

УДК 674.812

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-133-144

## ВЛИЯНИЕ АЭРОСИЛА ТЕХНИЧЕСКОГО НА СВОЙСТВА КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

*Е.Г. Соколова, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [ABE-3531-2020](https://orcid.org/0000-0002-9698-9321),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9698-9321>*

*Д.С. Русаков, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [I-9245-2017](https://orcid.org/0000-0002-4344-2779),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4344-2779>*

*Г.С. Варанкина, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [H-1922-2019](https://orcid.org/0000-0003-3470-5124),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3470-5124>*

*А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [I-9432-2016](https://orcid.org/0000-0001-7914-8056),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7914-8056>*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: [nikitinaek@rambler.ru](mailto:nikitinaek@rambler.ru), [dima-ru25@mail.ru](mailto:dima-ru25@mail.ru), [varagalina@yandex.ru](mailto:varagalina@yandex.ru), [a.n.chubinsky@gmail.com](mailto:a.n.chubinsky@gmail.com)

**Аннотация.** Основными факторами конкуренции продукции, произведенной с использованием клеевых композиций, являются токсичность готовых материалов, расход сырьевых и энергоресурсов, продолжительность основных технологических операций. Управлять этими факторами можно, применяя клеи с разным наполнением и/или модификацией. Клеи на основе фенолоформальдегидных и меламинокарбаминоформальдегидных смол используются для получения фанеры повышенной водостойкости. Кроме смол в состав клеев обычно вводят отвердители, наполнители и модификаторы, влияющие на свойства готовой продукции. Аэросил технический – один из модификаторов синтетических смол широкого спектра действия. Для него характерны 3 вида взаимодействия: физическая адсорбция, химическая адсорбция (образование водородных мостиков группами силанола) и химические реакции на поверхностном слое. Проанализирован химический состав аэросила. Особый интерес представляет алюминий фтористый технический ( $AlF_3$ ), способный к взаимодействию с фторидами щелочных металлов с образованием комплексных соединений, улучшающих структурирование полимера. Кислоты, входящие в состав аэросила, снижают pH до 2,0–3,5, поэтому могут быть катализаторами процесса отверждения меламинокарбаминоформальдегидных смол. Выполнены исследования влияния аэросила технического на свойства клеевых систем на основе фенолоформальдегидной и меламинокарбаминоформальдегидной смол. Определены вязкость, время отверждения, смачивающая способность клеевых композиций. Полученные данные свидетельствуют о возможности применения данного модификатора в составе фенолоформальдегидных и меламинокарбаминоформальдегидных смол до 15 мас. ч. Установлен характер действия аэросила на клеевые композиции с помощью ИК-спектроскопии. Анализ результатов показал, что данное соединение способствует глубокому структурообразованию полимера за счет увеличения молекулярной массы молекул. Эти связи позволяют сформировать более структурированный полимер со связанным формальдегидом. Выполнены исследования влияния аэросила на свойства готовой продукции. При этом установлено улучшение эксплуатационных показателей: прочность склеивания увеличивается, токсичность фанеры уменьшается. Результаты экспериментов влияния аэросила технического с учетом сокращения времени склеивания могут быть применены при разработке технологических процессов получения фанеры повышенной водостойкости.

**Для цитирования:** Соколова Е.Г., Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Влияние аэросила технического на свойства клеевых композиций // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 133–144. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-133-144

**Ключевые слова:** фанера, фенолоформальдегидная смола, меламинокарбаминоформальдегидная смола, модификация, аэросил технический, свойства клеев, ИК-спектроскопия, режимы склеивания шпона, прочность продукции, токсичность продукции.

### Введение

Продукция, произведенная с использованием клеевых композиций, может конкурировать на рынке, учитывая основные сдерживающие факторы: токсичность готовых материалов, расход сырьевых и энергоресурсов, продолжительность технологических операций. С помощью наполнения и/или модификации возможно управлять этими факторами [1–4, 8–24].

