

«Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат физико-математических наук, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

*Саушкин Виктор Васильевич* – доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат физико-математических наук, доцент, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: rc@icmail.ru.

### Information about authors

*Matveev Nikolay Nikolaevich* – Vice-Rector, Professor of the Department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

*Evsikova Natalya Yuryevna* – Lecturer of the Department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

*Kamalova Nina Sergeevna* – Associate Professor of department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

*Saushkin Victor Vasilyevich* – Associate Professor of department General and Applied Physics of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

DOI: 10.12737/8454

УДК 674.093.26

### УСТАНОВЛЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ФАНЕРЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМОЛ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ФОРМАЛЬДЕГИДА

кандидат технических наук, профессор **В. С. Мурзин**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **Л. В. Пономаренко**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **Е. В. Кантиева**<sup>1</sup>

**А. А. Котенева**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»,  
г. Воронеж, Российская Федерация

Фанера нашла широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Она имеет небольшой вес, легко комбинируется с другими материалами, проста в обработке, устойчива к перепадам температуры, имеет эстетичный внешний вид. Ее прочностные, теплопроводные и другие характеристики гораздо выше показателей прочих клееных материалов. Так же фанера, с ее относительным соотношением высоких эксплуатационных показателей и себестоимости производства гораздо выгоднее в сравнении с продукцией, изготовленной из пластика и металлов. С

каждым годом все более ужесточаются требования к клееным материалам по эмиссии из них свободного формальдегида. Если продукция поставляется на экспорт, то содержание свободного формальдегида должно быть не более 6 мг на 100 г абсолютно сухой фанеры. В связи с этим при производстве фанеры наиболее широко используются малотоксичные карбамидоформальдегидные смолы с содержанием свободного формальдегида не более 0.15 % (КФ-МТ-15, КФ-Н-66Ф, КФ-53 и др.). Следует отметить, что применение данных смол, без изменения стандартных режимов склеивания, зачастую приводит к ухудшения механических характеристик, как например предела прочности при скалывании по клеевому слою. Задача эксперимента состояла в уточнении стандартных режимов склеивания фанеры с использованием при их производстве малотоксичных карбамидоформальдегидных смол и получения требуемой прочности склеивания, а также статистическая обработка результатов исследований с целью получения уравнений регрессии. Результаты исследований показали, что прочность склеивания фанеры на малотоксичных смолах ниже, чем на смолах с высоким содержанием формальдегида. Обеспечить сохранение прочности можно только за счет увеличения расхода клея и продолжительности склеивания. Также установлены регрессионные зависимости продолжительности склеивания фанеры на ее прочность с использованием смол с различным содержанием формальдегида.

**Ключевые слова:** фанера, формальдегид, прочность, карбамидоформальдегидная смола, продолжительность склеивания.

### DETERMINATION OF REGRESSION RELATIONSHIPS OF PLYWOOD GLUING DURATION ON ITS BONDING STRENGTH, USING RESINS WITH DIFFERENT FORMALDEHYDE CONTENT

PhD in Engineering, Professor **V. S. Murzin**<sup>1</sup>

PhD in Engineering, Associate Professor **L. V. Ponomarenko**<sup>1</sup>

PhD in Engineering, Associate Professor **E. V. Kantieva**<sup>1</sup>

**A. A. Koteneva**<sup>1</sup>

1 – FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», Voronezh, Russian Federation

Plywood has been widely used in all sectors of the economy. It is lightweight, easily be combined with other materials, easy to process and resistant to temperature changes, has an aesthetic appearance. Its strength, thermal conductivity and other characteristics are much higher than characteristics of other laminated materials. Also plywood, with its relatively high ratio of performance and cost of production is much more profitable compared to products made of plastics and metals. Every year more and requirements for glued materials to the emission of free formaldehyde of them becomes more tightened. If the products are exported, the content of free formaldehyde should be no more than 6 mg per 100 g of absolutely dry plywood. In this connection, in the manufacture of plywood the most widely used is low toxicity urea resin with a free formaldehyde content of not more than 0.15% (КФ-МТ-15, КФ-Н-66Ф, КФ-53, etc.). It should be noted that the use of these resins, without changing the standard modes of adhesion, often leads to the deterioration of mechani-

cal properties such as shear strength for the adhesive layer. The task of the experiment was to clarify the standard modes of bonding plywood using in their production low toxic urea-formaldehyde resins, and obtain the required bond strength, as well as statistical analysis of the results of research in order to obtain regression equations. The results showed that the bonding strength of plywood on low toxic resins is lower than on resins with high formaldehyde content. To ensure the preservation of strength is possible only due to increased consumption of adhesive and duration of bonding. Also regression dependences of plywood bonding duration depending for bonding strength, using resins with different formaldehyde content, are found.

