

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ВРЕМЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ФАНЕРЫ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМЕ<sup>1</sup>

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

кандидат технических наук **А.А. Федотов**

доктор технических наук, доцент **А.А. Титунин**

кандидат технических наук, доцент **И.В. Сусоева**

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

Объемы производства фанеры повышенной водостойкости для внутреннего и наружного использования (марки ФСФ) в России увеличиваются, потребность в ней в стране и в мире продолжает расти. Фенолоформальдегидный олигомер в процессе отверждения проходит через стадии резола, резитола и резита. Обеспечение длительной водостойкости фанеры возможно лишь при условии достижения стадии резита и перехода в неплавкое и нерастворимое состояние отвержденной фенолоформальдегидной смолы (ФФС). Проблема заключается в том, что промышленный процесс прессования фанеры ФСФ реализуется в температурном интервале резитола. В литературных источниках наблюдается противоречивые данные о температурных интервалах стадий процесса поликонденсации ФФС. Авторами предложено оперировать научными данными о температурных интервалах отверждения ФФС, подтвержденными результатами спектроскопических исследований. Для обеспечения необходимых эксплуатационных показателей фанеры ФСФ необходимы разработки композиций фенолоформальдегидного связующего, способных отверждаться до стадии резита при более низких температурах прессования, чем не модифицированная ФФС. В настоящем исследовании предложен ряд модификаторов, потенциально позволяющих уменьшить время прессования фанеры при пониженной температуре. Определялось время желатинизации фенолоформальдегидного связующего на основе смолы СФЖ-3014 (согласно ГОСТ 20907-2016) и модифицирующих добавок (пероксид водорода, сульфат цинка восьмиводный, железоаммонийные квасцы, хлорид магния безводный, хлорид железа шестиводный, хлорид алюминия шестиводный, диметилглиоксим, сульфат алюминия восемнадцативодный, сульфосалициловая кислота двухводная). Исследование процесса желатинизации в присутствии большого количества модифицирующих добавок (более 1,5 %) выявило существенное ухудшение растекаемости связующего, поэтому рекомендуется использовать ускорители отверждения ФФС в количестве, не превышающем 1-1,5 %.

**Ключевые слова:** фанера ФСФ, фенолоформальдегидное связующее, температура прессования, отверждение, модифицирующие добавки, время желатинизации.

---

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

### INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE CURING TIME OF THE PHENOL FORMALDEHYDE BINDER FOR PRESSING PANELS AT LOW TEMPERATURE MODE<sup>2</sup>

PhD (Engineering), Associate Professor **T.N. Vakhnina**

PhD (Engineering) **A.A. Fedotov**

DSc (Engineering), Associate Professor **A.A. Titunin**

PhD (Engineering), Associate Professor **I.V. Susoeva**

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

#### Abstract

Volumes of plywood production with increased water resistance for indoor and outdoor use (FSF brand) are increasing in Russia. The demand for it in the country and in the world continues to grow. The phenol-formaldehyde oligomer during the curing process passes through the stages of resol, resitol and resite. Ensuring long-term water resistance of plywood is possible only if the resite stage is reached and the solidified phenol-formaldehyde resin (FFR) reaches non-melting and insoluble state. The problem is that the industrial process of FSF plywood pressing is carried out in the rezitol temperature range. In literature, there are conflicting data on the temperature ranges of the stages of the FSF polycondensation process. The authors have proposed to operate with scientific data on the temperature ranges of FFR curing, confirmed by the results of spectroscopic studies. It is necessary to develop phenol-formaldehyde binder compositions capable of curing to the resite stage at lower pressing temperatures than unmodified FSF to ensure the necessary operational characteristics of FSF plywood. In this study, a number of modifiers have been proposed that potentially reduce the time it takes to press plywood at low temperatures. The gelatinization time of the phenol-formaldehyde binder based on the SFZh-3014 resin (according to 20907-2016 State Standard) and modifying additives (hydrogen peroxide, eight-water zinc sulfate, ammonium alum, anhydrous magnesium chloride, six-water iron chloride, six-water aluminum chloride, aluminum dimethyl sulfate, dimethyl glyoximate, and sulfate, sulfosalicylic two-water acid) have been determined. A study of the gelatinization process in the presence of a large number of modifying additives (more than 1.5%) revealed a significant deterioration in the spreadability of the binder. Therefore, it is recommended to use FFR curing accelerators in the amount not exceeding 1-1.5%.

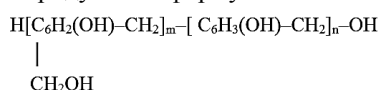
**Keywords:** FSF plywood, phenol formaldehyde binder, pressing temperature, curing, modifying additives, gelatinization time.

---

<sup>2</sup>The study was supported by the Russian Federal Property Fund and the Administration of the Kostroma Region as a part of a scientific project № 19-43-440001.