Основными компонентами клеев, применяемых для склеивания шпона, являются карбаминоформальдегидные, фенолоформальдегидные, реже меламиноформальдегидные смолы. При использовании карбаминоформальдегидных смол сложно получить фанеру высокой прочности и водостойкости. Клеи на основе фенолоформальдегидных смол, повышающие водостойкость материала, отличаются высокой себестоимостью. Меламинокарбаминоформальдегидные смолы в этой ситуации являются компромиссным решением [12, 15, 16]. Кроме смол в состав клеев обычно вводят отвердители, наполнители и модификаторы, влияющие на свойства готовой продукции [1–4, 8–31]. Аэросил технический – один из модификаторов синтетических смол широкого спектра действия [3]. Модификация клеев, изменяющая их свойства, характер отверждения и физико-химические показатели готовой продукции, требует детального изучения.

Цель исследования – обоснование влияния аэросила технического в составе клеевых систем на основе фенолоформальдегидных и меламинокарбаминоформальдегидных смол на эксплуатационные характеристики фанеры.

### Объекты и методы исследования

Основными материалами для проведения исследований были выбраны березовый шпон толщиной 1,5 мм, аэросил технический, фенолоформальдегидная и меламинокарбаминоформальдегидная смолы.

В табл. 1 приведен химический состав аэросила [3].

Таблица 1

#### Химические соединения, входящие в состав аэросила

Соединение	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	As	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	HCl
Содержание, %	>99,8700	<0,0500	<0,0030	<0,0300	<0,0009	<0,0001	<0,0030	<0,0003	<0,0005	<0,0250

Анализ с применением электронной сканирующей микроскопии позволяет предположить, что частицы аэросила технического имеют несколько слоев (рис. 1, 2).

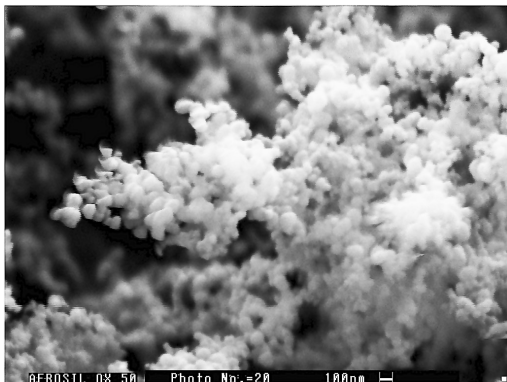


Рис. 1. Микрофотография аэросила технического (увеличение в 25 000 раз)

Fig. 1. Micrograph of technical aerosil (25,000x magnification)

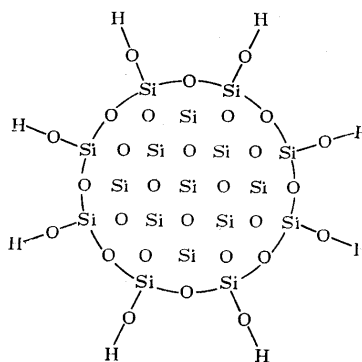


Рис. 2. Структурная схема частицы аэросила технического

Fig. 2. Schematic diagram of a technical aerosil particle

Внутренний слой – это ядро, представленное химическим соединением  $\text{SiO}_2$ . За счет функциональных силиановых (Si-OH) и силоксановых (Si-O-Si) групп на внешнем слое аэросил создает узорчатый каркас водородных связей. Полярность обусловлена связью кремний–кислород, которая характеризуется высокой энергией (до 372,5 Дж/моль). На внешнем слое поверхностные силианоловые группы могут быть свободными или соединенными водородными мостиками, при этом они расположены в хаотичном порядке. Силановые группы гидрофобны, стабильны (ОН-силаноловой группы отщепляются при температуре более 300 °С). На поверхностном уровне происходит чередование атомов кремния с гидроксильной группой и без нее. Благодаря этому для аэросила характерны 3 вида взаимодействия: физическая адсорбция, химическая адсорбция (образование водородных мостиков группами силанола) и химические реакции на поверхностном слое.

