} \quad (19)$$



или при условии сохранения значений факторов постоянными

$$\tau = \sqrt[3]{M\delta^2}, \quad (20)$$

где M является сложной физической величиной, учитывающей свойства смолы, породу древесины, а также особенности используемых режимов, и находится из соотношения τ^3/δ^2 . Причем продолжительность склеивания в данном случае определяется экспериментальным путем, для одной толщины фанеры с использованием методов многофакторного планирования эксперимента.

Следует отметить, что метод вывода формулы (20) может привести и к другим видам функций для определения времени склеивания, поэтому критерием ее справедливости должно быть хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Результаты расчетов по формуле (20) приведены в табл. 5. Из сравнения их с данными табл. 4 видно, что разница в значениях времени для соответствующих толщин пакетов шпона незначительна.

Полученные расчетные значения времени склеивания нуждаются в экспериментальной проверке. Для этого был проведен эксперимент по склеиванию девятислойной фанеры из шпона лиственницы толщиной 2,2 мм. Прочностные показатели приведены в табл. 6.

Данные табл. 6 показывают, что время, определенное по формуле (20), вполне достаточно для получения прочного клеевого соединения.

Таким образом, наличие физической модели (10) процесса горячего склеивания шпона позволяет двумя способами подойти к вопросу определения времени склеивания, а полученные результаты свидетельствуют о возможности применения метода анализа размерностей и теории подобия для решения нашей задачи.

Таблица 6

Предел прочности фанеры

Вид испытаний	Время склеивания, с	Статистические характеристики					
		n , шт.	M , МПа	σ , МПа	V , %	m , МПа	P , %
Изгиб	741	15	68,1	7,15	10,5	1,85	2,7
	763	15	71,0	6,61	9,3	1,71	2,4
Скалывание	741	10	1,76	0,232	13,2	0,073	4,1
	763	10	1,71	0,239	14,0	0,076	4,4

Примечание. В числителе приведены показатели фанеры, склеенной по режиму 1, в знаменателе - 5. Принятые обозначения: n - количество испытанных образцов; M - среднее арифметическое; σ - среднеквадратическое отклонение; V - коэффициент вариации; P - относительная точность определения среднего значения.



Сравнительный анализ полученных результатов с действующими нормативами времени склеивания фанеры

Известно, что от обоснованного установления времени прессования зависит производительность оборудования и производительность труда в производстве фанеры.

В табл. 7 приведены действующие нормативы времени склеивания фанеры из древесины хвойных пород [15].

Таблица 7

Время склеивания фанеры

Сумма толщин шпона в пакете, мм	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Время склеивания, с	480	498	522	552	576	606	630	660	690	732	762	810

Сравнение этих данных с приведенными в табл. 5.5 показывает, что рекомендуемые нами значения времени для соответствующих толщин в целом меньше, чем нормативные, особенно для режима 1. При этом следует учитывать, что, рекомендуя склеивать при пониженных температурах, мы тем самым уменьшаем температурный напор. Это обстоятельство, казалось бы, должно способствовать увеличению времени склеивания.

Однако, как видно из условия (6), мы искали время с позиций обеспечения максимальной прочности склеиваемого материала. Поэтому склеивание при повышенных (388-393 К) температурах отрицательно влияет на прочность фанеры. Анализ этого явления был приведен в [6]. Можно сказать, что выводы, полученные авторами в данной работе с помощью планирования эксперимента, в какой-то степени подтверждаются нами при использовании теории подобия и метода анализа размерностей.

В то же время неоправданное уменьшение продолжительности склеивания ведет к недостаточной степени отверждения смолы, к снижению прочности склеенного материала. С другой стороны, слишком жесткие связи ухудшают условия релаксации напряжений в клеевом слое. Поэтому критерием для оценки полученных режимов должна служить прочность материала.

Проведенные эксперименты подтвердили возможность получения высоких прочностных показателей при склеивании по рекомендуемым режимам. Следовательно, действующие режимы склеивания шпона



имеют резервы времени, что уменьшает производительность основного оборудования, получая в ряде случаев и отрицательный эффект.

Выводы

1. Использование уравнения прочности (1) позволило решить задачу определения времени склеивания шпона при обеспечении

$$\max \sigma = (P, T, \tau, \nu, Q, \delta, K).$$

2. Применение теории подобия позволило:

а) получить простую по структуре формулу для определения времени склеивания шпона $\tau = \sqrt[3]{M\delta^2}$, результаты расчетов по которой практически совпадают с данными, полученными по формулам (15) и (16);

б) научно обосновать возможность распространения полученных оптимальных режимов склеивания пакета шпона для одной толщины фанеры на другие ее толщины.

3. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что действующие нормативы времени склеивания фанеры могут быть уменьшены от 0 до 64 с в зависимости от толщины пакета шпона.

Библиографические ссылки

1. Бойтемирова И. Н. Исследование прочностных и деформативных свойств фанеры из древесины лиственницы как конструкционного материала для строительства. М., 1977.
2. Иевлева Н. М. Исследование физико-механических свойств фанеры и метод расчета ее упругих и прочностных характеристик по элементарному слою. М., 1977.
3. Куликов В. А. Производство фанеры. М., 1976.
4. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. М., 1981.
5. Бирюков В. Г. Исследование и разработка технологии склеивания березовой фанеры марки ФСФ из шпона с ложным ядром. М., 1976.
6. Бегунков О. И. Исследование и разработка технологии склеивания фанеры конструкционного назначения марки ФСФ из древесины лиственницы. М., 1980.
7. Справочник фанерщика / Под ред. И. А. Шейдина. М., 1968.
8. Кириллов Н. М. Расчет процессов тепловой обработки древесины при интенсивном теплообмене. М.-Л., 1959.



9. *Севастьянов К. Ф.* Интенсификация процесса склеивания фанеры. М., 1976.
10. *Ковальчук Л. М.* Производство деревянных клееных конструкций. М., 1979.
11. *Кириллов А. Н.* Теоретические и экспериментальные основы улучшения качества фанеры конструкционного назначения. М., 1978.
12. *Гухман А. А.* Введение в теорию подобия. М., 1973.
13. *Теория подобия и размерностей. Моделирование* / П. М. Алабужев. М., 1968.
14. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике. М., 1965.
15. *Технологическая инструкция по производству фанеры, фанерных плит и древесных пластиков.* Л., 1970.