

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА НА ПОКАЗАТЕЛИ ФАНЕРЫ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОМ СВЯЗУЮЩЕМ¹

кандидат технических наук, доцент **А.А. Федотов**

кандидат технических наук, доцент **Т.Н. Вахнина**

аспирант **С.А. Котиков**

ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, Российская Федерация

Для уменьшения издержек на производство фанеры ФСФ изготавливают путем прессования при сниженной температуре. Однако при этом для фенолоформальдегидного связующего не обеспечивается стадия резита, следствием чего является снижение физико-механических показателей фанеры. В мировой и российской практике научных работ данную проблему решают различными способами: модификацией связующего на стадии его синтеза, предварительной поверхностной обработкой шпона, модификацией фенолоформальдегидного связующего на стадии синтеза или «on site». Для разработки рационального сочетания значений факторов процесса производства, позволяющего сформировать более прочную структуру фанеры при низкотемпературном прессовании, использована модификация связующего добавкой диметилглиоксима. Выполнен эксперимент по В-плану 2-го порядка. Варьировались: доля добавки диметилглиоксима (от 0,5 до 1,5 % от массы связующего), температура прессования (от 110 до 130 °С), время прессования (от 4 до 5 мин). Разработаны регрессионные модели предела прочности фанеры при скалывании по клеевому слою, предела прочности при статическом изгибе, разбухания фанеры по толщине после 24 ч пребывания в воде. Установлено, что при увеличении доли добавки диметилглиоксима до 1,5 % прочность фанеры при скалывании увеличивается на 25 %, прочность при статическом изгибе – на 30 %, разбухание по толщине – на 10 %. Это позволяет сделать вывод об углублении процесса структурообразования фанеры ФСФ при прессовании на модифицированном связующем. Разработаны рекомендации по рациональному сочетанию значений факторов процесса производства фанеры ФСФ.

Ключевые слова: фанера ФСФ, фенолоформальдегидное связующее, модификация, диметилглиоксим, доля добавки, температура прессования, время прессования, прочность, водостойкость, регрессионная модель

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Костромской области в рамках научного проекта № 19-43-440001.

THE INFLUENCE OF PRODUCTION PROCESS FACTORS ON THE INDICATORS OF PLYWOOD ON MODIFIED PHENOL-FORMALDEHYDE BINDER²

PhD (Engineering), Associate Professor **A.A. Fedotov**
PhD (Engineering), Associate Professor **T.N. Vakhnina**
Post-graduate student **S.A. Kotikov**

FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation

Abstract

To reduce production costs, FSF plywood is produced by pressing at a reduced temperature. However, at the same time, the resite stage is not provided for the phenol-formaldehyde binder, which results in a decrease in the physical and mechanical properties of plywood. In the world and Russian practice of scientific work, this problem is solved in various ways: by modifying the binder at the stage of its synthesis, by preliminary surface treatment of veneer, by modifying phenol-formaldehyde binder at the stage of synthesis or "on site". To develop a rational combination of the values of the production process factors, which makes it possible to form a more durable structure of plywood during low-temperature pressing, a modification of the binder with the addition of dimethylglyoxime was used. An experiment was carried out on the B-plan of the 2nd order. The following varied: proportion of dimethylglyoxime addition (from 0.5 to 1.5% of the binder mass), pressing temperature (from 110 to 130 °C), pressing time (from 4 to 5 min). Regression models have been developed for the ultimate strength of plywood when chipping along the adhesive layer, ultimate strength in static bending, and thickness swelling of plywood after 24 hours in water. It was found that with an increase in the proportion of dimethylglyoxime additive to 1.5%, the shear strength of plywood increases by 25%, the static bending strength by 30%, and thickness swelling by 10%. This allows us to conclude about the deepening of the process of structure formation of FSF plywood when pressed on a modified binder. Recommendations for the rational combination of the values of the factors of the production process of FSF plywood have been developed.

Keywords: FSF plywood, phenol-formaldehyde binder, modification, dimethylglyoxime, additive fraction, pressing temperature, pressing time, strength, water resistance, regression model

² The study was carried out with the financial support of the RFBR and the administration of the Kostroma region in the framework of the scientific project No. 19-43-440001.

В основе производства фанеры ФСФ лежит процесс структурообразования композиции «лучше-ный шпон-фенолоформальдегидное связующее». Условием производства фанеры с высокими значениями физико-механических показателей является использование комплекса технологических факторов «температура-продолжительность прессования», обеспечивающего стадию резита в фенолоформальдегидном связующем (ФСФ) [19, 21]. Однако на практике решение задач повышения конкурентоспособности фанерной продукции на мировом рынке в целом требует снижения себестоимости производства фанеры (в том числе уменьшения энергозатрат). Вследствие этого в условиях действующих производств фанера ФСФ изготавливается при относительно невысокой температуре, что не позволяет связующему достигать стадии резита в процессе структурообразования фанеры, что неизбежно сказывается на снижении ее физико-механических показателей. Для устранения данных противоречий необходим комплексный подход, позволяющий разработать рекомендации по рациональному значению факторов процесса производства фанеры.

Решение обозначенных проблем может достигаться различными путями. Первый путь, который используют отечественные и зарубежные ученые, – модификация связующего на стадии его синтеза. Распространенными подходами являются замена части фенола на лигнин, модификация пиролизной или ионной жидкостью [9, 11, 14, 16, 18]. С.А. Забелиным с коллегами исследовалась возможность модификации ФСФ на стадии синтеза пиролизной жидкостью. Прочность полученных фанерных образцов снижена по сравнению с данным показателем для фанеры на немодифицированном ФСФ [20]. По данным А.Н. Conner, L.F. Lorenz и К. Hirth, добавление сложных эфиров, лактонов или органических карбонатов и других соединений, таких как этилформиат, пропиленкарбонат, бутиролактон и триацетин, увеличивает скорость отверждения фенолоформальдегидных смол [8], причем модификаторы активно участвуют в реакции поликонденсации на стадии синтеза [12]. Н.А. Shnawa с коллегами применяли модифицирование фенолоформальдегидной смолы таннинфор-

мальдегидом [17]; данный вариант эффективен, дает повышение характеристик фанеры, однако не позволяет реализовывать его на действующем производстве, работающем на покупной фенольной смоле. По мнению авторов данной статьи, модификация смолы на стадии синтеза применительно к предприятиям по производству смол может быть реализована при условии исследования влияния модификаторов на жизнестойкость смолы в процессе ее хранения.