Диоксид кремния обладает хорошими сорбционными качествами, возможно поглощение от 15 до 60 % веществ разной природы за счет химической (водородные мостики) и физической адсорбции.

Анализируя химический состав аэросила, особое внимание следует уделить алюминию фтористому техническому ( $\text{AlF}_3$ ), способному к взаимодействию с фторидами щелочных металлов с образованием комплексных соединений, улучшающих структурирование полимера. Кислоты, входящие в состав аэросила, снижают pH до 2,0–3,5, поэтому могут быть катализаторами процесса отверждения меламинакарбамидоформальдегидных смол.

Определение физико-химических показателей клеевых композиций проводили с использованием ГОСТ 20501–2015 [7]. По ГОСТ 9624–2009 испытывали готовый материал по прочностным характеристикам [5]. Исследование влияния аэросила технического на эксплуатационные показатели продукции

осуществляли методом ИК-спектроскопии, брали результаты оценки изменения интенсивности полос поглощения и наличия смещений их максимумов.

С целью установления токсичности готовой продукции определяли содержание свободного формальдегида перфораторным методом по ГОСТ 27678–2014 [6].

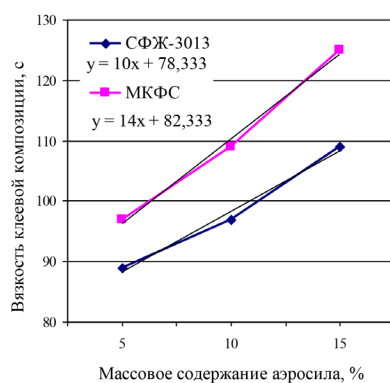
### Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты позволили установить влияние аэросила технического на свойства клеевых композиций (табл. 2, рис. 3).

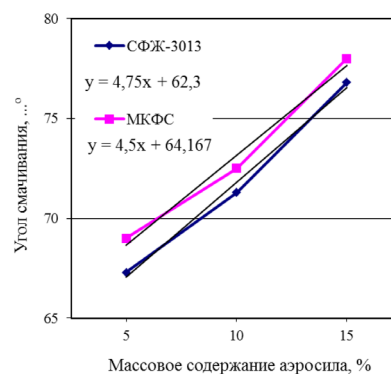
Таблица 2

Влияние аэросила на показатели клеевых композиций

Состав клеевой композиции	Жизнеспособность клеевой композиции, ч	Время отверждения, с
СФЖ-3013 – 100 мас. ч.	–	580
СФЖ-3013 – 100 мас. ч. Аэросил – 5...15 мас. ч.	8–10	560–470
МКФС – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч.	6–8	98
МКФС – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч. Аэросил – 5...15 мас. ч.	6–8	92–65



а



б

Рис. 3. Влияние аэросила технического на вязкость (а) и смачивающую способность (б) клеевой композиции

Fig. 3. Effect of technical aerosil on the viscosity (a) and wetting ability (b) of the adhesive composition

Вязкость клея оказывает существенное влияние на его смачивающую способность, равномерность нанесения, расход компонентов. При введении в клей аэросила технического этот показатель возрастает, сокращается время отверждения клея, обеспечивается более плотный клеевой шов с малыми усадочными напряжениями. Но с увеличением вязкости становится больше расход клея, что приводит к удорожанию готовой продукции.

Смачивающая способность определяется глубиной конденсации полимера. Клей с низкой вязкостью глубже проникает в полости древесины, возникают пустоты в клеевом слое, что также ведет к снижению прочности склеивания, одному из основных показателей клеевых соединений.

С помощью ИК-спектроскопии был установлен характер действия модификатора на клеевую композицию. В ее состав вводили аэросил технический в количестве 10 % (рис. 4, 5).