**Keywords:** plywood, formaldehyde, strength, urea-formaldehyde resin, adhesive duration.

Фанера – один из самых широко используемых клееных материалов в производстве мебели, вагоно-судо-самолетостроении, строительстве и т.д. Сегодня предприятия предлагают широкий ассортимент фанеры (общего назначения, декоративная, строительная, авиационная и др.).

Российские предприятия успешно реализуют свою продукцию не только в России, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Импорт фанеры составляет 30 % от общего объема производства.

Сегодня взыскательный потребитель требует фанеру высокой прочности, уделяет внимание токсичности материала и внешнему виду. Поэтому производитель стремится к увеличению объемов выпуска фанеры за счет интенсификации производства, к снижению токсичности за счет использования малотоксичных смол (с низким содержанием формальдегида).

Использование новейших технологий и дорогостоящего сырья, один из способов получения высокого качества изделия, но в то же время требующий больших финансовых затрат. Поэтому разумно получать фанеру европейского качества усложняя существующую технологию и используя традиционное сырье.

В качестве связующего, применяемого в производстве клееной фанеры, чаще всего используются смолы на основе формальдегида. Наиболее распространенные – карбамидоформальдегидные смолы. Эти смолы обеспечивают высокие физико-механические свойства фанеры и светлые клеевые слои на торцах листов, но имеют и некоторые недостатки, например, высокое содержание формальдегида, что не всегда позволяет получать фанеру, соответствующую требуемому классу эмиссии формальдегида E1 по евростандарту и препятствует увеличению экспорта фанеры.

Наиболее распространенным отвердителем карбамидоформальдегидных смол при склеивании горячим способом является хлористый аммоний. Введенный в смолу в порошкообразном виде или в виде водного раствора он реагирует со свободным или слабосвязанным формальдегидом с выделением соляной кислоты. При этом pH клеевого раствора снижается незначительно, что позволяет сохранить жизнеспособность клея не менее 8 часов. При нагревании процесс отверждения смолы ускоряется, поскольку pH раствора снижается приблизительно до 4. Кроме снижения pH среды, при взаимодействии хлори-

стого аммония с формальдегидом выделяется тепло, что также способствует ускорению реакции поликонденсации.

Вероятно, что при использовании карбамидных смол с различным содержанием формальдегида процесс отверждения будет происходить с разной скоростью.

Ранее нами было установлено, что для малотоксичных смол рН отвержденного клея составляет для смолы марки КФ-Ж – 2,0; КФ-МТ-15 – 2,7. При этом процесс отверждения этих клеев в пробирках (при определении времени желатинизации при 100° С) отличается незначительно, однако отвержденное связующее на основе смолы КФ-Ж превращается в твердую массу, а на основе смолы КФ-МТ-15 – в резиноподобную. При практически одинаковом времени отверждения этих смол, масса и рН отвержденного клея отличаются [1, 2]. Следовательно, за 60 с процесс отверждения малотоксичных смол не завершается.

Целью данных исследований является выявление зависимости прочности склеивания фанеры от продолжительности склеивания при использовании смол с разным содержанием свободного формальдегида, что позволит уточнить режимы

склеивания фанеры на малотоксичных смолах, а также статистическая обработка результатов исследований с целью получения уравнений регрессии.

Для склеивания были выбраны карбамидоформальдегидные смолы двух марок КФ-Ж и КФ-МТ-10 с различным содержанием свободного формальдегида.

Физико-химические свойства смол приведены в табл. 1.

В ходе эксперимента изготавливали 3-хслойную фанеру толщиной 4 мм из березового лущеного шпона толщиной 1,5 мм влажность 6 %. Склеивание производили традиционными режимами склеивания 4-х миллиметровой фанеры по 3 листа в одном промежутке пресса. Температура плит пресса 125-130° С, давление прессования 0,8 МПа. Давление прессования выбрано с учетом того, чтобы скалывание при испытании образцов происходило по клеевому шву, а не по древесине. Продолжительность склеивания составляла 3, 4, 5 и 7 мин. После склеивания фанера выдерживалась в нормальных температурно-влажностных условиях в течение суток, после чего проводились испытания предела прочности при скалывании по клеевому слою (ГОСТ 9624-93).