Разрабатываются также возможности применения в качестве модификаторов, улучшающих адгезию и ускоряющих отверждение, природных и искусственных соединений, таких как коллагеновый коллоид (вторичное сырье), наноцеллюлоза. В рамках экспериментальных исследований J. Matyášovský, P. Jurkovič, J. Sedliacik и I. Novák использовали растворимый коллаген в качестве модификатора композиции поликонденсационных клеев. На основании полученных результатов они отметили, что коллаген оказывает существенное влияние на основные свойства карбаминоформальдегидных и фенолоформальдегидных клеев, а также на механические и физические свойства клеевых соединений [13]. J. Kawalerczyk с коллегами исследовали влияние наноцеллюлозной добавки в ФСФ при производстве водостойкой фанеры [10]. Однако введение данных модификаторов приводит к увеличению вязкости связующего.

В качестве альтернативного варианта учеными разрабатывается подход к повышению прочности фанеры за счет поверхностной обработки шпона. В работах P. Bekhta, J. Sedliacik и D. Тумук исследовано влияние поверхностной модификации шпона различными видами активаторов (перекись водорода, персульфат алюминия, уксусная кислота, карбонат натрия) на качество поверхности шпона и прочность фанеры при скалывании по клеевому шву. Наилучшие результаты были достигнуты при обработке поверхности пероксидом водорода, однако способ требует нанесения значительного количества модификатора – до 30 г/м² [3, 7]. В соавторстве P. Niemz, P. Bekhta и J. Sedliacik опубликовали результаты исследования влияния предварительной подпрессовки шпона на адгезию связующего и показатели клееной продукции [1, 4]. Сле-

дует отметить, что предлагаемая методика обработки требует гладких и тщательно очищенных прокладок или плит пресса, нагрева при температуре 150 °С и давлении 2 МПа. После подпрессовки необходима выдержка и охлаждение шпона [2, 4]. Использование результатов исследования позволяет снизить температуру и давление прессования, однако при этом требуется введение дополнительных технологических операций.

Третий путь улучшения показателей фанерной продукции, производимой при сниженной температуре прессования, является наиболее приемлемым для практического использования. Это модификация фенолоформальдегидного связующего «on site» активными модифицирующими добавками. Использование D. Dziurka, J. Łęcka и R. Mirski в качестве модификаторов алкилрезорцинов и пероксида водорода позволяет уменьшить время прессования фанеры на 25 %, однако при этом наблюдается значительный расход связующего (160 г/м²) и более высокая температура прессования (135 °С) [15]. P. Bekhta и J. Sedliacik с коллегами получили хорошие показатели фанеры, изготавливаемой при достаточно низкой для производства продукции на фенольном связующем температуре прессования 100 °С, но время прессования и расход были значительными (6 мин и 140 г/м² соответственно) [6]. В работе [5] также применялся повышенный расход связующего при производстве фанеры (150 г/м²) при идентичной температуре и давлении прессования.

Таким образом, можно отметить множество работ в области совершенствования состава композиции и технологических факторов процесса производства фанеры марки ФСФ, однако в рамках теории структурообразования данные решения являются частными, при улучшении одного показателя ряд других имеет недостаточно высокое значение.

Цель данного экспериментального исследования – разработка рационального сочетания значений факторов процесса производства фанеры марки ФСФ, позволяющих снизить затраты на продукцию при сохранении необходимых физико-механических показателей.

Материалы и методы

В работе исследовалось влияние модифицирующей добавки диметилглиоксима C₄H₈N₂O₂ к связующему на основе смолы СФЖ-3014 (ГОСТ 20907–2016) на физико-механические показатели фанеры ФСФ.

Изготавливалась пятислойная фанера на основе лущеного березового шпона номинальной толщиной 1,5 мм (ГОСТ 99–2016). Шпон предварительно высушивался до влажности (7±1) %. После формирования пакета и нанесения связующего выполнялось горячее прессование в лабораторном гидравлическом прессе П100-400 при следующих значениях постоянных факторов: удельное давление прессования – 1,6 МПа; расход связующего – 100 г/м².

Изготовленная фанера охлаждалась в течение 24 ч, затем раскраивалась на образцы для проведения испытаний на прочность при скалывании согласно ГОСТ 9624–2009. Перед проведением испытаний образцы выдерживались в кипящей воде при температуре 100 °С в течение 1 ч с последующим выдерживанием при комнатной температуре в течение (10±1) мин.

Для проведения испытаний на скалывание по клеевому шву использовали разрывную машину Р-5 (ГОСТ 28840), оборудованную клиновыми захватами. За результат испытания принимали среднее арифметическое показателя по пяти дублированным опытам. Прочность фанеры при статическом изгибе определялась согласно ГОСТ 9625–2013, испытывались четыре образца, два из них верхней пластью вверх, два – верхней пластью вниз. За результат определения прочности фанеры при статическом изгибе принимали среднее арифметическое показателей по испытаниям четырех образцов.

Эксперимент проводился по В-плану второго порядка, иначе – плану В₃. План является композиционным: его ядро – полный факторный план 2³ дополнен 2k = 6 звездными точками. В-план близок к D-оптимальному, то есть в нем минимизируется обобщенная дисперсия оценок коэффициентов регрессии. Для вычисления коэффициентов регрессии использованы классические формулы, в основе ко-

торых, как и для других экспериментальных планов, лежит метод наименьших квадратов.

Варьировались технологические факторы:

Фактор X_1 – доля добавки диметилглиоксима варьировалась от 0,5 до 1,5 % от массы связующего (от –1 до +1 в кодированных обозначениях). Добавка вносилась в виде суспензии 20 %-й концентрации.

Фактор X_2 – температура прессования – от 110 до 130 °С.

Фактор X_3 – время прессования – от 4 до 5 мин.

Разрабатывались регрессионные математические модели выходных величин (показателей фанеры): Y_1 – прочность фанеры при скалывании по клеевому шву, МПа; Y_2 – прочность фанеры при статическом изгибе, МПа; Y_3 – разбухание фанеры по толщине после 24 ч пребывания в воде.