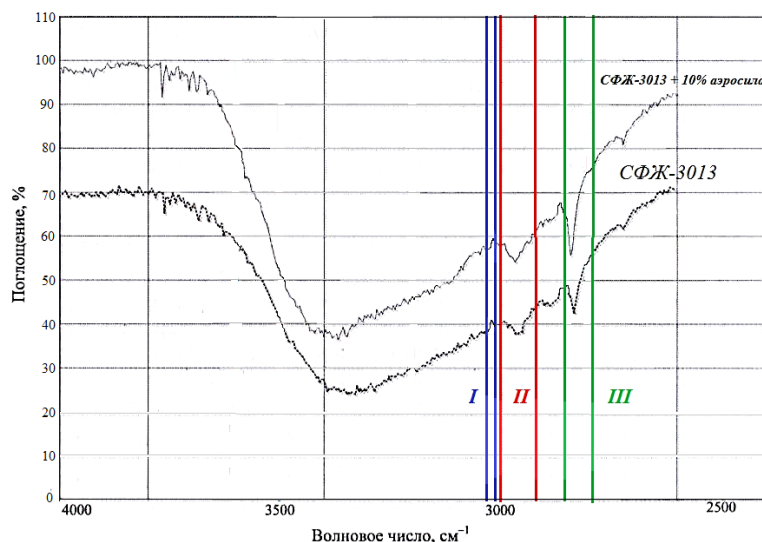


Рис. 4. ИК-спектрограммы фенолоформальдегидной смолы без аэросила технического и фенолоформальдегидной смолы + 10 % аэросила технического

Fig. 4. IR spectrograms of phenol-formaldehyde resin without technical aerosil and phenol-formaldehyde resin + 10 % technical aerosil

Полоса 3008...3030 см<sup>-1</sup> (I), отнесенная к валентным колебаниям простой эфирной связи, свидетельствует об увеличении скорости и глубины процесса отверждения клея. Подтверждением образования метилольных групп является появление полос в области 2750...2850 см<sup>-1</sup> (III), изменение числа и положения связей в области 2870...2970 см<sup>-1</sup> (II), что говорит о повышении степени отверждения связующего. Изученные изменения показывают возможность ускорения процесса отверждения клеевой композиции на основе фенолоформальдегидной смолы, а следовательно, и углубления степени отверждения.

Сравнение полученных спектрограмм позволяет наблюдать смещение максимума с 1400–1000 см<sup>-1</sup> C-F до более узких интервалов 1100–1105 см<sup>-1</sup> at CF<sub>2</sub>. Это способствует росту энергии связи молекул на 5,28×10<sup>3</sup> Дж/моль с возможностью увеличения когезионной прочности клеевого слоя. Появление нового максимума в области спектра 1100–1105 см<sup>-1</sup> свидетельствует о более глубоком структурообразовании за счет повышения молекулярной массы полимера. Отмеченное подтверждает возможность увеличения прочностных показателей готовой продукции за счет влияния аэросила технического.

