УДК 674.028 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-125-132

Обоснование эффективности обработки водного клеевого раствора Dorus FU 406 СВЧ-излучением в технологии склеивания шпона

С.П. Исаев[1a], Н.О. Бегункова[1b], О.И. Бегунков[1c], К.А. Шевчук[2d]

[1]Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия
[2]ООО «ТД Хабаровск-Манхэттен», ул. Красный Яр 68, Хабаровск, Россия
[a]IsaevSP@pnu.edu.ru, [b]natali-beg@mail.ru, [c]olegbeg@mail.ru, [d]k.shevchuk@inbox.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-1469-1300, [b]https://orcid.org/0000-0001-5069-9604
[c]https://orcid.org/0000-0002-5046-4212, [d]https://orcid.org/0000-0003-3072-4176
Статья поступила 5.04.2018, принята 7.05.2018

В статье приводятся результаты экспериментального исследования по использованию карбамидоформальдегидного клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, в технологии склеивания шпона при производстве фанеры. Ранее проведенные авторами исследования позволили установить, что карбамидоформальдегидный клей, обработанный указанным образом, имеет сокращенное время желатинизации при 100 ℃, что обеспечивает возможность сокращения суммарной продолжительности периодов выдержки пакета шпона под давлением и тем самым способствует повышению производительности клеильного пресса. Поэтому задачей данного исследования являлось установление взаимосвязи между значениями режима прессования пакетов шпона, склеиваемых клеем, обработанным электромагнитным полем СВЧ-диапазона, обеспечивающими достаточную адгезионную прочность при 100%-ном разрушении по древесине зоны клеевого слоя, и производительностью клеильного пресса. Установлено, что применение такого клея позволяет сократить на 20 % продолжительность цикла работы горячего пресса за счет уменьшения продолжительности выдержки пакета шпона под давлением при обеспечении необходимой прочности при скалывании по клеевому слою фанеры (1,18 МПа) и тем самым увеличить производительность клеильного пресса. Величина рациональных значений давления прессования при склеивании лиственничного шпона модифицированным клеем находится в интервале значений от 1,5 до 1,7 МПа, рекомендованном существующими технологическими режимами изготовления хвойной фанеры. Оценка эффективности применения обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона, выполненная на основе показателя чистой приведенной стоимости, позволила установить, что введение в технологический процесс склеивания шпона операции обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона является экономически оправданным.

Ключевые слова: шпон; фанера; карбамидоформальдегидный клей; режимы прессования; прочность фанеры.

Evaluation of the effectiveness of aqueous adhesive Dorus FU 406 processing by microwave radiation in the gluing veneer technologies

S.P. Isaev[1a], N.O. Begunkova[1b], O.I. Begunkov[1c], K.A. Shevchuk[2d]

[1]Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia
[2]«TD Khabarovsk-Manhattan» Ltd; 68, Krasny Yar St., Khabarovsk, Russia
[a]IsaevSP@pnu.edu.ru, [b]natali-beg@mail.ru, [c]olegbeg@mail.ru, [d]k.shevchuk@inbox.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-1469-1300, [b]https://orcid.org/0000-0001-5069-9604
[c]https://orcid.org/0000-0002-5046-4212, [d]https://orcid.org/0000-0003-3072-4176
Received 5.04.2018, accepted 7.05.2018

This article presents the results of an experimental study on the use of urea-formaldehyde glue treated with an electromagnetic field of microwave range in the technology of bonding veneer in the production of plywood. Earlier studies conducted by the authors allowed to establish that urea-formaldehyde glue, treated with electromagnetic field of microwave range, has reduced gelatinization time at 100 ℃, which provides a possible reduction in the total duration of the holding periods of the veneer package under pressure and thereby contributes an increase of the productivity of the gluing press. Therefore, the task of this study is to establish the relationship of the values of the factors of the pressing regime of veneer bags glued with glue treated with an electromagnetic field of microwave range, providing sufficient adhesive strength at 100% destruction on the wood of the zone of the adhesive layer with the performance of the adhesive press. It is established that the use of such glue allows to reduce by 20% the duration of the working cycle of the hot press due to the reduction in the holding time of the veneer pack under pressure while providing the necessary strength for shearing along the adhesive layer of plywood (1.18 MPa) and thereby increase the productivity of the size press. The value of rational values of pressing pressure when gluing larch veneer with modified glue is in the range of values from 1.5 to 1.7 MPa, which is recommended by the existing technological conditions for the production of coniferous plywood. Evaluation of the effectiveness of the application of glue treatment by the electromagnetic field of the microwave range, performed on the basis of the net present value indicator, made it possible to establish that the introduction of the glue sticking operation into the technological process of gluing the glue by the electromagnetic field of the microwave range is economically justified.

Key words: veneer; plywood; urea-formaldehyde glue; pressing modes; plywood strength.