Годовой объем производства фанеры в России в 2018 г. превысил 4 млн м<sup>3</sup>, причем после незначительного спада 2017 г. наметилась устойчивая тенденция роста объемов производства [25]. На фанеру повышенной водостойкости марки ФСФ, производимую на фенолоформальдегидном связующем, приходится 41 % российского производства фанеры общего назначения [16]. Фанера повышенной водостойкости используется в строительстве для обшивки стен, изготовления панелей, в качестве многооборотной опалубки. ФСФ является эффективным заменителем древесины – 1 м<sup>3</sup> фанеры заменяет 3,3-4,7 м<sup>3</sup> пиломатериалов [19]. Следует отметить, что использование фенолоформальдегидного связующего обеспечивает длительную водостойкость только при условии формирования наиболее прочной полимерной сетки, т. е. достижения стадии резита.

Фенолоформальдегидные олигомеры (ФФО), или смолы представляют собой смесь линейных и разветвленных продуктов с формулой



Среднее число фенольных ядер в молекуле олигомера ( $n + m + 1$ ) находится в пределах 4...10, число метилольных групп  $n = 2...5$  [27].

Фундаментальные представления о химических процессах синтеза и отверждения фенольных и др. реакционноспособных олигомеров сложились к 70-м гг. XX в. [15]. Основные сведения о строении и процессах синтеза ФФО отражены в монографиях Р. Мартина [2] и В.В. Коршака и С.В. Виноградовой [20].

Сетчатая структура полиметиленафенолов (рис. 1) формируется при поликонденсации 3-метилфенола [7, 23].

Несмотря на большое число публикаций по строению и отверждению фенолоформальдегидных олигомеров, многие вопросы до сих пор остаются спорными. Существуют противоречивые данные о температурных интервалах стадий поликонденсации фенолоформальдегидного связующего. При отверждении олигомер последовательно проходит через резольную стадию А, стадию резитола В и резита С.

По данным профессора В. И. Азарова [7], при температуре 140...150 °С резитол быстро переходит в резит. А. Кноп, ссылаясь на Л. Бакеланда, определяет температурный интервал отверждения фенольных резольных смол 130...200 °С [17]. Г.С. Петров и И.П. Лосев отмечали, ссылаясь на теорию М. Кебнера, что в ФФС, отвержденной при температуре до 180 °С, сохраняются метилольные группы  $\text{CH}_2\text{OH}$ , причем М. Кебнер считал, что метилольные группы сохраняются и в резитах [21]. Однако экспериментальные исследования ряда отвержденных ФФС, выполненные Г.С. Петровым с коллегами, не подтвердили наличия в резитах метилольных групп [21].

А. Бахман и К. Мюллер [9] определяли интервал стадии резола 125...155 °С, резитола 170...200 °С, резита 215...230 °С, такого же мнения придерживался и А.А. Эльберт [27]. Выводы были сделаны Бахманом и Мюллером по результатам исследования с использованием дифференциального термического анализа (ДТА).

А. Кноп и В. Шейб считали, что в ФФС при температуре 130...180 °С протекают основные реакции сшивания, в отвержденном фенолоформальдегидном полимере фенольные ядра соединены между собой метиленовыми связями [17]. К.В. Циглер, лауреат Нобелевской премии по химии, изобретатель метода ЯКР-спектроскопии, в результате исследований выявил, что при отверждении резолов при нагревании до 150...180 °С образуются в основном метиленовые и диметиленэфирные мостики [9]. При 200 °С и выше протекают реакции, уже не влияющие на рост цепи, это преимущественно окислительное восстановление хинонметидов, при этом появляются кроме типичных метиленовых связей этиленовые  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ . Данные К.В. Циглера подтверждены результатами исследования А.А. Варфоломеева с коллегами, выполненного методом ЯМР-спектроскопии [12]. В исследованиях Е.Б. Тростянской выявлено, что в отвержденном ФФС только при нагревании до 250...300 °С начинается термическая деструкция с изменением химического состава, а до этого температурного интервала полимер остается стабильным [22].