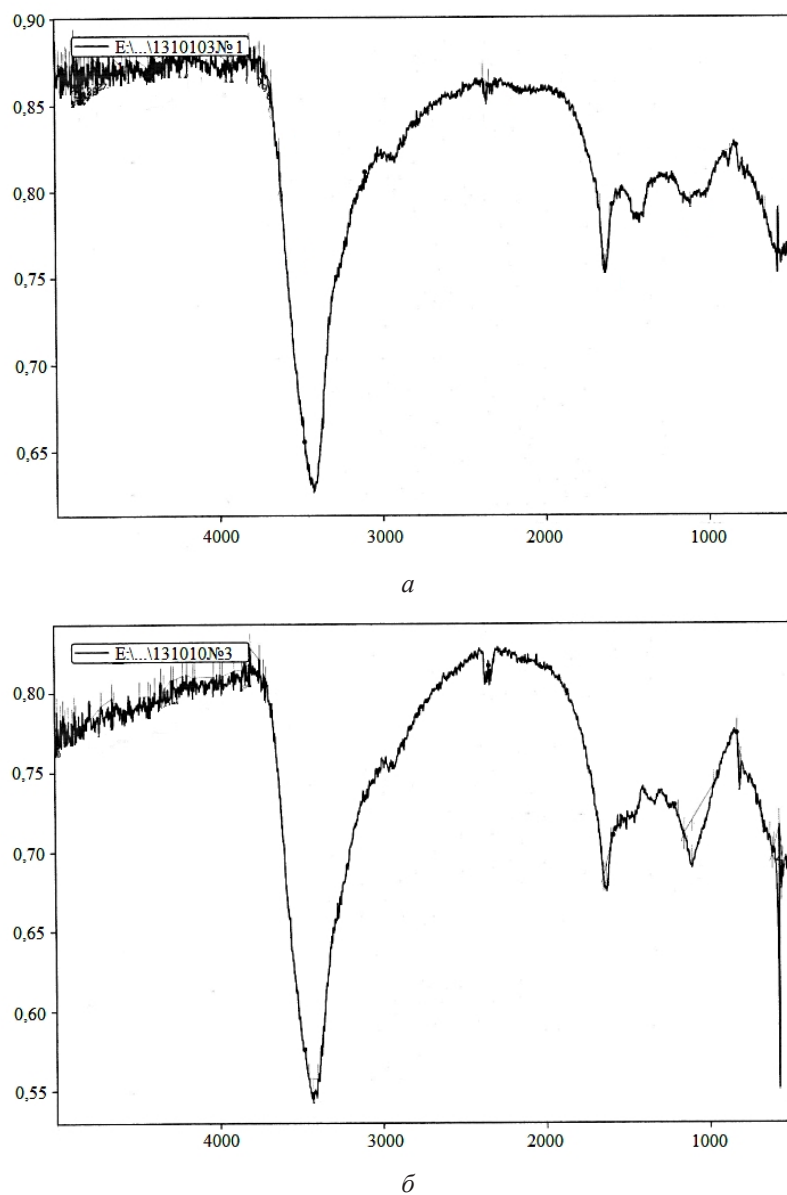


Рис. 5. ИК-спектрограммы смолы марки МКФС: *a* – без аэросила технического; *б* – 10 % аэросила технического

Fig. 5. IR spectrograms of MKFS resin: *a* – without technical aerosil; *b* – with 10 % technical aerosil

Дальнейшие эксперименты были направлены на определение влияния аэросила на эксплуатационные показатели готовой продукции. Для этого изготавливались экспериментальные образцы фанеры, которые испытывались на прочность и изучались с точки зрения содержания в них свободного формальдегида. Технологические параметры склеивания фанеры приведены в табл. 3. Показатели прочности и эмиссии формальдегида представлены на рис. 6, 7.

Таблица 3

## Технологические параметры склеивания 3-слойной фанеры

Состав клеевой композиции	Расход клеевой композиции, г/м <sup>2</sup>	Давление прессования, МПа	Температура плит пресса, °С	Время склеивания, мин
СФЖ-3013 – 100 мас. ч. Аэросил – 5...15 мас. ч.	120–130	1,6–1,8	120	10
				9
				8
МКФС – 100 мас. ч. Аэросил – 5...15 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,0 мас. ч.	120–130	1,6–1,8	120	6
				7
				8

Рис. 6. Влияние аэросила на время склеивания и прочность фанеры на основе фенолоформальдегидной (а) и меламинокарбамидоформальдегидной (б) смол

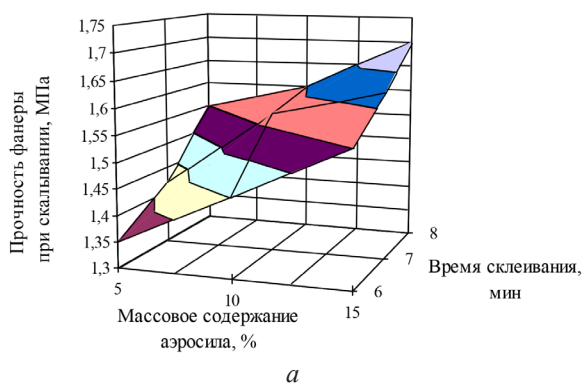
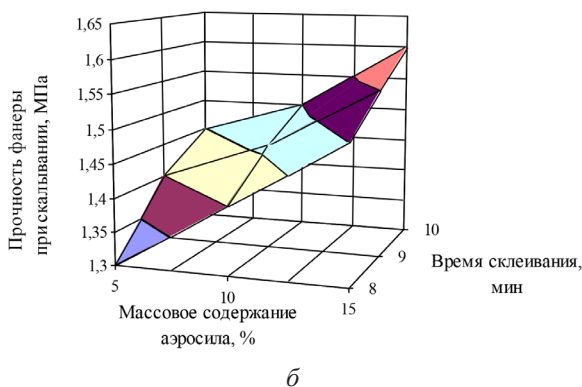