Введение

Ранее проведенные экспериментальные исследования [1] позволили установить, что обработка карбамидоформальдегидного клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона способствует сокращению времени желатинизации при 100°С. В то же время, вязкость рабочего раствора клея остается технологически пригодной в течение четырех часов. Следовательно, можно предположить, что применение клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, позволит сократить суммарную продолжительность периодов выдержки пакета шпона и тем самым обеспечить повышение производительности клеильного пресса.

Методика проведения исследования. Методика подготовки образцов фанеры и последовательность работ при их испытании осуществлена согласно ГОСТ 9624-2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании». Однако следует отметить, что приказом Росстандарта от 01.12.2011 г. № 688-ст на территории Российской Федерации с 01.05.2012 г. введены в действие изменения в ГОСТ 3916.2-96 «Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия», согласно которым предел прочности при скалывании по клеевому слою не зависит от марки фанеры, а его значения должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 1. Как видно, прочность склеивания не является определяющей, ее оценка осуществляется в совокупности с процентом разрушения древесины. Следовательно, предел прочности в зоне клеевого слоя определяется прочностью древесины шпона, которая зависит от качества его изготовления.

Таблица 1

Среднее значение предела прочности при скалывании по клеевому слою

Значение показателя, *МПа*	Разрушение по древесине, *%*
Свыше 0,2 до 0,4 включительно	Свыше или равно 80
Свыше 0,4 до 0,6 включительно	Свыше или равно 60
Свыше 0,6, но менее 1,0	Свыше или равно 40
1,0 и более	–

Примечание. Процент разрушения по древесине определяют визуально

Трудозатраты на участке склеивания пакетов шпона составляют четвертую часть трудозатрат технологического процесса производства фанеры. Поэтому сокращение продолжительности выполнения операций при склеивании шпона способствует снижению суммарных трудозатрат всего технологического процесса производства фанеры. На участке склеивания шпона основными управляющими факторами, влияющими на качество фанеры и эффективность работы, являются расход клея, температура плит пресса, давление прессования и продолжительность пьезотермической обработки [2].

Поэтому задачей данного эксперимента являлось установление взаимосвязи значений факторов режима прессования пакетов шпона, склеиваемых клеем, обработанным электромагнитным полем СВЧ-диапазона, обеспечивающих достаточную адгезионную прочность при 100%-ном разрушении по древесине зоны клеевого слоя.

Анализ ранее проведенных исследовательских работ и результаты экспериментальных исследований по модификации клеевых растворов [3–11] и влиянию электромагнитной обработки СВЧ-диапазона на водные клеевые растворы [1, 12–15] позволяют установить следующие постоянные (табл. 2) и переменные (табл. 3) факторы. Уровни и интервалы варьирования значений факторов устанавливаются в соответствии с задачей исследования, а также с учетом технической возможности управления переменными факторами в пределах заданных значений при условии их непосредственного воздействия на исследуемый объект.

Таблица 2

Постоянные факторы

Наименование	Значение
Порода древесины	лиственница
Толщина шпона, *мм*	2,2
Влажность шпона, *%*	5 ± 1
Шероховатость поверхности шпона, *мкм*	150 ± 20
Толщина пакета шпона в промежутке пресса, *мм*	6,6
Продолжительность СВЧ-обработки клея, *с*	12
Удельная мощность СВЧ-обработки клея, *Вт/см*^{2} (*Вт/см*^{3})	1,86 (18,6)
Вязкость клея по ВЗ-246, *с*	120 ± 10
Расход клея, *г/м*^{2}	130 ± 5
Продолжительность выдержки фанеры после прессования, *ч*	72

Таблица 3

Переменные факторы

Наименование	Обозначение		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	натуральное	нормализованное		нижний (–1)	основной (0)	верхний (+1)
Давление прессования, *МПа*	P	x_1	0,5	1,0	1,5	2,0
Температура плит пресса, ^oC	T	x_2	10	110	120	130
Продолжительность прессования, *мин*	t	x_3	1,5	1,0	2,5	4,0

Как показывает опыт многих исследователей [12, 13], для того чтобы получить математическую модель, адекватно описывающую процесс склеивания шпона, с достаточными предсказательными свойствами внутри области определения эксперимента необходимо применять планы 2-го порядка.

Прежде чем приступить к планированию эксперимента по выяснению зависимости прочности склеивания шпона карбамидоформальдегидным клеем, модифицированным электромагнитной обработкой СВЧ-диапазона, от основных технологических факторов следует определить необходимое число повторений опытов.

Для этого предварительно изготавливали партию

фанеры с применением карбамидоформальдегидного клея, не подверженного модифицированию электромагнитной обработкой. Из полученных листов фанеры изготавливали образцы, испытания которых на прочность при скалывании показали следующие статистические характеристики: среднее значение прочности при скалывании $\bar{y}$ = 0,799 МПа; дисперсия s^2 = 0,01235 МПа; коэффициент вариации ν = 13,91 %; показатель точности среднего значения p = 2,58 %.

Задавшись доверительным интервалом Δ = 0,1 МПа и применив известную методику, было принято число повторений опытов, равное пяти.