Результаты и обсуждение

В качестве контрольного был изготовлен образец фанеры ФСФ без модификатора. Температура прессования 110 °С, время прессования 4,0 мин. Средний предел прочности контрольных образцов при скалывании по клеевому слою после кипячения в течение 1 ч составил 1,12 МПа, предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон – 87,6 МПа, разбухание образцов фанеры по толщине после 24 ч пребывания в воде 13,8 %.

В результате обработки экспериментальных данных были получены модели выходных величин:

$$Y_1 = 1.54 + 0.071X_1 + 0.174X_2 + 0.082X_3 - 0.068X_1^2 + 0.113X_2^2 - 0.067X_3^2 - 0.04X_1X_2 - 0.022X_1X_3.$$

$$Y_2 = 119.1 + 11.1X_1 + 12.5X_2 - 0.22X_3 + 5.85X_1^2 - 7.9X_2^2 + 1.65X_3^2 - 6.09X_1X_2 + 1.84X_1X_3 - 4.16X_2X_3.$$

$$Y_3 = 10.69 - 0.46X_1 - 0.32X_2 - 0.52X_3 + 0.31X_1^2 + 0.15X_2^2 + 0.35X_3^2 + 0.015X_1X_2 - 0.222X_1X_3 + 0.06X_2X_3.$$

Графические зависимости влияния варьируемых факторов на предел прочности фанеры при скалывании по клеевому слою после кипячения в течение 1 ч представлены на рис. 1-3, на прочность фанеры при статическом изгибе – на рис. 4-6, на разбухание по толщине после 24 ч пребывания в воде – на рис. 7-9.

В интервале температур от 110 до 120 °С при всех сочетаниях значений доли добавки диметилглиоксима и времени прессования прочность фанеры при скалывании минимальна (рис. 2), более интенсивный рост прочности начинается со 120 °С (0 в кодированных обозначениях фактора). При максимальных значениях температуры и времени прессования (в рамках диапазонов варьирования данного исследования) максимальная прочность фанеры при скалывании обеспечивается при добавке диметилглиоксима 0,5-0,6 % от массы смолы.

При прессовании с минимальной температурой фанера имеет наименьшие значения прочности при статическом изгибе, динамика роста прочности с увеличением доли добавки модификатора имеет сходный характер, как для минимального, так и для максимального времени прессования (большие значения – при максимальном времени прессования). По мнению авторов, это обусловлено ростом степени поликонденсации связующего при увеличении температуры и времени прессования.

При температуре прессования 130 °С и доле добавки модификатора 0,5-1,2 % прочность фанеры при статическом изгибе имеет значения 120-132 МПа, при увеличении доли добавки диметилглиоксима до 1,5 % обеспечивается более интенсивный рост прочности при изгибе.

Следует отметить, что при добавлении в связующее максимальной доли диметилглиоксима (1,5 %) и максимальном времени прессования нежелательно увеличивать температуру выше 120-125 °С, при максимальном времени прессования с минимальной добавкой диметилглиоксима можно выдерживать температурный режим 125-128 °С (рис. 5). При данных значениях технологических факторов прочность фанеры при статическом изгибе достигает 140 МПа.

Динамика изменения разбухания фанеры по толщине за 24 ч пребывания в воде хорошо согласуется с результатами определения механических показателей (рис. 7-9). Углубление степени поликонденсации способствует росту прочности и снижению разбухания по толщине.

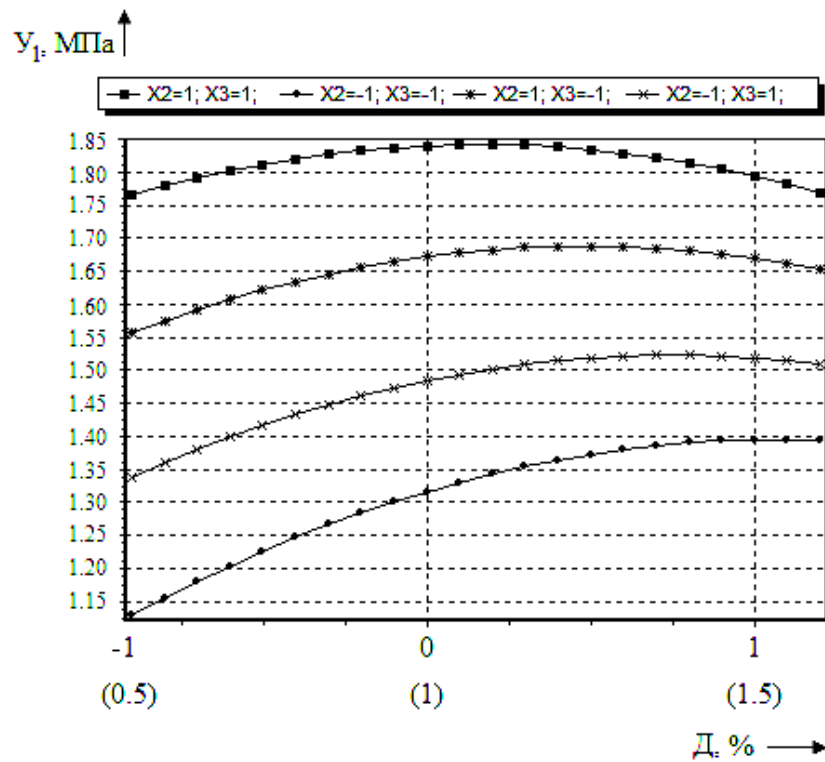


Рис. 1. График зависимости предела прочности при скалывании по клеевому слою от доли добавки диметилглиоксима

Источник: собственные вычисления (разработки)