Fig. 6. Effect of aerosil on the bonding time and strength of plywood based on phenol-formaldehyde (a) and melamine-urea-formaldehyde (b) resins



Уравнения регрессии, характеризующие влияние аэросила на прочностные показатели фанеры, изготовленной с применением клеевой композиции на основе фенолоформальдегидной (1) и меламинокарбамидоформальдегидной (2) смол, представлены ниже:

$$\sigma_{\text{скал}} = 0,673 + 0,067t + 0,018n, \quad (1)$$

$$\text{при } 8 \text{ мин} \leq t \leq 10 \text{ мин};$$

$$\sigma_{\text{скал}} = 0,78 + 0,082t + 0,082n, \quad (2)$$

$$\text{при } 8 \text{ мин} \leq t \leq 6 \text{ мин},$$

где  $\sigma_{\text{скал}}$  – прочность фанеры при скалывании, МПа;  $t$  – время склеивания, мин;  $n$  – массовое содержание аэросила в клеевой системе, %.

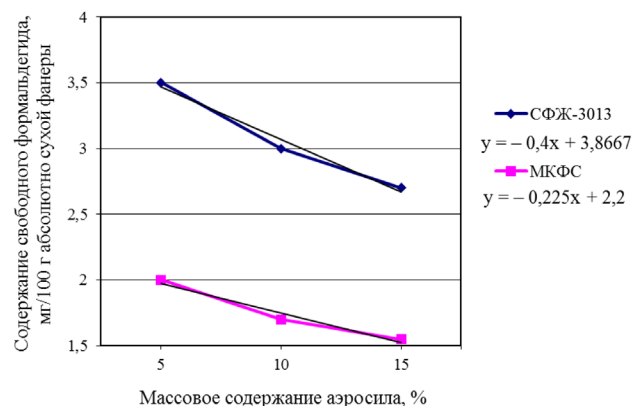


Рис. 7. Влияние аэросила технического на содержание свободного формальдегида в готовой продукции

Fig. 7. Effect of technical aerosil on the content of free formaldehyde in finished products

Аэросил технический оказывает положительное влияние на показатели прочности и токсичности фанеры, улучшает ее эксплуатационные характеристики. Можно предположить, что склеивание при высокой температуре (табл. 3) ведет к разрушению диметиленовых связей в клеевой композиции на основе меламинакарбаминоформальдегидной смолы и образованию метиленовых связей. Данные связи позволяют сформировать более структурированный полимер со связанным формальдегидом. Кроме того, силоксановые (Si-O-Si) группы образуют разветвленные цепочки, что также способствует структурообразованию.

#### Заключение

Установлено влияние аэросила технического на технологические и эксплуатационные показатели клеевых композиций. Полученные результаты свидетельствуют о возможности его применения в составе фенолоформальдегидных и меламинакарбаминоформальдегидных смол до 15 мас. ч. от общей массы. Введение аэросила более 15 мас. ч. в состав клеевых композиций нецелесообразно с точки зрения нарастания вязкости и увеличения расхода клеевой композиции для обеспечения равномерного нанесения при сборке пакетов шпона. При этом доказано улучшение эксплуатационных показателей готовой продукции: прочность склеивания увеличивается, токсичность уменьшается, водопоглощение возрастает незначительно. Результаты исследования влияния аэросила технического на технологические и эксплуатационные свойства материалов могут быть использованы при разработке методов склеивания шпона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анисимов М.В. Цеолитный наполнитель, активированный в электромагнитных полях, для производства фанеры // Лесотехн. журн. 2013. № 4. С. 94–102.  
Anisimov M.V. Zeolite Filler, Activated in Electromagnetic Fields for the Production of Plywood. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2013, no. 4, pp. 94–102. DOI: <https://doi.org/10.12737/2186>
2. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Брутян К.Г. Модифицированные карбаминоформальдегидные и фенолоформальдегидные клеи для древесно-стружечных плит и фанеры // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 6. С. 12–14.