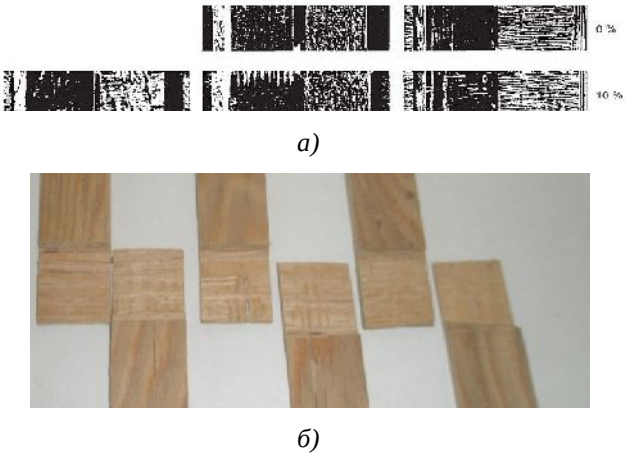
Результаты исследований. Проведенный эксперимент показал, что разрушение образцов фанеры при испытании на скалывание происходило на 90…95 % по клеевому слою, что подтверждает наличие качества склеиваемых поверхностей и внутренней структуры шпона. На рис. 1 показан характер разрушения образцов в зоне клеевого соединения. Рис. 2 иллюстрирует, что в процессе испытания образца фанеры на скалывание разрушение происходит по клеевому слою, а внутренний слой фанеры остается не разрушенным.

Применение качественного шпона в полной мере позволяет оценивать влияние модифицированного клея и установить взаимосвязь факторов режима прессования пакетов шпона, склеиваемых клеем, обработанным электромагнитным полем СВЧ-диапазона.

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает зависимость прочности при скалывании образцов фанеры от варьируемых факторов:

$$\tau_{ск} = 1{,}3033 + 0{,}06x_1 + 0{,}052x_2 + 0{,}07x_3 - 0{,}09796x_1^2 - 0{,}05796x_2^2 - 0{,}03796x_3^2 - 0{,}03375x_1x_2 + 0{,}01375x_1x_3 - 0{,}00375x_2x_3 \quad (1)$$

Уравнение регрессии в нормализованном обозначении факторов позволяет осуществлять оценку их влияния на выходной параметр. На характер влияния факторов указывают знаки коэффициентов при линейных членах регрессионного уравнения. Знак «плюс» свидетельствует о том, что с увеличением фактора растет величина выходного параметра, а при знаке «минус» — убывает. Наличие значимых коэффициентов уравнения регрессии при квадратичных членах указывает на возможность присутствия экстремальных точек значений выходного параметра. Если перед квадратичным членом уравнения регрессии стоит знак «плюс», то выходной параметр в локальной области факторного пространства имеет минимальное значение, а при знаке «минус» — максимальное. При анализе влияния взаимодействия факторов на выходной параметр следует иметь в виду, что если коэффициент при эффекте взаимодействия имеет положительный знак, то для увеличения значения выходного параметра требуется одновременно увеличить или уменьшить значения переменных факторов. Если эффект взаимодействия факторов имеет отрицательный знак, то для увеличения значения выходного параметра следует одновременно изменять значения факторов в противоположном направлении.



а)

б)

Рис. 1. Характер разрушения образцов фанеры при скалывании в зоне клеевого соединения: *а* — фрагмент таблицы стандартных значений когезионного разрушения древесины в зоне скалывания из ГОСТ 9624-2009; *б* — образцы фанеры после испытания

а) *б)*

Рис. 2. Характер разрушения образцов фанеры при скалывании в зоне клеевого соединения: *а* — образец в зажимах разрывной машины; *б* — разрушенный образец

Анализ уравнения регрессии (1) позволяет сделать следующие выводы: знак «плюс» перед линейными коэффициентами уравнения свидетельствует о повышении прочности при скалывании по клеевому слою образцов фанеры с повышением значений управляемых факторов (давление прессования, температура плит пресса и продолжительность прессования). При этом следует отметить, что повышение прочности происходит относительно начальных значений границ диапазонов переменных факторов, тогда как внутри границ диапазонов изменение прочности характеризуется наличием точки экстремума. Причем экстремум лежит в области максимальных значений прочности, на что указывает факт наличия знака «минус» перед квадратичными членами уравнения регрессии. Влияние факторов x_1 и x_2 во взаимодействии x_1x_2 характеризуется снижением прочности, что объясняется наличием значительной деформации пакета шпона в начальный период склеивания, а это препятствует выходу парогазовой смеси из пакета и ведет к ослаблению клеевого соединения. Факторы во взаимодействии x_1x_3 одинаково влияют на выходной параметр, так как рост давления прессования x_1 способствует улучшению контакта склеиваемых поверхностей и созданию тонкого клеевого слоя, а продолжительность

прессования x_3 обеспечивает при стабильной температуре плит пресса глубину поликонденсации связующего. При коэффициенте взаимодействия x_2x_3 стоит знак «минус», что указывает на необходимость снижения температуры плит пресса x_2 при условии увеличения продолжительности прессования x_3 и наоборот, чтобы обеспечить прочность склеивания в пределах диапазона варьирования факторов.