Таблица 1

Физико-химические свойства смол

Показатель	Величина показателя для смол марок	
	КФ-Ж	КФ-МТ-10
Массовая доля сухого остатка, %	67±2	67±2
Содержание свободного формальдегида, %, не более	0,9	0,2
Время желатинизации при 100 <sup>0</sup> С, с	40-65	50-70
Вязкость по ВЗ-246, с по ВЗ-1, с	-	15-32
	40-60	-
рН	7,5...8,7	7,8...8,8

По результатам испытаний построены графики зависимости предела прочности при скалывании по клеевому шву от продолжительности склеивания фанеры, представленные на рис.

Как видно из графиков, при склеивании фанеры на смоле КФ-Ж наибольшая прочность достигается при продолжительности склеивания 4 мин. При продолжительности склеивания 3 мин прочность на скалывание ниже, что объясняется неполным отверждением смолы за этот промежуток времени. При продолжительности склеивания 5 мин прочность также ниже, что обусловлено частичной термодеструкцией смолы под действием длительного воздействия температуры. Ситуация усугубляется при продолжительности склеивания 7 мин.

При склеивании фанеры смолой КФ-МТ-10 с увеличением продолжительности склеивания растет и прочность фанеры. Наи-

большая прочность достигается при продолжительности склеивания 5 мин. При выдержке в прессе 7 мин прочность снижается.

Как видно из графиков при склеивании фанеры смолой КФ-Ж максимальная прочность достигается при продолжительности склеивания, рекомендуемой в литературе (4 мин), а при использовании малотоксичной смолы КФ-МТ-10 для достижения максимальной прочности продолжительность склеивания должна быть увеличена до 5 мин.

Прочностные свойства фанеры склеенной смолой КФ-Ж выше, чем фанеры склеенной смолой КФ-МТ-10. Так максимальная прочность фанеры на смоле КФ-Ж составляет 2,4 МПа  $\tau_{ск} = 4$  мин, а на смоле КФ-МТ-10  $\tau_{ск} = 1,79$  МПа при  $\tau_{скл} = 5$  мин.

Для математического описания полученных зависимостей была выбрана параболическая функция вида  $Y = a + bX + cX^2$ , где  $Y$  – выходная величина предел прочно-