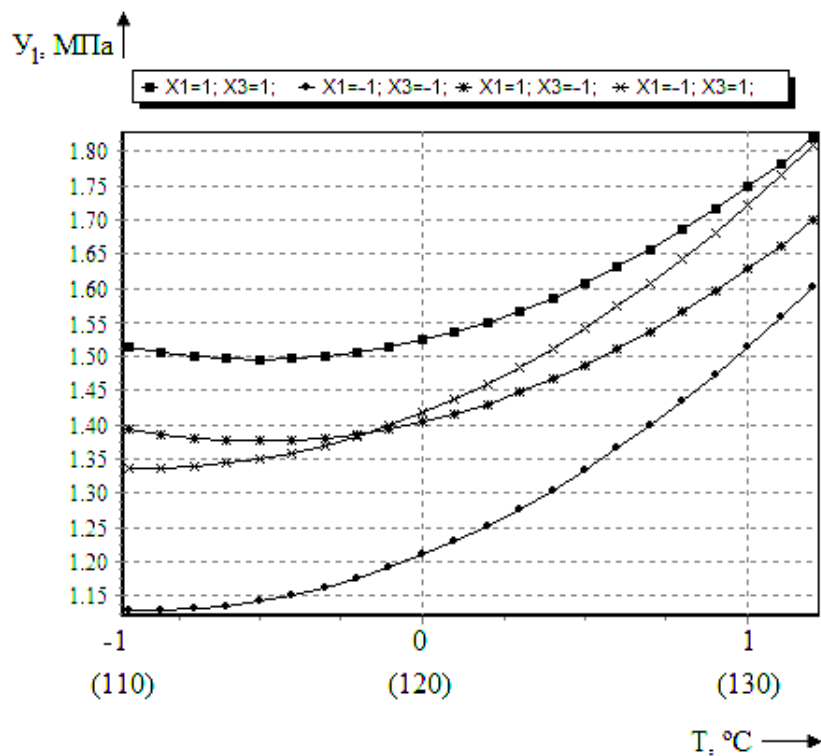


Рис. 2. График зависимости предела прочности при скалывании по клеевому слою от температуры прессования фанеры

Источник: собственные вычисления (разработки)

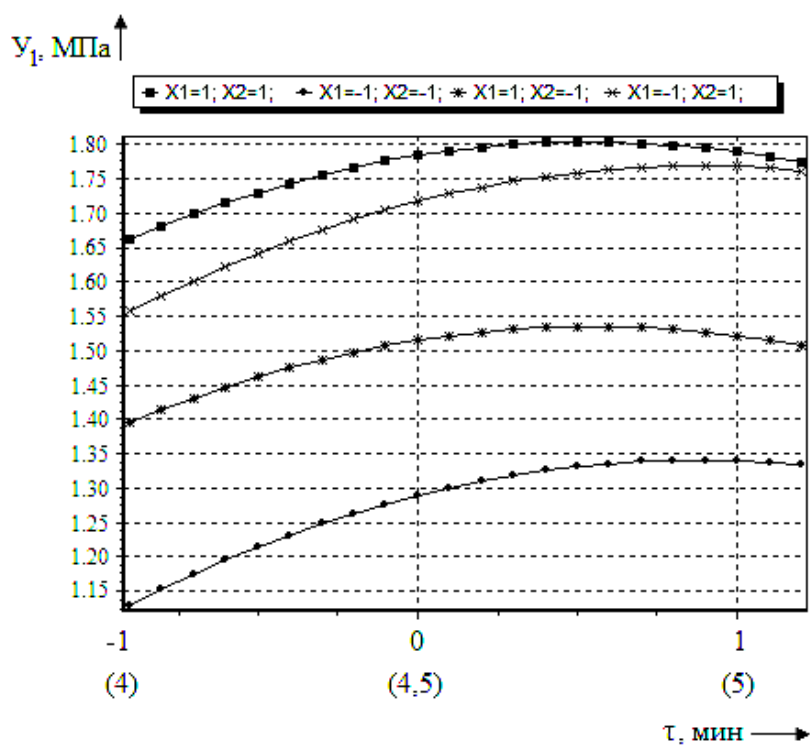


Рис. 3. График зависимости предела прочности при скальвании по клеевому слою от времени прессования фанеры

Источник: собственные вычисления (разработки)

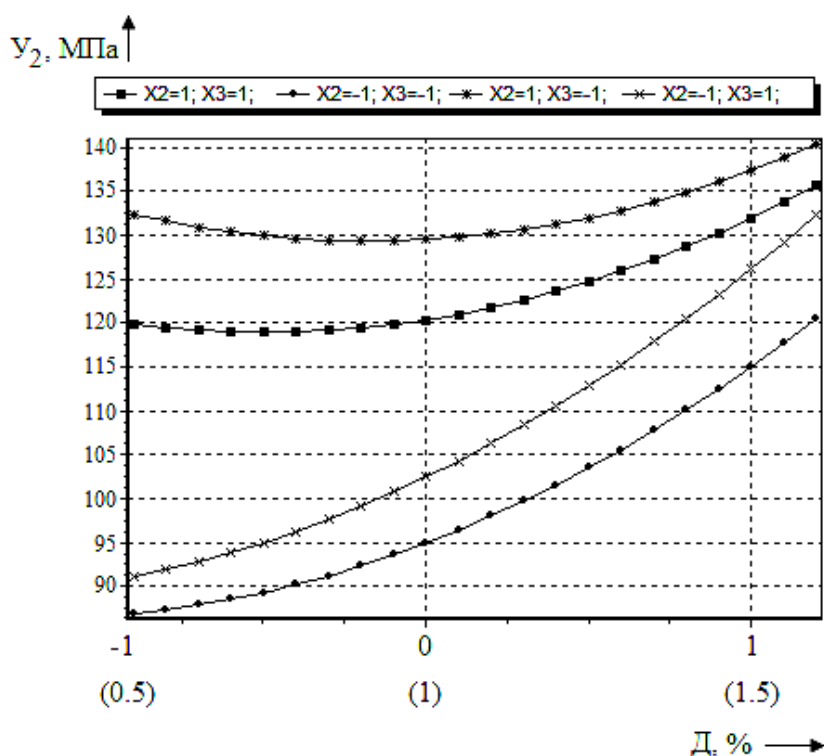


Рис. 4. График зависимости предела прочности при статическом изгибе от доли добавки диметилглиоксима

Источник: собственные вычисления (разработки)