Для наглядного представления о характере влияния факторов и их взаимодействия в реальных единицах измерений на выходной параметр уравнение регрессии (1) преобразовано к виду с натуральными обозначениями факторов:

$$\tau_{ск} = -10{,}172 + 2{,}06P + 0{,}155T + 0{,}135t - \\ - 0{,}39P^2 - 0{,}0006T^2 - 0{,}0169t^2 - \\ - 0{,}006PT + 0{,}018Pt - 0{,}0002Tt \qquad (2)$$

Для анализа влияния управляемых факторов режима прессования на прочность фанеры при скалывании на основе уравнения регрессии (2) построены зависимости, изображенные на рис. 3–5.

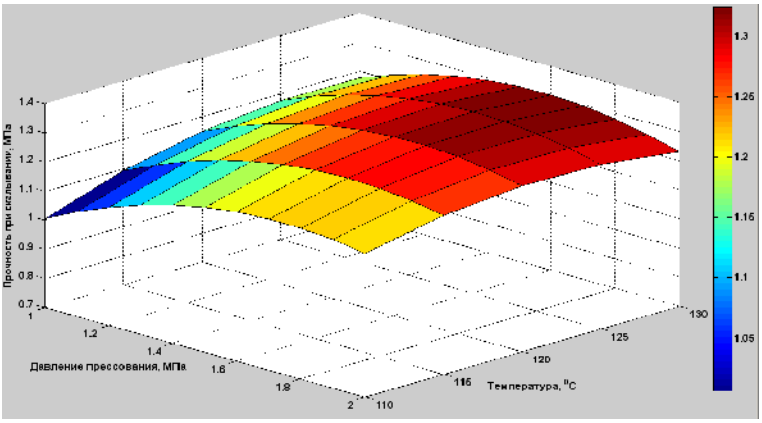


Рис. 3. Зависимость прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от давления прессования и температуры плит пресса (продолжительность прессования 2,5 мин)

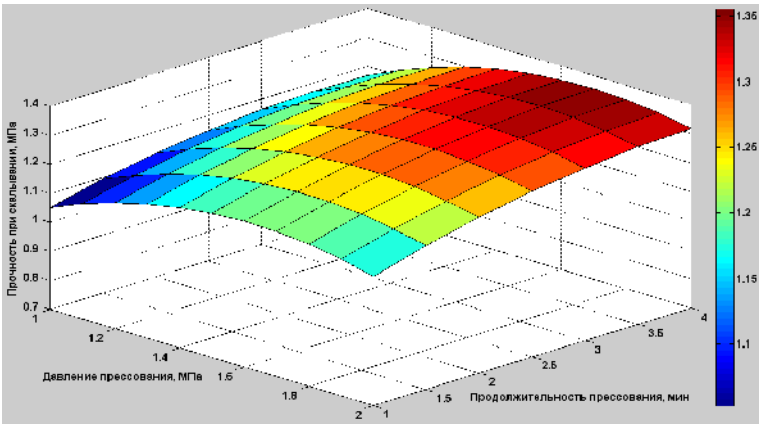


Рис. 4. Зависимость прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от давления и продолжительности прессования (температура плит пресса 120 °С)

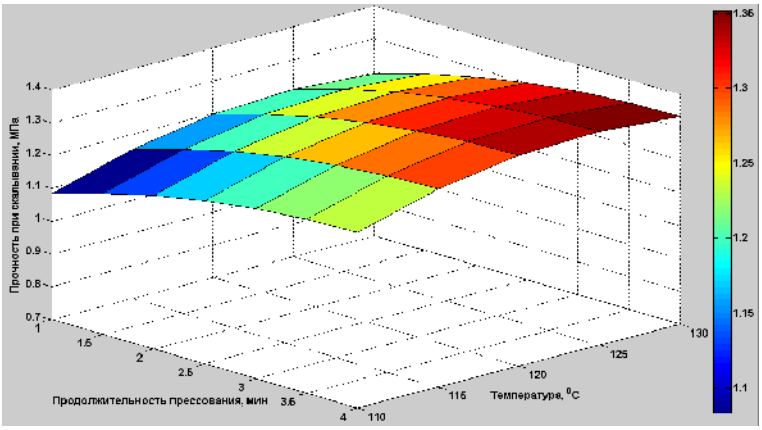


Рис. 5. Зависимость прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от продолжительности прессования и температуры плит пресса (давление прессования 1,5 Мпа)

На рис. 3 видно, что зависимость прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от давления прессования имеет экстремальный характер. С увеличением давления прессования прочность при скалывании по клеевому слою фанеры сначала возрастает, достигая максимальных значений при давлении прессования в интервале от 1,5 до 1,7 МПа, а затем постепенно уменьшается, что в полной мере согласуется с данными многочисленных работ, проведенных ранее различными исследователями [2]. В свою очередь, увеличение температуры плит пресса (в пределах варьирования) сопровождается повышением прочности при скалывании по клеевому слою фанеры, что указывает на возможность существования экстремума выходного параметра за пределами области варьирования температуры плит пресса.