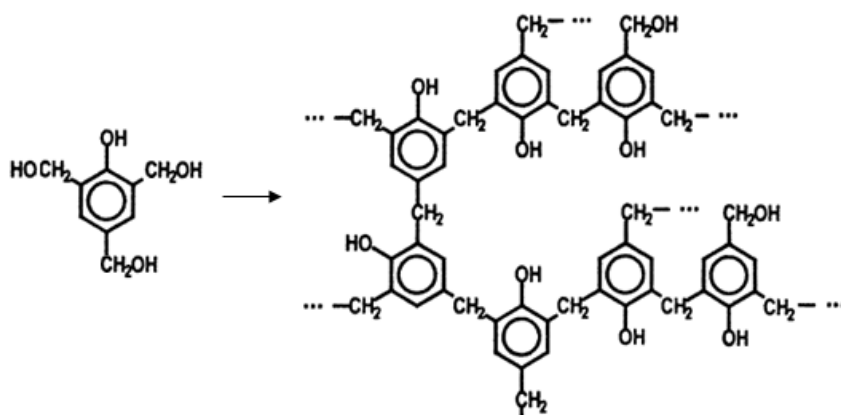


Рис. 1. Поликонденсация триметиллолфенола

Считается, что фенолоформальдегидные полимеры являются довольно редко сшитыми структурами (структура с небольшим числом узлов в трехмерной сетке). Степень завершенности реакции на последней стадии отверждения невелика, используется до 25 % функциональных групп, образующих связи в трехмерной сетке [17]. Прессование фанеры при температуре области резитола обеспечивает недостаточное отверждение фенольного связующего, что отрицательно сказывается на механической прочности и водостойкости фанеры. В полимерной сетке появляются слабые места, возникновение которых может быть обусловлено наличием в отвержденной структуре конденсационной воды, а также пространственными затруднениями, обусловленными размером макромолекулы связующего. А. Бахман и К. Мюллер считали, чем больше молекула, тем меньше вероятность вступления в реакцию всех функциональных групп [9].

Причиной неоднородности отвержденного ФФС может быть то, что отверждаемый полимер приобретает микрогелевую структуру. Результаты микроскопических исследований тонких пленок резита, выполненных И.П. Лосевым и Е.Б. Тростянской, показали, что структура недо отвержденного резита неоднородна. Полимерная сетка состоит из участков высокой плотности, практически не проницаемых для растворителей, и соединяющих их редко расположенных полимерных связей. В зоне полимерной сетки низкой плотности происходит диффузия растворителей [22]. Выводы Е.Б. Тростянской о коллоидном строении

отверждаемого фенолоформальдегидного связующего подтверждены исследованиями Л.П. Кобеца и И.С. Деева [18]. В.И. Иржак с коллегами отмечает, что процесс поликонденсации протекает неомогенно, начиная с ранних стадий, причем предельно возможная глубина отверждения может быть достигнута только при температуре выше характерной для данного полимера [14].

С.Н. Журков с сотрудниками при изучении ИК-спектров полимеров выявил, что узлы сетки отверждаемой ФФС образуют водородные связи. В новолакках при увеличении температуры узлы сетки распадаются и вновь формируются при охлаждении [8]. По данным С.Н. Журкова и А.А. Аскадского, наибольшей энергией межмолекулярного взаимодействия как раз обладают водородные связи. Снижение энергии взаимодействия между макромолекулами олигомера возможно путем включения в композицию пластификаторов. Пластификация ФФС осуществляется спиртами, жирными кислотами, поливинилацетатом, бисфенолами, фенолятами и алкоглятами металлов. Однако способы, применимые к прессованию фенопластов, могут не дать желаемого результата при производстве фанеры ФФС на резольном связующем. Ввиду больших значений энергии межмолекулярного взаимодействия для формирования сшитой структуры резита требуется значительная энергия.

Задача разработки композиции фенолоформальдегидного связующего, способного отверждаться до стадии резита при более низких температурах, чем не модифицированная ФФС,

является сложной, относится к области физико-химии полимеров. Кроме физико-химических проблем решения задачи, имеются сложности экономического характера. Повышение себестоимости производства фанеры за счет применения дорогостоящей добавки тоже может послужить препятствием для практического применения клеевой композиции.

Существуют разработки комбинированных связующих с ФФО, модифицированных добавками металлов, однако назначение композиции – для производства стекло- и углепластиков [13, 24].

Также имеется мировой опыт практической реализации фенольных связующих, отверждаемых при пониженной температуре прессования, причем смолы модифицируются на стадии синтеза. Металл- или металлоидсодержащие фенолоформальдегидные смолы разработаны фирмой «Nord Aviation Soc. Nationalede Constr. Aeron». Фенольные ядра этих смол имеют заместители – алкильные группы, атомы галогенов,  $\text{NH}_2$ -группы. Смолы эти разработаны для производства деталей оборудования самолетов и изготовления авиационных контейнеров, что оправдывает их повышенную стоимость. Имеются научные разработки по модификации фенольных смол на стадии синтеза путем включения в боковые цепи тетрахлорфталеминов [1].

Существуют исследования по модификации фенольного связующего для фанерного производства пероксидом водорода [4, 26], танинами-карбамидом [6]. М. Валиова и И. Иванова модифицировали ФФС для производства фанеры винной кислотой, хлоридом железа (III), фталевым ангидридом и экстрактом квебрахо, наилучший результат дала винная кислота [5]. Следует отметить, что только в работе Я. Седлячка удалось уменьшить температуру прессования фанеры без снижения физико-механических показателей, причем использовалась добавка пероксида водорода.