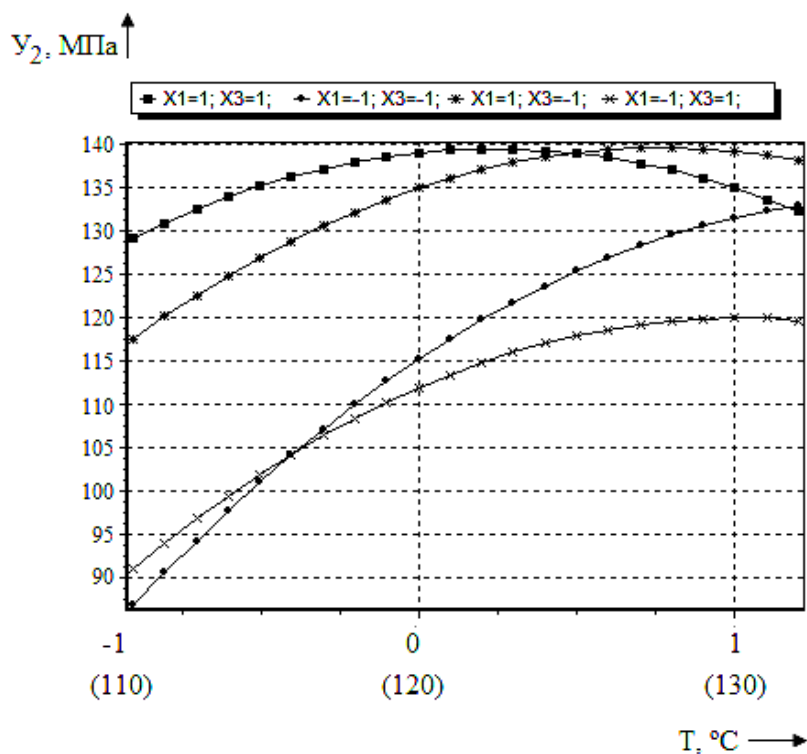


Рис. 5. График зависимости предела прочности при статическом изгибе от температуры прессования фанеры
 Источник: собственные вычисления (разработки)

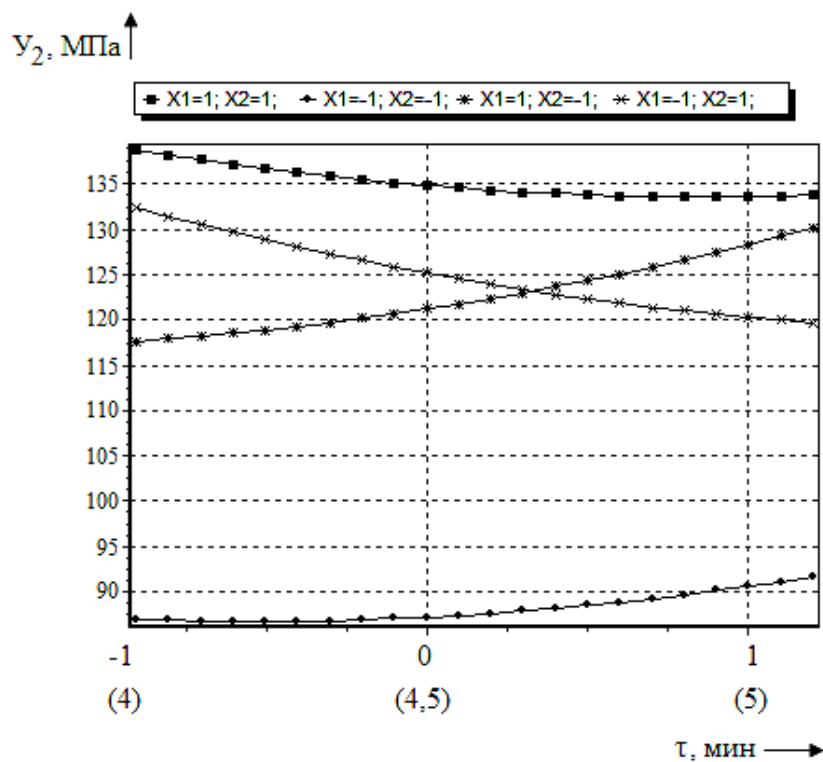


Рис. 6. График зависимости предела прочности при статическом изгибе от времени прессования фанеры
 Источник: собственные вычисления (разработки)

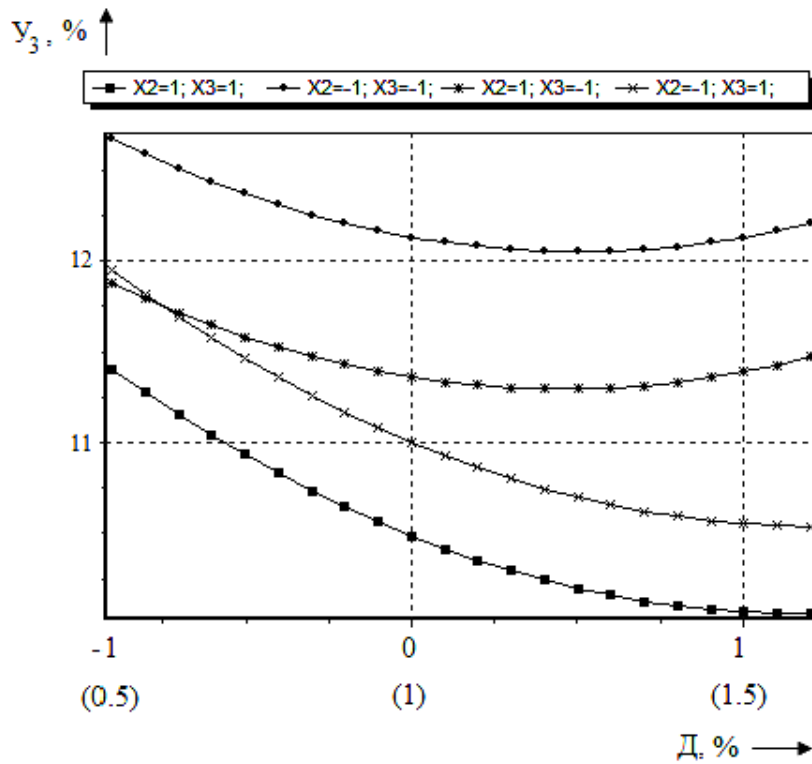


Рис. 7. График зависимости разбухания фанеры по толщине от доли добавки диметилглиоксима
 Источник: собственные вычисления (разработки)