Анализ зависимости (рис. 4) показал, что характер зависимости изменения прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от давления прессования во взаимодействии с продолжительностью прессования аналогичен характеру зависимости, изображенной на рис. 3. Повышение давления прессования сопровождается увеличением прочности при скалывании по клеевому слою фанеры, прочность достигает максимальных значений при давлении прессования в интервале от 1,5 до 1,7 МПа. Увеличение продолжительности прессования в исследуемом интервале сопровождается повышением прочности, что обусловлено большей деформацией древесины в зоне клеевого слоя. Данное заключение находит подтверждение в иллюстрации зависимости (рис. 5).

Анализируя график зависимости прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от продолжительности прессования и температуры плит пресса (рис. 5), следует констатировать, что продолжительность прессования и температура плит пресса в заданных интервалах исследования способствуют повышению прочности при скалывании по клеевому слою фанеры. Очевидно, что увеличение прочности обусловлено уплотнением древесины в зоне клеевого слоя, вызванным повышением температуры и продолжительностью прессования (термообработка под давлением).

Таким образом, в результате проведенного эксперимента установлено, что применение клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, позволяет повысить прочность при скалывании по клеевому слою фанеры, сократить продолжительность выдержки пакета шпона под давлением и тем самым обеспечить повышение производительности клеильного пресса.

Расчет технико-экономической эффективности. При условии реализации результатов на производстве может быть получен экономический эффект за счет рационального режима склеивания шпона, обеспечивающего повышение производительности клеильного пресса.

Рациональными считаются режимы, обеспечивающие достаточную прочность при скалывании по клеевому слою фанеры при сложившейся упрессовке (7–9 %) и имеющие оптимальные продолжительности пооперационного времени.

Достаточная прочность при скалывании по клеевому слою фанеры при односторонней доверительной вероятности $p = 0{,}95$ определяется условием [16]:

$$\tau = \tau^{ГОСТ} + 1{,}64 \cdot S\,, \qquad (3)$$

где $\tau^{ГОСТ}$ — значение прочности при скалывании по клеевому слою фанеры, нормируемое ГОСТ 9624-2009, *МПа*; S — среднеквадратическое отклонение, *МПа*.

В результате реализации серии опытов установлено, что $S = 0{,}11$ МПа. Если принять $\tau^{ГОСТ} = 1{,}0$ МПа, тогда согласно формуле (3) получим $\tau = 1{,}0 + 1{,}64 \cdot 0{,}11 = 1{,}18$ МПа.

Выбор рациональных параметров режима склеивания шпона осуществлен в MS Excel с помощью надстройки «Поиск решения». В результате установлено: давление прессования (P) — 1,6 МПа; температура плит пресса (T) — 120 °С; продолжительность прессования (термообработка под давлением) (t) — 2,5 мин.

Производительность горячего пресса при склеивании шпона определяют по формуле:

$$П = \frac{T_{см} \cdot F \cdot S_{ф} \cdot n \cdot m \cdot K}{t_{ц} \cdot 1000},\ м^3/смена, \qquad (4)$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены, *мин* (480 минут); F — формат обрезного листа фанеры, $м^2$ ($1{,}525 \times 1{,}525 = 2{,}3256$ м^2); $S_{ф}$ — толщина листа фанеры, *мм* (6,0 мм); n — число этажей стандартного пресса (пресс Д4438 имеет 26 этажей); m — число листов фанеры в прессуемом пакете шпона, ($m = 1$); K — коэффициент использования рабочего времени ($K = 0{,}9 – 0{,}95$); $t_{ц}$ — продолжительность цикла склеивания, *мин*.

Цикл работы горячего пресса при склеивании шпона включает ряд последовательных и параллельных (загрузка и выгрузка) операций, из которых необходимо выделить наиболее важные продолжительности — продолжительность выдержки под давлением (t_1) и продолжительность снижения давления (t_2). Следует также учитывать суммарную продолжительность вспомогательных операций (t_3). Продолжительность цикла склеивания шпона составит:

$$t_{ц} = t_1 + t_2 + t_3\,. \qquad (5)$$

Сравнение базового варианта склеивания лиственничного шпона и предлагаемого основывается на условии, что применение клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, позволит сократить продолжительность выдержки под давлением пакета шпона при склеивании и обеспечит повышение производительности клеильного пресса.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Пооперационное время цикла работы и производительность горячего пресса при склеивании лиственничного шпона

Вариант	Продолжительность операций, *мин*			Продолжительность цикла работы пресса, *мин*	Сменная производительность пресса, *м³/смена*	Годовая производительность пресса, *м³/год*	Годовой объем увеличения выпуска фанеры, *м³/год*
	Выдержка под давлением, *мин*	Снижение давления, *мин*	Вспомогательные операции, *мин*				
Базовый	4,0	1,5	2,0	7,5	20,9	5 225,0	–
Предлагаемый	2,5	1,5	2,0	6,0	26,1	6 525,0	1 300

Таким образом, из приведенных в табл. 4 данных видно, что применение клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, позволит увеличить выпуск фанеры на одном прессе на 1 300 м^3/год.