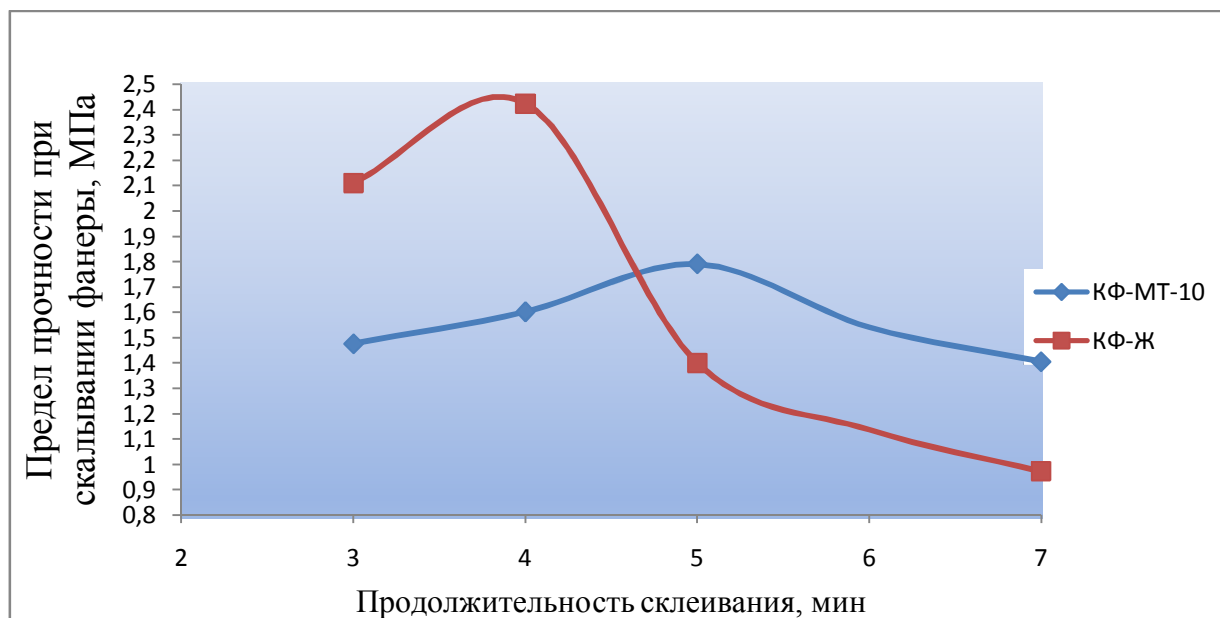


Рисунок. График зависимости предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от продолжительности склеивания

сти при скалывании по клеевому слою фанеры, МПа; X – переменный фактор – продолжительность склеивания фанеры, мин; a, b, c – коэффициенты уравнения регрессии.

Коэффициенты находим по формулам:

$$c = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 A_3 - A_2^2}; \quad (1)$$

$$b = \frac{B_1 - c A_2}{A_1}; \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{n} (\sum Y_i - b \sum X_i - c \sum X_i^2). \quad (3)$$

где  $A_1 = n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2;$

$$A_2 = n \sum X_i^3 - \sum X_i^2 \cdot \sum X_i;$$

$$A_3 = n \sum X_i^4 - (\sum X_i^2)^2;$$

$$B_1 = n \sum Y_i X_i - \sum Y_i \cdot \sum X_i;$$

$$B_2 = n \sum Y_i X_i^2 - \sum Y_i \cdot \sum X_i^2;$$

$$(i=1,2,\dots,n).$$

Значения коэффициентов регрессии для смолы КФ-МТ-10: a = -0,13, b = 0,76, c = -0,08; для смолы КФ-Ж: a = 2,67, b = -0,05, c = -0,03.

После подстановки значений коэффициентов регрессии и переменного фактора в уравнение были определены рас-

четные значения выходной величины (табл. 2).

Уравнения регрессии имеют вид:

для смолы КФ-МТ-10

$$Y = -0,13 + 0,76X - 0,08X^2$$

для смолы КФ-Ж

$$Y = 2,67 - 0,05X - 0,03X^2$$

Далее была проведена проверка адекватности полученных уравнений.

Дисперсия адекватности:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N-p} \sum (\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2, \quad (4)$$

где p – количество коэффициентов регрессии,

$\bar{Y}_u$  – экспериментальное значение выходной величины,

$\hat{Y}_u$  – расчетное значение выходной величины.

Число степеней свободы этой дисперсии  $f_{ад} = N - p$ .

$$S_{ad} = (1,476 - 1,43)^2 + (1,602 - 1,63)^2 + (1,79 - 1,67)^2 + (1,406 - 1,27)^2 = 0,0358;$$

$$S_{ad} = (2,11 - 2,25)^2 + (2,423 - 1,99)^2 + (1,40 - 1,67)^2 + (0,772 - 0,85)^2 = 0,286.$$

Таблица 2

Данные обработки результатов исследований.

Марка смолы	Варьируемый фактор X, мин	Выходная величина Y, МПа	Расчетное значение выходной величины Y, МПа
КФ-МТ-10	3	1,476	1,43
	4	1,602	1,63
	5	1,79	1,67
	7	1,406	1,27
КФ-Ж	3	2,11	2,25
	4	2,423	1,99
	5	1,40	1,67
	7	0,972	0,85

Дисперсию воспроизводимости вычисляли по результатам отдельной серии опытов в центре плана по формуле:

$$S_y^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n_0} (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (5)$$

где  $n_0$  – число опытов ( $n_0=5$ );

$Y_i$  – результаты опыта;

$\bar{Y}_i$  – среднее значение результатов

опытов.

$$S_y^2 = \frac{1}{5-1} (1,189 - 1,602)^2 + (1,87 - 1,602)^2 + \\ + (1,913 - 1,602)^2 + (1,324 - 1,602)^2 + \\ + (1,716 - 1,602)^2 = 0,107;$$

$$S_y^2 = \frac{1}{5-1} (1,18 - 1,4)^2 + (1,6 - 1,4)^2 + \\ + (1,42 - 1,4)^2 + (1,646 - 1,4)^2 + \\ + (1,25 - 1,4)^2 = 0,043.$$

Проверку адекватности выполняют по отношению:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (6)$$

которое сравнивают с критерием Фишера  $F_{1-q}(f_{ад}, f_y)$  при уровне значимости  $q$  и степенях свободы  $f_{ад}$  и  $f_y$ . Если выполняется условие:

$$F < F_{1-q}(f_{ад}, f_y), \quad (7)$$

то найденную модель объекта можно считать адекватной.

$$F = \frac{0,0358}{0,107} = 0,335 < 7,7 ;$$

$$F = \frac{0,286}{0,043} = 6,65 < 7,7.$$

Условия выполняются, данные уравнения регрессии адекватны при уровне значимости 0,05.