В работах Г.С. Варанкиной и А.Н. Чубинского использовалась модификация ФФС для производства фанеры шунгитами, алюмосиликатами и пектолом, что позволило

снизить время прессования благодаря повышенной релаксационной способности связующего и обеспечить показатель предела прочности фанеры при скальвании 1,7 МПа [10, 11].

В практике мировых научных исследований отмечается, что взгляды на модификацию ФФО довольно противоречивы [3]. Анализ мировых и отечественных исследований в области модификации ФФО для производства фанеры с необходимыми физико-механическими показателями привел к выбору ряда модификаторов, потенциально позволяющих уменьшить время прессования фанеры при пониженной температуре. Учитывая теоретические закономерности поликонденсации ФФО, можно предположить, что добавки, имеющие связанную воду или группировки  $-\text{OH}$ , будут создавать дополнительные водородные связи между линейными цепями отверждаемого связующего, углублять и ускорять его отверждение.

### Материалы и методы

В работе исследовалось время желатинизации фенолоформальдегидного связующего на основе смолы СФЖ-3014 (согласно ГОСТ 20907-2016) и модифицирующих добавок, представленных в табл. 1. Для определения времени желатинизации (отверждения) ФФС взвешивали около 1,5 г смолы, наносили на центральную часть стальной плиты, нагретой до температуры  $(150 \pm 2)^\circ\text{C}$ , включали секундомер. Затем смолу равномерно распределяли при помощи стеклянной палочки в пределах площади, ограниченной квадратом  $50 \times 50$  мм, и непрерывно перемешивали круговыми движениями, при начале загустевания из смолы периодически вытягивали нити на высоту не более 2 см. При первом обрыве нити останавливали секундомер. Время в секундах, прошедшее с момента нанесения смолы на плиту до момента обрыва нитей, принимали за время желатинизации. Результат испытания – среднее арифметическое трех дублированных опытов.

### Результаты и обсуждение

Графические зависимости времени желатинизации ФФС от доли добавки модификаторов представлены на рис. 2.

Добавки, используемые для модификации ФФС при изготовлении фанеры ФСФ

Вид модификатора	Химическая формула
Пероксид водорода (3 %-й водный раствор)	$H_2O_2$
Сульфат цинка восьмиводный (водный раствор)	$ZnSO_4 \cdot 8H_2O$
Железоаммонийные квасцы (водный раствор)	$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Хлорид магния безводный (водный раствор)	$MgCl_2$
Хлорид железа шестиводный (водный раствор)	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$
Хлорид алюминия шестиводный (водный раствор)	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$
Диметилглиоксим (в сухом виде и в виде суспензии)	$C_4H_8N_2O_2$
Сульфат алюминия восемнадцативодный (водный раствор)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
Сульфосалициловая кислота двухводная (водный раствор)	$C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$