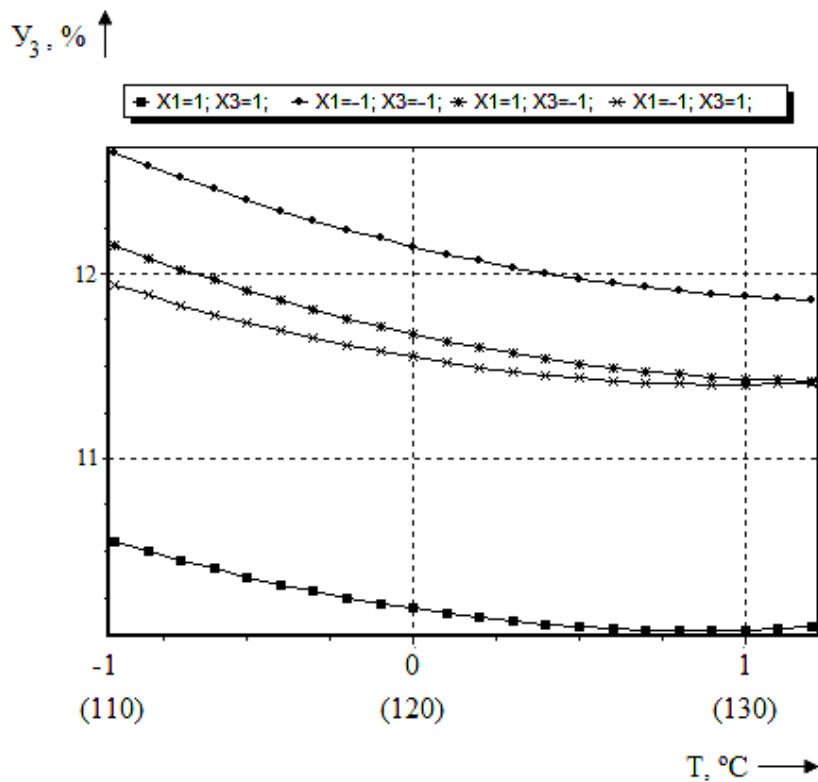


Рис. 8. График зависимости разбухания фанеры по толщине от температуры прессования фанеры
 Источник: собственные вычисления (разработки)

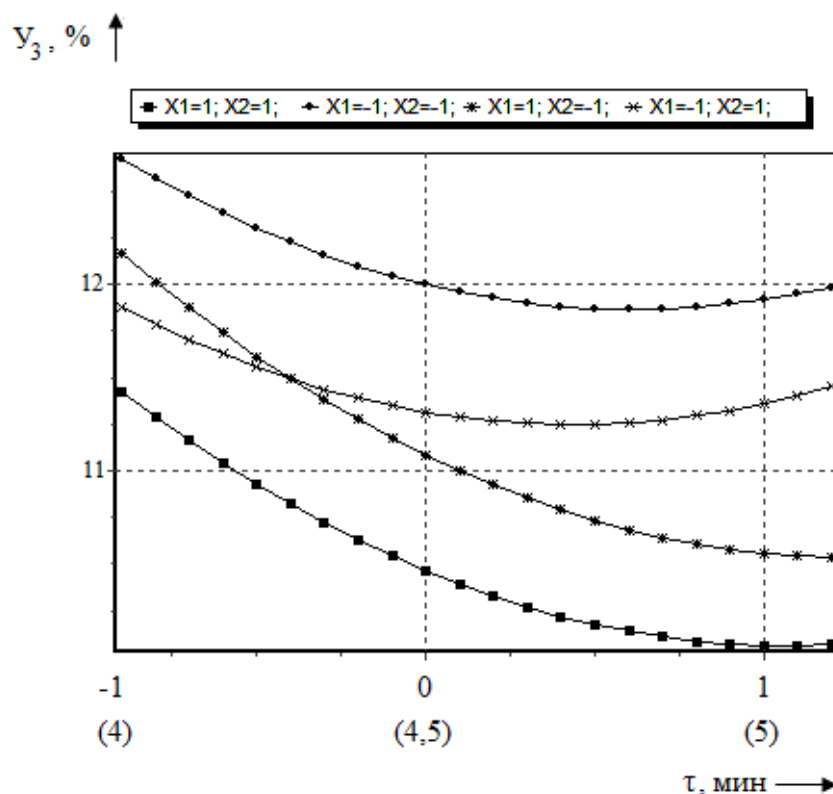


Рис. 9. График зависимости разбухания фанеры по толщине от времени прессования фанеры
 Источник: собственные вычисления (разработки)

Выводы

Результаты экспериментального исследования подтвердили гипотезу авторов о создании более прочной структуры отвержденного фенолоформальдегидного связующего при внесении в композицию модифицирующей добавки диметилглиоксима.

Образцы фанеры с минимальной добавкой модификатора 0,5 % от массы смолы, изготовленные по режимам контрольных образцов, имеют прочностные показатели, в среднем сопоставимые со значениями для контрольного опыта, разбухание по толщине несколько меньше. Однако при увеличении доли добавки диметилглиоксима до 1,5 % при прессовании по тем же режимам прочность фанеры при скалывании увеличивается на 25 % – до 1,4 МПа (см. рис. 1), прочность при статическом

изгибе – 115 МПа (больше на 30 %), разбухание по толщине – 10 % (снижается на 38 %). Это позволяет сделать вывод об углублении процесса структурообразования фанеры ФСФ при прессовании на связующем, модифицированном добавкой диметилглиоксима.

Разработанные модели показателей фанеры ФСФ – прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в течение 1 ч, прочности при статическом изгибе и разбухания по толщине после 24 ч пребывания в воде – позволяют прогнозировать значения показателей при выбранном соотношении технологических факторов процесса производства, а также определять область значений технологических факторов, позволяющую изготавливать фанеру с необходимыми показателями.

Библиографический список

1. Bekhta, P. Effect of prepressing of veneer on the glueability and properties of veneer-based products / P. Bekhta, P. Niemz, J. Sedliacik // European Journal of Wood and Wood Products. – 2010. – Vol. 70. – No. 1-3. – P. 99–106. – Bibliography: 32 titles. – DOI: 10.1007/s00107-010-0486-y.