Таким образом, проанализировав результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

1. При склеивании фанеры малотоксичными смолами необходимо увеличивать продолжительность склеивания.

2. Прочность склеивания фанеры на малотоксичных смолах ниже, чем на смолах с высоким содержанием формальдегида. Вероятно, что обеспечить сохранение прочности можно только за счет увеличения расхода клея.

3. Зависимость прочности склеивания фанеры от продолжительности склеивания описывается следующими зависимостями:

для смолы КФ-МТ-10

$$\sigma_{ск} = - 0,13 + 0,76\tau - 0,08\tau^2;$$

для смолы КФ-Ж

$$\sigma_{ск} = 2,67 - 0,05\tau - 0,03\tau^2.$$

### Библиографический список

1. Мурзин, В. С. Исследование механизма отверждения карбамидоформальдегидных смол с различным содержанием свободного формальдегида [Текст] / В. С. Мурзин, Е. В. Кантиева, Л. В. Пономаренко // Современные технологические процессы получения материалов и изделий из древесины : сб. науч. тр. – Воронеж, 2010. – С. 18-20.

2. Мурзин, В. С. Исследование влияния постоянного магнитного поля на физико-механические свойства карбамидоформальдегидных смол [Текст] / В. С. Мурзин, Е. В. Кантиева, Л. В. Пономаренко, В. М. Попов // Актуальные проблемы и перспективы лесопромышленного комплекса : материалы междунар. Науч.-техн. конференции. – Кострома : КГТУ, 2012. – С. 120-122.

### References

1. Murzin V.S., Kantieva E.V., Ponomarenko L.V. *Issledovanie mehanizma otverzhdeniya karbamidoformal'degidnyh smol s razlichnym sodержaniem svobodnogo formal'degida* [Investigation of the mechanism of curing of urea-formaldehyde resins with different content of free formaldehyde] *Sovremennye tehnologicheskie processy poluchenija materialov i izdelij iz drevesiny: sb. nauch. tr.* [Modern technological processes of wood materials and products manufacturing: Coll. scientific works]. Voronezh, 2010, pp. 18-20. (In Russian).

2. Murzin V.S., Kantieva E.V., Ponomarenko L.V., Popov V.M. *Issledovanie vlijaniya postojannogo magnitnogo polja na fiziko-mehaničeskie svojstva karbamidoformal'degidnyh smol* [Investigation of the influence of the constant magnetic field on physical and mechanical properties of urea-formaldehyde resins] *Aktual'nye problemy i perspektivy lesopro-myshlennogo kompleksa : materialy mezhdunar. Nauch.-tehn konferencii* [Actual problems and prospects of the timber industry: Proceedings of the international. Scientific and engineering conference]. Kostroma, 2012, pp. 120-122. (In Russian).

### Сведения об авторах

*Мурзин Виктор Сергеевич* – профессор кафедры механической технологии древесины, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mtd.vrn@mail.ru

*Кантиева Екатерина Валентиновна* – доцент кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: ekantieva@mail.ru.

*Пономаренко Лариса Викторовна* – доцент кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: lara.pon63@yandex.ru.

*Котенева Анастасия Андреевна* – студентка ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: cot.anastasia@yandex.ru.

### Information about authors

*Murzin Viktor Sergeevich* – Professor Department of mechanical technology of wood department of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: mtd.vrn@mail.ru

*Kantieva Ekaterina Valentinovna* – Associate Professor Department of mechanical technology of wood department of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: ekantieva@mail.ru.

*Ponomarenko Larisa Viktorovna* – Associate Professor Department of mechanical technology of wood department of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: lara.pon63@yandex.ru.

*Koteneva Anastasia Andreevna* – student of FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», Voronezh, Russian Federation; e-mail: cot.anastasia@yandex.ru.