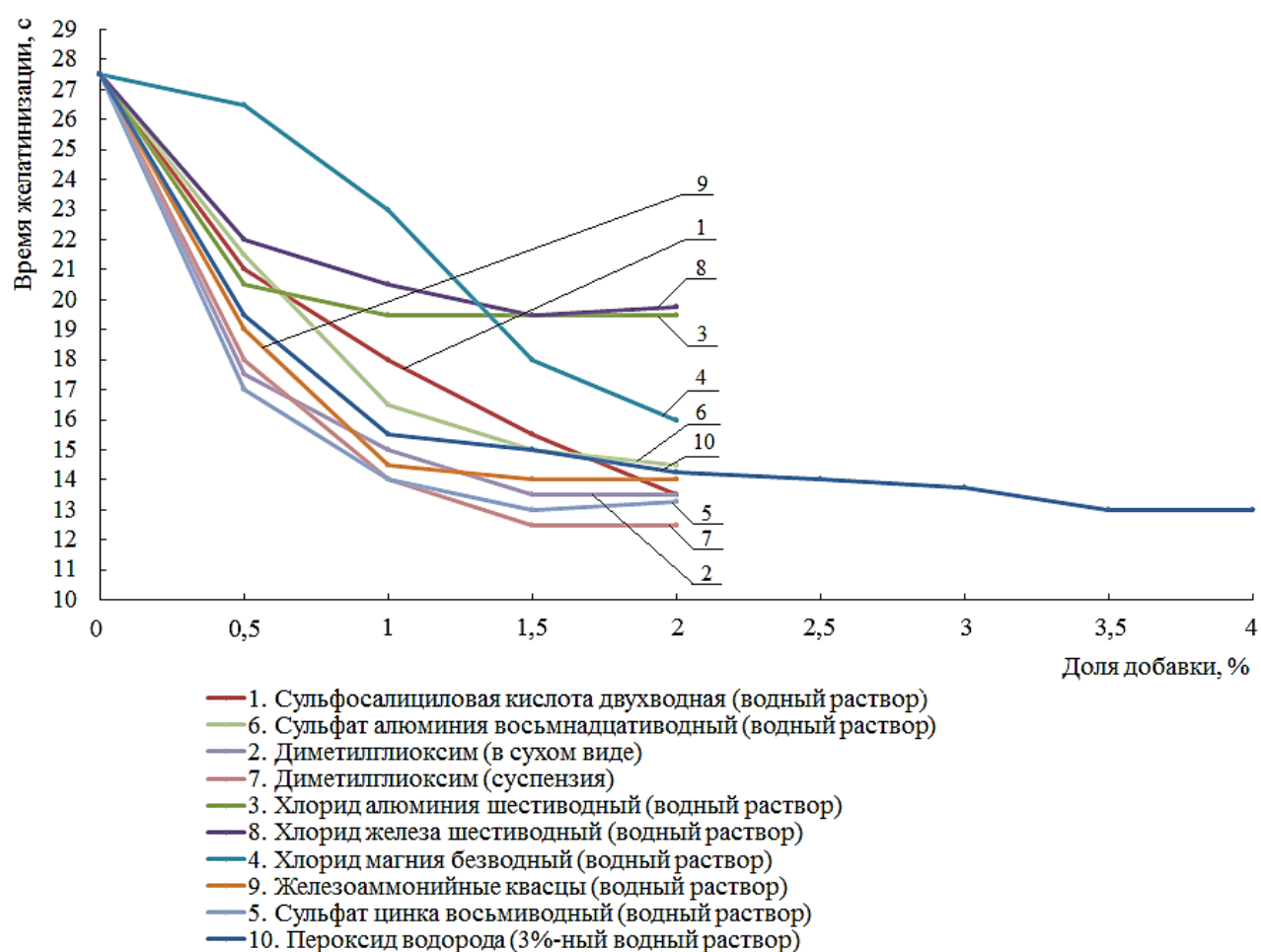


Рис. 2. Зависимости времени желатинизации ФФС от доли добавки модификаторов

Все модифицирующие добавки ускоряют время отверждения фенолоформальдегидного связующего. Добавки, содержащие связанную воду (или группы  $-OH$ ), более активно влияют на процесс отверждения ФФС, чем безводный хлорид магния. Это подтверждает выдвинутую гипотезу о

формировании дополнительных водородных связей между гидроксилами модификаторов и линейными цепями отверждаемого связующего.

Пероксид водорода, вводимый в связующее, практически не меняет его вязкость. Это позволяет без опасения преждевременного отверждения

связующего вводить достаточно большое количество модификатора, до 4 %, однако больше чем 3,5 % количество нецелесообразно, наступает предел насыщения сетки узлами водородных связей.

Одним из самых активных ускорителей отверждения ФФО из исследованных добавок является диметилглиоксим, причем более активен он в виде суспензии. Известно, что диметилглиоксим способен к комплексообразованию (использование его в качестве «реактива Чугаева»). В отсутствие ионов никеля диметилглиоксим создает комплексы с ионами железа, а микроскопическое содержание железа всегда присутствует в сырье для синтеза ФФО. Это позволяет предположить, что причиной значительного ускорения желатинизации ФФС с добавкой диметилглиоксима является формирование соединений двух видов – узлов сетки отверждаемого

связующего с водородными связями с группами –ОН и высокостойких соединений хелатного типа с ионами  $Fe^{+3}$ .

Наличием соединений комплексного типа с ионами алюминия, железа и цинка объясняется и ускорение процесса желатинизации в присутствии сульфата и хлорида алюминия, железоммонийных квасцов, хлорида железа и сульфата цинка. Данные металлы являются типичными комплексообразователями.

Исследование процесса желатинизации в присутствии большого количества модифицирующих добавок (более 1,5 %) выявило появление гелеобразных точечных центров и существенное ухудшение растекаемости связующего. Поэтому использовать ускорители отверждения ФФС рекомендуется в количестве, не превышающем 1-1,5 %.