2. Bekhta, P. Effect of short-term thermomechanical densification of wood veneers on the properties of birch plywood / P. Bekhta, J. Sedliacik, D. Jones // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2018. – Vol. 76. – P. 549–562. – *Bibliography: 31 titles*. – DOI: 10.1007/s00107-017-1233-4.
3. Bekhta, P. Effect of surface treatment on bondability of birch veneer with PF resin / P. Bekhta, J. Sedliacik // *International Wood Products Journal*. – 2015. – Vol. 6. – No. 2. – P. 49–52. – *Bibliography: 21 titles*. – DOI: 10.1179/2042645314Y.0000000089.
4. Bekhta, P. Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing / P. Bekhta, J. Sedliacik, N. Bekhta // *Polymers*. – 2020. – Vol. 12. – No. 5. – P. 1–15. – *Bibliography: 47 titles*. – DOI: 10.3390/polym12051035.
5. Bekhta, P. Modification of phenol-formaldehyde resins by aluminium containing compounds / P. Bekhta, G. Bits // *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works*. – 2008. – Vol. 6. – P. 155–158. – *Bibliography: 13 titles*.
6. Shear Strength of Exterior Plywood Panels Pressed at Low Temperature / P. Bekhta, H. Salim, O. Potapova, J. Sedliacik // *Materials*. – 2009. – Vol. 2. – P. 876–882. – *Bibliography: 22 titles*. – DOI: 10.3390/ma2030876.
7. Bekhta, P. The effect of chemical treatment of wood veneer surfaces on their bondability / P. Bekhta, J. Sedliacik, D. Tymyk // *Acta Facultatis Xylogologiae*. – 2015. – Vol. 57. – No. 2. – P. 71–79. – *Bibliography: 22 titles*. – DOI: 10.17423/afx.2015.57.2.07.
8. Conner, A. H. Accelerated cure of phenol-formaldehyde resins: studies with model compounds / A. H. Conner, L. F. Lorenz, K. Hirth // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2002. – Vol. 86. – No. 1. – P. 3256–3263. – *Bibliography: 19 titles*. – DOI: 10.1002/app.11106.
9. Guo, L. Study on Modification of Phenol Formaldehyde Resin Adhesive with Ionic Liquid / L. Guo, L. Wang, J. Li // *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*. – pp. 1910–1913. – *Bibliography: 11 titles*. – DOI: 10.2991/emeit.2012.422.
10. The effect of nanocellulose addition to phenol-formaldehyde adhesive in water-resistant plywood manufacturing / J. Kawalerczyk, D. Dziurka, R. Mirski [et al.] // *Bioresources*. – 2020. – Vol. 15. – No. 3. – P. 5388–5401. – *Bibliography: 56 titles*. – DOI: 10.15376/biores.15.3.5388-5401.
11. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood / L. Kouisni, Y. Fang, M. Paleologou [et al.] // *Cellulose Chemistry and Technology*. – 2011. – Vol. 45. – No. 7-8. – P. 515–520. – *Bibliography: 26 titles*.
12. Lorenz, L. F. Accelerated Cure of Phenol-Formaldehyde by the Addition of Cure Accelerators: Studies with Model Compounds / L. F. Lorenz, A. C. Conner // *Wood Adhesives*. – 2000. – P. 391–395.
13. Possibilities of application of collagen colloid from secondary raw materials as modifier of polycondensation adhesives / J. Matyasovsky, P. Jurkovic, J. Sedliacik, I. Novak // *Key engineering materials*. – 2014. – Vol. 1: CURRENT STATE OF THE ART ON NOVEL MATERIALS (pp. 15–24). – 1st Edition Chapter: Chapter 3 Publisher: CRC Press and Taylor Francis Group, Boca Raton, USA Editors: Balkose D Horak D Soltes L Eds.
14. Mirski, R. Potential of shortening pressing time or reducing pressing temperature for plywood resinated with PF resin modified using alcohols and esters / R. Mirski, D. Dziurka, J. Lecka // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2011. – Vol. 69. – No. 2. – P. 317–323. – *Bibliography: 19 titles*. – DOI: 10.1007/s00107-010-0436-8.
15. Mirski, R. The effect of modification of phenolic resin with alkylresorcinols and H₂O₂ on properties of plywood / R. Mirski, J. Łęcka, D. Dziurka // *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*. – 2009. – Vol. 8. – No. 4. – P. 67–74. – *Bibliography: 5 titles*.
16. Rusakov, D. S. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products / D. S. Rusakov, G. S. Varankina, A. N. Chubinskii // *Polymer Science, Series D*. – 2018. – Vol. 11. – No. 1. – P. 33–38. – *Bibliography: 7 titles*. – DOI: 10.1134/S1995421218010185.
17. Shnawa, H. A. Kinetic Study of Curing Phenol-Formaldehyde/Tannin-Formaldehyde Composite Resins / H. A. Shnawa, I. K. Ibraheem, A. Shenta // *Natural Resources*. – 2015. – Vol. 6. – P. 503–513. – *Bibliography: 18 titles*. – DOI: 10.4236/nr.2015.610048.

18. Surface modification of birch veneer by peroxide bleaching / A. Yamamoto, A. Rohumaa, M. Hughes [et al.] // *Wood Sci Technology*. – 2017. – Vol. 51. – P. 85–95. – *Bibliography*: 30 titles. – DOI: 10.1007/s00226-016-0880-7.
19. Влияние модификаторов на время отверждения фенолоформальдегидного связующего для прессования фанеры при низкотемпературном режиме / Т. Н. Вахнина, А. А. Федотов, А. А. Титунин, И. В. Сусоева // *Лесотехнический журнал*. – 2019. – Т. 9. – № 4 (36). – С. 99–108. – Библиогр.: с. 105–108 (27 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/11.
20. Модификация фенолоформальдегидных смол жидкими продуктами пиролиза древесины / С. А. Забелкин, А. Н. Грачёв, В. Н. Башкиров, Е. Н. Черезова // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 10. – С. 97–100.
21. Федотов, А. А. Повышение прочностных показателей фанеры ФСФ путем использования модифицирующих добавок к связующему / А. А. Федотов, Т. Н. Вахнина, С. А. Котиков // *Лесотехнический журнал*. – 2020. – Т. 10. – № 1 (37). – С. 124–135. – Библиогр.: с. 132–135 (29 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/13.