Varankina G.S., Chubinskiy A.N., Brutyan K.G. Modified Urea-Formaldehyde and Phenol-Formaldehyde Adhesives for Wood Chipboards and Plywood. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2017, no. 6, pp. 12–14.

3. Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Соколова Е.Г., Чубинский А.Н. Исследование порошкообразных фенолоформальдегидных смол для изготовления фанеры // Изв. СПбЛТА. 2020. Вып. 231. С. 151–166.

Varankina G.S., Rusakov D.S., Sokolova E.G., Chubinsky A.N. The Study of Powdered Phenol-Formaldehyde Resins for the Manufacture of Plywood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2020, iss. 231, pp. 151–166. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2020.231.151-166>

4. Глебов М.П., Брутян К.Г. Анализ природных минеральных модификаторов для клеящих смол // Первичная обработка древесины. Лесопиление и сушка пиломатериалов. Состояние и перспективы развития. СПб.: СПбЛТА, 2007. С. 28–33.

Glebov M.P., Brutyan K.G. Analysis of Natural Mineral Modifiers for Adhesive Resins. *Primary Wood Processing. Sawmilling and Drying of Timber. State and Prospects for Development*. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2007, pp. 28–33.

5. ГОСТ 9624–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. Дата введения: 2011–01–01. М.: Стандартинформ, 2010. 11 с.

State Standard. *GOST 9624–2009. Laminated Glued Wood. Method for Determination of Shear Strength*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 11 p.

6. ГОСТ 27678–2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. Дата введения: 2016–01–01. М.: Стандартинформ, 2015. 9 с.

State Standard. *GOST 27678–2014. Wood-Based Panels and Plywood. Perforator Method for Determination of Formaldehyde Content*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 9 p.

7. ГОСТ 20501–2015. Клеи для древесины. Метод определения технологических характеристик. Доступ из системы нормативов NormaCS.

State Standard. *GOST 20501–2015. Glues for Wood. Methods for Determination of Technological Characteristics*.

8. Дейнеко И.П. Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 5–20.

Deineko I.P. Utilization of Lignins: Achievements, Problems and Prospects. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2012, no. 1, pp. 5–20.

9. Доронин Ю.Г., Мирошниченко С.Н., Свиткина М.М. Синтетические смолы в деревообработке: [справ.]. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 220 с.

Doronin Yu.G., Miroshnichenko S.N., Svitkina M.M. *Synthetic Resins in Woodworking*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 220 p.

10. Жук П.М. Анализ способов снижения эмиссии формальдегида из древесных плит // Международный науч.-исслед. журн. 2017. № 11(65), ч. 4. С. 36–40.

Zhuk P.M. Analysis of Methods of Reducing Formaldehyde Emission from Wood Boards. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2017, no. 11(65), part 4, pp. 36–40. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.65.117>

11. Казакевич Т.Н. Склеивание хвойного шпона при пониженных температурах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1998. 20 с.

Kazakevich T.N. *Gluing of Coniferous Veneer at Low Temperatures*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 1998. 20 p.

12. Кондратьев В.П., Кондращенко В.И. Синтетические клеи для древесных материалов. М.: Науч. мир, 2004. 520 с.

Kondratyev V.P., Kondrashchenko V.I. Synthetic Adhesives for Wood-Based Materials. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2004. 520 p.

13. Кондратьев В.П., Чубов А.Б., Соколова Е.Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости // Изв. СПбЛТА. 2011. Вып. 194. С. 114–120.