### Библиографический список

1. Al-Azzawi, A. M. Synthesis and Curing of New Phenolic Resins Containing Pendant TetrachloroPhthalimides / A. M. Al-Azzawi // Iraqi Journal of Science, 2016. – Vol. 57. – P. 1345-1356.
2. Martin, R. W. The Chemistry of Phenolic Resins / R. W. Martin. – New York : Wiley, 1956.
3. Pilato, L. Phenolic Resins: A Century of Progress / ed. L. Pilato. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York : Springer, 2010. – 545 p.
4. Sedliacik, J. Technology of low-temperature production of plywood bonded with modified phenol-formaldehyde resin / J. Sedliacik, P. Bekhta, O. Potapova // Wood research, 2010. – Vol. 55(4). – pp. 124-130. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/267026018\\_Technology\\_of\\_low-temperature\\_production\\_of\\_plywood\\_bonded\\_with\\_modified\\_phenol-formaldehyde\\_resin](https://www.researchgate.net/publication/267026018_Technology_of_low-temperature_production_of_plywood_bonded_with_modified_phenol-formaldehyde_resin).
5. Valyova, M. Modified phenol – phormaldehyde resins used for playwood gluing / M. Valyova, Y. Ivanova // International Journal – Wood, Design & Technology, 2015. – Vol. 4. – no. 1. – pp. 35-38. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/311618622\\_M\\_Valyova\\_Y\\_Ivanova\\_Modified\\_phenol\\_-\\_phormaldehyde\\_resins\\_used\\_for\\_playwood\\_gluing](https://www.researchgate.net/publication/311618622_M_Valyova_Y_Ivanova_Modified_phenol_-_phormaldehyde_resins_used_for_playwood_gluing).
6. The effects of temperature and humidity on phenol-formaldehyde resin bonding / X. M. Wang, B. Riedl, A. W. Christiansen, R. L. Geimer // Wood Science and Technology, 1995. – Vol. 29(4). – pp. 253-266. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/227109350\\_The\\_effects\\_of\\_temperature\\_and\\_humidity\\_on\\_phenol-formaldehyde\\_resin\\_bonding](https://www.researchgate.net/publication/227109350_The_effects_of_temperature_and_humidity_on_phenol-formaldehyde_resin_bonding).
7. Азаров, В. И. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 624 с. // Электронно-библиотечная система. Издательство «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/book/582>.
8. Аскадский, А. А. Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования / А. А. Аскадский, М. Н. Попова, В. И. Кондращенко. – Москва : АСВ, 2015. – 408 с.
9. Бахман, А. Фенопласты / А. Бахман, К. Мюллер. – Москва : Химия, 1978. – 288 с.: ил. – Лейпциг, 1973.
10. Варанкина, Г. С. Исследование адгезионных свойств модифицированных клеевых композиций / Г. С. Варанкина, А. Н. Чубинский, Д. С. Русаков // Актуальные проблемы и перспективы развития

лесопромышленного комплекса : сб. науч. трудов III Междунар. науч.-техн. конференции. – Кострома : КГТУ, 2015. – С. 100–102.

11. Варанкина, Г. С. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов : монография / Г. С. Варанкина, А. Н. Чубинский. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2014. – 148 с.

12. К вопросу о синтезе и строении резольных фенолоформальдегидных смол / А. А. Варфоломеев [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т. 82, вып. 6. – С. 1043–1045.

13. Деев, И. С. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных матриц / И. С. Деев, Л. П. Кобец // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 5. – С. 19–27.

14. Иржак, В. И. Сетчатые полимеры (синтез, структура и свойства) : монография / В. И. Иржак, Б. А. Розенберг, Н. С. Ениколопян. – Москва : Наука, 1979. – 248 с.

15. Иржак, В. И. Химическая физика отверждения олигомеров : монография / В. И. Иржак, С. М. Межиковский ; отв. ред. А. Е. Чалых. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 276 с.

16. Исследование и разработка технологии производства атмосферо- и водостойкой фанеры с использованием клеев на основе меламиновых смол. – URL: [http://utsrus.com/documents/seminary\\_doklady/melamin\\_doklad.pdf](http://utsrus.com/documents/seminary_doklady/melamin_doklad.pdf).

17. Кноп, А. Фенольные смолы и материалы на их основе / А. Кноп, В. Шейб ; под ред. Ф. А. Шутова. – Москва : Химия, 1983. – 280 с.

18. Кобец, Л. П. Структурообразование в терморезактивных связующих и матрицах композиционных материалов на их основе / Л. П. Кобец, И. С. Деев // Российский химический журнал. – 2010. – Т. LIV. – № 1. – С. 67–78.

19. Композиции материалов из древесины и связующих. – URL: [https://www.mebelcompass.ru/Lesnoe\\_hozyaistvo\\_SSSR/p2\\_articleid/166](https://www.mebelcompass.ru/Lesnoe_hozyaistvo_SSSR/p2_articleid/166).

20. Коршак, В. В. Неравновесная поликонденсация : монография / В. В. Коршак, С. В. Виноградова. – Москва : Наука, 1972. – 696 с.

21. Лосев, И. П. Введение в химию искусственных смол и пластических масс / И. П. Лосев, Г. С. Петров. – Москва : ОНТИ, Глав. ред. хим. лит-ры, 1938. – 218 с.

22. Лосев, И. П. Химия синтетических полимеров / И. П. Лосев, Е. Б. Тростянская. – 3-е изд. – Москва : Химия, 1971. – 617 с.

23. Оудиан, Дж. Основы химии полимеров / Дж. Оудиан. – Москва : Мир, 1974. – 614 с.