Эффективность инновационного проекта оценивается в течение расчетного периода, и для ее определения наиболее часто применяют показатель чистой приведенной стоимости (*NVP*) [17].

Методика расчета показателя чистой приведенной стоимости основана на суммировании величин чистых эффективных денежных потоков по всем интервалам планирования, в течение которого формируется накопленный дисконтированный эффект. Показатель чистой приведенной стоимости определяется следующим образом:

$$NVP = \sum_{i=1}^{n} \frac{NCF_i}{(1+A)^i}, \quad (6)$$

где NCF_i — чистый эффективный денежный поток на i-м интервале планирования; А — норма дисконта.

Поскольку эффект от применения клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, проявляется в сокращении продолжительности операционного времени выдержки пакета шпона под давлением, состав чистого эффективного денежного потока (операционная деятельность) включает притоки (выручку от реализации и внереализационные доходы) за минусом оттоков (производственные издержки и налоги).

Формула расчета чистого эффективного денежного потока прямым методом по операционной деятельности имеет следующий вид:

$$NCF_i = V_m + V_k - V_z - V_s - V_e, \quad (7)$$

где V_m — выручка от реализации; V_k — прочие поступления; V_z — затраты по операционной деятельности; V_s — налоговые платежи; V_e — прочие выплаты денежных средств.

Необходимость применения нормы дисконтирования обусловливается тем, что эффективный денежный поток определяется в различные временные периоды и, следовательно, имеет разное значение. Доход, полученный в более ранний период, имеет большую стоимость, чем полученный в более поздний период, в связи с изменяющейся инфляцией и ключевой ставкой Центрального банка Российской Федерации. Следовательно, норма дисконта при ожидаемой инфляции в 4 % и ключевой ставке ЦБ РФ в 7,5 % составит:

$$A = 4 + 7{,}5 = 11{,}5\%. \quad (8)$$

Экономический эффект от внедрения предлагаемого мероприятия может быть достигнут за счет повышения производительности клеильного пресса на 1 300 м^3 фанеры в год. При этом возрастут текущие затраты на сырье и материалы, а также на электроэнергию, необходимую для обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона. Кроме этого, единовременные затраты на приобретение и монтаж устройства электромагнитной обработки клея составят 30 тыс. р.

Анализ информации по ценам на фанеру позволил определить среднюю цену за 1 м^3 фанеры. Согласно [18], средняя цена 1 м^3 фанеры составляет 22 573 р.

Выручка от реализации дополнительно произведенной фанеры составит:

$$V_m = 1300 \cdot 22573 = 23444900 \text{ р.}$$

Прочих поступлений денежных средств от операционной деятельности не запланировано, следовательно, $V_k = 0$.

Затраты по операционной деятельности (V_z) определяются увеличением объемов потребляемого сырья и объемов потребляемого клея, а также увеличением расхода электроэнергии для обработки всего суммарного объема клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона.

На основе методики определен расход древесного сырья на производство 1 м^3 фанеры, который составил 2,7 м^3. Отсюда следует, что для выпуска фанеры дополнительным объемом 1 300 м^3 потребуется 3 510 м^3 древесного сырья. Стоимость 1 м^3 круглых лесоматериалов из лиственницы в среднем составляет 4 200 р. [19]. Следовательно, затраты на приобретение древесного сырья составят:

$$3510 \cdot 4200 = 14724000 \text{ р.}$$

Учитывая, что при производстве хвойной фанеры толщиной 6 мм марки ФК норма расхода товарной смолы составляет 49,9 кг/м^3, затраты на приобретение дополнительных объемов потребляемого клея с учетом цены за 1 кг клея в размере 21,00 р. [20] составят:

$$1300 \cdot 49{,}9 \cdot 21{,}0 = 1362270 \text{ р.}$$

Мощность установки для обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона составляет 4 кВт. С учетом коэффициента использования рабочего времени

установка работает 1 750 ч в год. Затраты на электроэнергию будут равны:

$$4 \cdot 8 \cdot 0{,}88 \cdot 250 \cdot 4 = 7000 \text{ р. в год.}$$

Налог на прибыль (24 %) составит 1 764 391 р.

Прочие выплаты денежных средств не запланированы ($V_e = 0$).

Для определения накопленного дисконтированного эффекта проведены соответствующие методическим рекомендациям расчеты, которые позволили установить, что величины чистого эффективного денежного потока по операционной деятельности имеют положительные значения, а это, в свою очередь, положительно характеризует абсолютную величину суммарного эффекта (NPV), достигаемого при осуществлении предлагаемого технического решения, связанного с введением в технологический процесс склеивания шпона операции обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона, и дает основание рассматривать данное техническое решение как экономически эффективное и привлекательное с инвестиционной точки зрения.