References

1. Bekhta P., Niemz P., Sedliacik J. (2010) Effect of prepressing of veneer on the glueability and properties of veneer-based products. *European Journal of Wood and Wood Products*. Vol. 70, no. 1-3, pp. 99-106. DOI: 10.1007/s00107-010-0486-y.
2. Bekhta P., Sedliacik J., Jones D. (2018) Effect of short-term thermomechanical densification of wood veneers on the properties of birch plywood. *European Journal of Wood and Wood Products*. Vol. 76, pp. 549-562. DOI: 10.1007/s00107-017-1233-4.
3. Bekhta P., Sedliacik J. (2015) Effect of surface treatment on bondability of birch veneer with PF resin. *International Wood Products Journal*. Vol. 6, no. 2, pp. 49-52. DOI: 10.1179/2042645314Y.0000000089.
4. Bekhta P., Sedliacik J., Bekhta N. (2020) Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing. *Polymers*. Vol. 12, no. 5, pp. 1-15. DOI: 10.3390/polym12051035.
5. Bekhta P., Bits G. (2008) Modification of phenol-formaldehyde resins by aluminium containing compounds. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works*. Vol. 6, pp. 155-158.
6. Bekhta P., Salim H., Potapova O., Sedliacik J. (2009) Shear Strength of Exterior Plywood Panels Pressed at Low Temperature. *Materials*. Vol. 2, pp. 876-882. DOI: 10.3390/ma2030876.
7. Bekhta P., Sedliacik J., Tymyk D. (2015) The effect of chemical treatment of wood veneer surfaces on their bondability. *Acta Facultatis Xylologiae*. Vol. 57, no. 2, pp. 71-79. DOI: 10.17423/afx.2015.57.2.07.
8. Conner A. H., Lorenz L. F., Hirth K. (2002) Accelerated cure of phenol-formaldehyde resins: studies with model compounds. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 86, no. 1, pp. 3256-3263. DOI: 10.1002/app.11106.
9. Guo L., Wang L., Li J. (2012) Study on Modification of Phenol Formaldehyde Resin Adhesive with Ionic Liquid. *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*, pp. 1910-1913. DOI: 10.2991/emeit.2012.422.
10. Kawalerczyk J., Dziurka D., Mirski R. (et al.) (2020) The effect of nanocellulose addition to phenol-formaldehyde adhesive in water-resistant plywood manufacturing. *Bioresources*. Vol. 15, no. 3, pp. 5388-5401. DOI: 10.15376/biores.15.3.5388-5401.
11. Kouisni L., Fang Y., Paleologou M. (et al.) (2011) Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood. *Cellulose Chemistry and Technology*. Vol. 45, no. 7-8, pp. 515-520.
12. Lorenz L. F., Conner A. C. (2000) Accelerated Cure of Phenol-Formaldehyde by the Addition of Cure Accelerators: Studies with Model Compounds. *Wood Adhesives*, pp. 391-395.
13. Matyasovsky J., Jurkovic P., Sedliacik J., Novak I. (2014) Possibilities of application of collagen colloid from secondary raw materials as modifier of polycondensation adhesives. *Key engineering materials*, Vol. 1:

CURRENT STATE OF THE ART ON NOVEL MATERIALS (pp. 15-24). 1st Edition Chapter: Chapter 3 Publisher: CRC Press and Taylor Francis Group, Boca Raton, USA Editors: Balkose D Horak D Soltes L Eds.

14. Mirski R., Dziurka D., Lecka J. (2011) Potential of shortening pressing time or reducing pressing temperature for plywood resinated with PF resin modified using alcohols and esters. *European Journal of Wood and Wood Products*. Vol. 69, no. 2, pp. 317-323. DOI: 10.1007/s00107-010-0436-8.

15. Mirski R., Łęcka J., Dziurka D. (2009) The effect of modification of phenolic resin with alkylresorcinols and H₂O₂ on properties of plywood. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*. Vol. 8, no. 4, pp. 67-74.

16. Rusakov D. S., Varankina G. S., Chubinskii A. N. (2018) Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products. *Polymer Science, Series D*. Vol. 11, no. 1, pp. 33-38. DOI: 10.1134/S1995421218010185.

17. Shnawa H. A., Ibraheem I. K., Shenta A. (2015) Kinetic Study of Curing Phenol-Formaldehyde/Tannin-Formaldehyde Composite Resins. *Natural Resources*. Vol. 6, pp. 503-513. DOI: 10.4236/nr.2015.610048.

18. Yamamoto A., Rohumaa A., Hughes M. (et al.) (2017) Surface modification of birch veneer by peroxide bleaching. *Wood Sci Technology*. Vol. 51, pp. 85-95. DOI: 10.1007/s00226-016-0880-7.

19. Vakhnina T. N., Fedotov A. A., Titunin A. A., Susoeva I. V. (2019) *Vliyanie modifikatorov na vremya otverzhdeniya fenoloformal'degidnogo svyazuyushchego dlya pressovaniya fanery pri nizkotemperaturnom rezhime* [Effect of modifiers on the curing time of a phenol-formaldehyde binder for pressing plywood at low temperature]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forest engineering journal]. Vol. 9, no. 4 (36), pp. 99-108 (in Russian).

20. Zabelkin S. A., Grachev A. N., Bashkirov V. N., Cherezova E. N. (2014) *Modifikaciya fenoloformal'degidnyh smol zhidkimi produktami piroliza drevesiny* [Modification of phenol-formaldehyde resins by liquid wood pyrolysis products]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan technological University]. Vol. 17, no. 10, pp. 97-100 (in Russian).

21. Fedotov A. A., Vakhnina T. N., Kotikov S. A. (2020) *Povyshenie prochnostnyh pokazatelej fanery FSF putem ispol'zovaniya modifiziruyushchih dobavok k svyazuyushchemu* [Improving the strength characteristics of FSF plywood by using modifying additives to the binder]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forest engineering journal]. Vol. 10, no. 1 (37), pp. 124-135 (in Russian).

Сведения об авторах

Федотов Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, Российская Федерация; e-mail: aafedotoff@yandex.ru.

Вахнина Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, Российская Федерация; e-mail: t_vachnina@mail.ru.

Котиков Сергей Алексеевич – аспирант кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, Российская Федерация; e-mail: galich1917@yandex.ru.

Information about authors

Fedotov Aleksandr Andreevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of logging and wood processing industries, FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation; e-mail: aafedotoff@yandex.ru.

Vakhnina Tatyana Nikolaevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of logging and wood processing industries, FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation; e-mail: t_vachnina@mail.ru.

Kotikov Sergej Alekseevich – Postgraduate student of the Department of logging and wood processing industries, FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation; e-mail: galich1917@yandex.ru.