24. Исследование свойств отвержденных клеевых связующих / А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина, Д. А. Мельников, К. Л. Беседнов, Б. Ф. Павлюк // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2017. – № 10. – URL: <http://www.viam-works.ru>.

25. Россия в цифрах. 2019 : крат. стат. сб. / Росстат. – Москва, 2019. – 549 с.

26. Шишлов, О. Ф. Влияние отвердителей на кинетику отверждения резольных фенолкарданолформальдегидных смол / О. Ф. Шишлов, Н. С. Баулина, В. В. Глухих // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 6. – С. 38–41.

27. Эльберт, А. А. Химическая технология древесностружечных плит / А. А. Эльберт. – Москва : Лесная промышленность, 1984. – 224 с.

### References

1. Al-Azzawi A.M. (2016) Synthesis and Curing of New Phenolic Resins Containing Pendant TetrachloroPhthalimides. *Iraqi Journal of Science*. Vol. 57, pp. 1345-1356.

2. Martin R.W. *The Chemistry of Phenolic Resins*. New York: Wiley, 1956.

3. Pilato L. (ed.) *Phenolic Resins: A Century of Progress*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York : Springer, 2010. 545 p.



4. Sedliacik J., Bekhta P., Potapova O. (2010) Technology of low-temperature production of plywood bonded with modified phenol-formaldehyde resin. *Wood research*. Vol. 55(4), pp. 124-130. URL: [https://www.researchgate.net/publication/267026018\\_Technology\\_of\\_low-temperature\\_production\\_of\\_plywood\\_bonded\\_with\\_modified\\_phenol-formaldehyde\\_resin](https://www.researchgate.net/publication/267026018_Technology_of_low-temperature_production_of_plywood_bonded_with_modified_phenol-formaldehyde_resin).
5. Valyova M., Ivanova Y. (2015) Modified phenol – phormaldehyde resins used for playwood gluing. *International Journal – Wood, Design & Technology*. Vol. 4, no. 1, pp. 35-38. URL: [https://www.researchgate.net/publication/311618622\\_M\\_Valyova\\_Y\\_Ivanova\\_Modified\\_phenol\\_-\\_phormaldehyde\\_resins\\_used\\_for\\_playwood\\_gluing](https://www.researchgate.net/publication/311618622_M_Valyova_Y_Ivanova_Modified_phenol_-_phormaldehyde_resins_used_for_playwood_gluing).
6. Wang X.M., Riedl B., Christiansen A.W., Geimer R.L. (1995) The effects of temperature and humidity on phenol-formaldehyde resin bonding. *Wood Science and Technology*. Vol. 29(4), pp. 253-266. URL: [https://www.researchgate.net/publication/227109350\\_The\\_effects\\_of\\_temperature\\_and\\_humidity\\_on\\_phenol-formaldehyde\\_resin\\_bonding](https://www.researchgate.net/publication/227109350_The_effects_of_temperature_and_humidity_on_phenol-formaldehyde_resin_bonding).
7. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Saint-Petersburg, Lan', 2010. 624 p. (In Russian).
8. Askadskiy A.A., Popova M.N., Kondrashchenko V.I. *Fiziko-khimiya polimernykh materialov i metody ikh issledovaniya* [Physico-chemistry of polymeric materials and methods of their research]. Moscow, ASV, 2015. 408 p. (In Russian).
9. Bakhman A., Myuller K. *Fenoplasty* [Phenoplasts]. Moscow, Chemistry, 1978. 288 p.: il. Leipzig, 1973. (In Russian).
10. Varankina G.S., Chubinskiy A.N., Rusakov D.S. *Issledovanie adgezionnykh svoystv modifitsirovannykh kleevykh kompozitsiy* [Investigation of adhesive properties of modified adhesive compositions]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa : sb. nauch. trudov III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf* [Actual problems and prospects of development of timber industrial complex : collection of scientific works. proceedings III Intern. scientific.-tekhn. conf]. Kostroma, KGTU, 2015, pp. 100-102. (In Russian).
11. Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Formirovanie nizkotoksichnykh kleennykh drevesnykh materialov* [Formation of low-toxic glued wood materials]. Saint-Petersburg, Khimizdat, 2014. 148 p. (In Russian).
12. Varfolomeev A.A. (2009) *K voprosu o sinteze i stroenii rezol'nykh fenoloformal'degidnykh smol* [On the synthesis and structure of resole phenol-formaldehyde resins]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of applied chemistry], Vol. 82, no. 6. pp. 1043-1045. (In Russian).
13. Deev I.S., Kobets L.P. (2013) *Issledovanie mikrostruktury i osobennostey razrusheniya epoksidnykh matrits* [Study of microstructure and fracture characteristics of epoxy matrices]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technology], no. 5. pp. 19-27. (In Russian).
14. Irzhak V.I., Rozenberg B.A., Enikolopyan N.S. *Setchatye polimery (sintez, struktura i svoystva)* [Mesh polymers (synthesis, structure and properties)]. Moscow, Science, 1979. 248 p. (In Russian).
15. Irzhak V.I., Mezhikovskiy S.M., Chalykh A.E. *Khimicheskaya fizika otverzheniya oligomerov* [Chemical physics of oligomer curing]. Moscow, Yurayt, 2019. 276 p. (In Russian).
16. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii proizvodstva atmosfero- i vodostoykoy fanery s ispol'zo-vaniem kleev na osnove melaminovykh smol* [Research and development of technology for the production of air-and water-resistant plywood using adhesives based on melamine resins]. URL: [http://utsrus.com/documents/seminary\\_doklady/melamin\\_doklad.pdf](http://utsrus.com/documents/seminary_doklady/melamin_doklad.pdf) (accessed 21 September 2019) (in Russian).
17. Knop A., Sheyb V. *Fenol'nye smoly i materialy na ikh osnove* [Phenolic resins and materials based on them]. Moscow, Chemistry, 1983. 280 p. (In Russian).
18. Kobets L.P., Deev I.S. *Strukturoobrazovanie v termoreaktivnykh svyazuyushchikh i matritsakh kompozitsionnykh materialov na ikh osnove* [Structure formation in thermosetting binders and matrices of composite materials based on them]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian chemical journal], 2010, vol. LIV, no. 1. pp. 67–78. (In Russian).
19. *Kompozitsii materialov iz drevesiny i svyazuyushchikh* [Compositions of materials from wood and binders]. URL: [https://www.mebelcompass.ru/Lesnoe\\_hozyaystvo\\_SSSR/p2\\_articleid/166](https://www.mebelcompass.ru/Lesnoe_hozyaystvo_SSSR/p2_articleid/166) (accessed 22 September 2019) (in Russian).