Выводы

Вследствие проведенных экспериментов установлено, что прочность при скалывании по клеевому слою фанеры, изготовленной с применением карбамидоформальдегидного клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, превышает значение в 1,0 МПа.

Анализ влияния исследуемых факторов на прочность при скалывании по клеевому слою фанеры, изготовленной с применением карбамидоформальдегидного клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, показал следующее:

1. Величина рациональных значений давления прессования при склеивании лиственничного шпона клеем, обработанным электромагнитным полем СВЧ-диапазона, находится в том же интервале значений (от 1,5 до 1,7 МПа), рекомендуемых существующими технологическими режимами изготовления хвойной фанеры.

2. Применение клея, обработанного электромагнитным полем СВЧ-диапазона, позволяет сократить на 20 % продолжительность цикла работы горячего пресса за счет сокращения продолжительности выдержки пакета шпона под давлением при обеспечении необходимой прочности при скалывании по клеевому слою фанеры (1,18 МПа) и тем самым обеспечить повышение производительности клеильного пресса.

3. Оценка эффективности применения обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона, выполненная на основе показателя чистой приведенной стоимости (NVP), позволила установить, что введение в технологический процесс склеивания шпона операции обработки клея электромагнитным полем СВЧ-диапазона является экономически оправданным.

Литература

1. Шевчук К.А., Бегункова Н.О. Влияние СВЧ-излучения на технологические свойства карбамидоформальдегидного клея Dorus FU 406 // Системы Методы Технологии. 2016. № 4 (32). С. 197-202.

2. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 164 с.

3. Preechatiwong W., Yingprasert W., Kyokong B. Effects of phenol-formaldehyde/isocyanate hybrid adhesives on properties of oriented strand lumber (OSL) from rubberwood waste // Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2007. Vol. 29, № 5. P. 1367–1375.

4. Vick C.B. Phenolic adhesive bonds to aspen veneers treated with amino-resin fire retardants // Forest Products Journal. 1994. Vol. 44, № 1. P. 33–40.

5. Vick C.B. Coupling agent improves durability of PRF bonds to CCA-treated Southern Pine // Forest Products Journal. 1995. Vol. 45, № 3. P. 78–84.

6. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Enhancement of service characteristics of boon boards by modifying carbamide-formaldehyde binder with polyvinyl acetate dispersion // Polymer Science Series D. N.-Y.: MAIK Nauka/Interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC. 2008. № 4. P. 241–243.

7. Pius A., Ekebafe L., Ugbesia S., Pius R. Modification of Adhesive Using Cellulose Micro-fiber (CMF) from Melon Seed Shell // American Journal of Polymer Science. 2014. Vol. 4, № 4. P. 101–106.

8. Altinok M., Kiliç A. Determination of bonding performances of modified polivinilacetat (PVAc) and KLEBIT 303 (K.303) adhesives in different hot-surroundings // Journal of Engineering Sciences. 2004. № 10 (1). P.73–80.

9. Selbo M.L. Adhesive bonding of wood. U.S. Dep. Agr., Tech. Bull. 1975. № 1512. 124 p.

10. Goetze H., Schultz-Dewitz G. The Influence of Fillers and other Aditionel Subtances on the Bonding Strenght of Adhesives with Solid Wood // Particleboard Joint, Drevivsky-Vyskum. 1987. № 114. P. 41–46.

11. Dziurka D., Lecka J., Dukarska D. The effect of modification of phenolic resin with akrylresorcinolis in the synthesis process on properties of particleboards // Annals of Warsaw Agricultural University. ForestryandTechnology. 2006. P. 277–281.

12. Попов В.М. Влияние технологических факторов на прочность клеевых соединений древесины, сформированных на основе магнитообработанных клеев // Лесотехнический журн. 2015. № 3 (19). С. 175–182.

13. Попов В.М., Иванов А.В. Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2007. № 4. С. 89–91.

14. Калганова С.Г. Влияние СВЧ воздействия электромагнитного поля на кинетику отверждения эпоксидной смолы // Вестн. СГТУ. 2006. № 1 (10). Вып. 1. С. 90–96.

15. Калганова С.Г., Исследование влияния СВЧ электромагнитного поля на прочность клеевого соединения полимерных волокнистых материалов / Ковалева Н.Е., Бесшапошникова В.И., Калганова С.Г., Полушенко И.Г. // Вестн. СГТУ. 2006. № 1 (11), Вып. 2. С. 85–89.

16. Чубинский А.Н., Чубов А.Б. Изготовление фанеры из древесины лиственницы. Л.: ЛДНТП, 1982. 20 с.

17. Бланк И.А. Основы инвестиционного менеджмента: в 2 т. М.: Омега-Л, 2008. Т. 1. 660 с.