20. Korshak V.V., Vinogradova S.V. *Neravnovesnaya polikondensatsiya* [Non-equilibrium polycondensation]. Moscow, Science, 1972. 696 p. (In Russian).
21. Losev I.P., Petrov G.S. *Vvedenie v khimiyu iskusstvennykh smol i plasticheskikh mass* [Introduction to the chemistry of artificial resins and plastics]. Moscow, ONTI, Chapters. ed chemical. literature, 1938. 218 p. (In Russian).
22. Losev I.P., Trostyanskaya E.B. *Khimiya sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of synthetic polymers]. Moscow, Chemistry, 1971. 617 p. (In Russian).
23. Oudian Dzh. *Osnovy khimii polimerov* [Fundamentals of polymer chemistry]. Moscow, World, 1974. 614 p. (In Russian).
24. Petrova A.P., Lukina N.F., Mel'nikov D.A., Besednov K.L., Pavlyuk B.F. *Issledovanie svoystv otverzhdenykh kleevykh svyazuyushchikh* [Investigation of properties of cured adhesive binders]. *Trudy VIAM: elektron. nauch.-tehnich. zhurn.* 2017. no. 10. – URL: <http://www.viam-works.ru> (accessed 24 September 2019) (in Russian).
25. *Rossiya v tsifrakh. 2019* [Russia in numbers. 2019]. Rosstat. Moscow, 2019. 549 p. (In Russian).
26. Shishlov O.F., Baulina N.S., Glukhikh V.V. *Vliyanie otverditeley na kinetiku otverzheniya rezol'nykh fenolkardanolformal'de-gidnykh smol* [The effect of curing agents on the kinetics of curing realnyh fennoscandinavian resins]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan technological University]. 2012. Vol. 15, no. 6, pp. 38-41. (In Russian).
27. El'bert A.A. *Khimicheskaya tekhnologiya drevesnostruzhechnykh plit* [Chemical technology of particle boards]. Moscow, Forest industry, 1984. 224 p. (In Russian).

### Сведения об авторах

*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](mailto:t_vachnina@mail.ru).

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

*Титунин Андрей Александрович* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, Российская Федерация; e-mail: [a\\_titunin@ksu.edu.ru](mailto:a_titunin@ksu.edu.ru).

*Сусоева Ирина Вячеславовна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, Российская Федерация; e-mail: [i.susoeva@yandex.ru](mailto:i.susoeva@yandex.ru).

### Information about authors

*Vachnina 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](mailto:t_vachnina@mail.ru).

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

*Titunin Andrey Alexandrovich* – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of department of logging and wood processing industries, FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation; e-mail: [a\\_titunin@ksu.edu.ru](mailto:a_titunin@ksu.edu.ru).

*Susoeva Irina Vyacheslavovna* – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of technosphere safety, FSBEI HE "Kostroma State University", Kostroma, Russian Federation; e-mail: [i.susoeva@yandex.ru](mailto:i.susoeva@yandex.ru).