18. Цена фанеры за лист: актуальная стоимость фанеры от размеров и толщины в Москве. Прайс-лист FaneraMonolit [Электронный ресурс] // Сайт компанииFaneraMonolit. URL: http://faneramonolit.ru/fanera-ceny.html (дата обращения: 14.02.2017).

19. Лес круглый Хабаровск – объявления с ценой [Электронный ресурс] // Flagma: сайт. URL: http://khabarovsk. flag-

ma.ru/les-kruglyy-o.html (дата обращения: 14.02.2017).

20. Смола карбамидная. Продажа смолы карбамидной. Компания «Кондор» [Электронный ресурс] // Сайт компании «Кондор».URL: http://www.компания-кондор.рф/karbamidnaya-smola/ (дата обращения: 14.02.2017).

References

1. Shevchuk K.A., Begunkova N.O. Influence of microwave radiation on technologic properties of urea-formaldehyde glue Dorus FU 406 //Systems Method Technologies. 2016. № 4 (32). P. 197-202.

2. Chubinskij A.N.Formation of adhesive joints of wood. SPb.: SPbGU, 1992. 164 p.

3. Preechatiwong W., Yingprasert W., Kyokong B. Effects of phenol-formaldehyde/isocyanate hybrid adhesives on properties of oriented strand lumber (OSL) from rubberwood waste // Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2007. Vol. 29, № 5. P. 1367-1375.

4. Vick C.B. Phenolic adhesive bonds to aspen veneers treated with amino-resin fire retardants // Forest Products Journal. 1994. Vol. 44, № 1. P. 33-40.

5. Vick C.B. Coupling agent improves durability of PRF bonds to CCA-treated Southern Pine // Forest Products Journal. 1995. Vol. 45, № 3. P. 78-84.

6. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Enhancement of service characteristics of boon boards by modifying carbamide-formaldehyde binder with polyvinyl acetate dispersion // Polymer Science Series D. N.-Y.: MAIK Nauka/Interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC. 2008. № 4. P. 241-243.

7. Pius A., Ekebafe L., Ugbesia S., Pius R. Modification of Adhesive Using Cellulose Micro-fiber (CMF) from Melon Seed Shell // American Journal of Polymer Science. 2014. Vol. 4, № 4. P. 101-106.

8. ALTINOK M., KILIÇ A. Determination of bonding performances of modified polivinilacetat (PVAc) and KLEBIT 303 (K.303) adhesives in different hot-surroundings // Journal of Engineering Sciences. 2004. № 10 (1). P.73-80.

9. Selbo M.L. Adhesive bonding of wood. U.S. Dep. Agr.Tech. Bull. 1975. № 1512. 124 p.

10. Goetze H., Schultz-Dewitz G. The Influence of Fillers and other Aditionel Subtances on the Bonding Strenght of Adhesives with Solid Wood // Particleboard Joint, Drevivsky-Vyskum. 1987. № 114. P. 41-46.

11. Dziurka D., Lecka J., Dukarska D. The effect of modification of phenolic resin with akrylresorcinolis in the synthesis process on properties of particleboards // Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Technology. 2006. P. 277-281.

12. Popov V.M.Influence of technological factors on the strength of the adhesive compounds of wood, formed on the basis of magneto-treated adhesives // Forestry Engineering Journal. 2015. № 3 (19). P. 175-182.

13. Popov V.M., Ivanov A.V.Intensive technology for producing laminated wood is elevated strength // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2007. № 4. P. 89-91.

14. Kalganova S.G.Electromagnetic field microwave influence on kinetic polymerizations epoxide pitches // VestnikSaratovStateTechnicalUniversity. 2006. № 1 (10). Vyp. 1. P. 90-96.

15. Kalganova S.G.Research of influence of the microwave oven of an electromagnetic field on hardness of a bond of the polymerous fibrous materials//Vestnik Saratov State Technical University. 2006. № 1 (11), Vyp. 2. P. 85-89.

16. Chubinskij A.N., Chubov A.B.Plywood manufacturing from wood of larch. L.: LDNTP, 1982. 20p.

17. Blank I.A.Basics of investment management: v 2 t. M.: Omega-L, 2008. T. 1. 660 p.

18. Price of plywood per sheet: The actual cost of plywood per the size and thickness at Moscow. Price list [Ehlektronnyj resurs] // Sajt kompanii FaneraMonolit. URL: http://fanera monolit.ru/fanera-ceny.html (data obrashcheniya: 14.02.2017).

19. Round wood Khabarovsk - ads and price [EHlektronnyj resurs] // Flagma: sajt. URL: http://khabarovsk.flagma.ru/les-kruglyy-o.html (data obrashcheniya: 14.02.2017).

20. Carbamide tar. Sale of carbamide tar. Company «Kondor» [Ehlektronnyj resurs] // Sajt kompanii «Kondor». URL: http://www.kompaniya-kondor.rf/karbamidnaya-smola/ (data obrashcheniya: 14.02.2017).