Kondratiev V.P., Chubov A.B., Sokolova E.G. The Improvement of Application Properties and Technology of Increased Waterresistance Plywood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2011, iss. 194, pp. 114–120.

14. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Модификация карбамидоформальдегидных связующих для производства ДСтП // Сб. науч. тр. SWORLD Т. 44, № 3. Одесса, 2013. С. 88–90.

Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Modification of Urea-Formaldehyde Binders for the Production of Wood Particle Board. *Collection of Academic Papers SWORLD*. Odessa, Nauchnyy mir Publ., 2013, vol. 44, no. 3, pp. 88–90

15. Соколова Е.Г. Модификация фенолоформальдегидной смолы меламинакарбамидоформальдегидной смолой для склеивания фанеры // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2(38) С. 111–115.

Sokolova E.G. Modification of Phenol-Formaldehyde Resin with Melamine-Carbamide-Formaldehyde Resin for Bonding Plywood. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2018, no. 2(38), pp. 111–115. DOI: <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-2-111-115>

16. Соколова Е.Г., Русаков Д.С., Чубинский А.Н., Варанкина Г.С., Угрюмов С.А. Оценка эксплуатационных свойств модифицированных синтетических смол и клееной фанеры на их основе // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 9. С. 10–15.

Sokolova E.G., Rusakov D.S., Chubinskiy A.N., Varankina G.S., Ugryumov S.A. Estimation of Service Properties of Modified Synthetic Resins and Plywood Based on Them. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2020, no. 9, pp. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2020-0-9-10-15>

17. Справочник фанерщика / под ред. А.В. Волкова, А.Т. Орлова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2010. 486 с.

*Plywood Manufacturer's Guide*. Ed. by A.V. Volkov, A.T. Orlov. Saint Petersburg, Polytechnic University Publ., 2010. 486 p.

18. Угрюмов С.А. Структура и свойства фенолоформальдегидных смол, модифицированных фурфурол-ацетоновым мономером, применительно к производству плитных древесных материалов // Древесные плиты: теория и практика. Материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. политехн. ун-т Петра Великого, 2017. С. 48–52.

Ugryumov S.A. Structure and Properties of Phenol-Formaldehyde Resins Modified with Furfural-Acetone Monomer as Applied to the Production of Wood-Based Panel Materials. *Wood Boards: Theory and Practice. Proceedings of the 20th International Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2017, pp. 48–52.

19. Угрюмов С.А., Свиридов А.В., Федотов А.А. Исследование свойств модифицированного феноло-формальдегидного олигомера методом ИК-спектроскопии // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 12. С. 26–28.

Ugryumov S.A., Sviridov A.V., Fedotov A.A. Study of Modified Phenol-Formaldehyde Oligomer Properties by IR-Spectroscopy Method. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2017, no. 12, pp. 26–28.

20. Федотов А.А., Угрюмов С.А. Исследование водостойкости древесно-стружечных плит на основе модифицированных фенолформальдегидных олигомеров // Науч. тр. молодых ученых КГТУ. Вып. 15. Кострома: КГТУ, 2014. С. 45–49.

Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Study of Water Resistance of Particle Boards Based on Modified Phenol-Formaldehyde Oligomers. *Academic Papers of Young Scientists of KSTU*. Kostroma, KSTU Publ., 2014, iss. 15, pp. 45–49.

21. Цветков В.Е., Якушкин А.А. Синтез и свойства карбамидоформальдегидных смол, модифицированных солями органических кислот // Технология и оборудование для переработки древесины. Вып. 335. М.: МГУЛ, 2006. С. 220–223.

Tsvetkov V.E., Yakun'kin A.A. Synthesis, and Properties of Urea-Formaldehyde Resins Modified with Organic Acid Salts. *Technology and Equipment for Wood Processing*. Moscow, MGUL Publ., 2006, iss. 335, pp. 220–223.

22. Чубинский А.Н., Казакевич Т.Н. Склеивание хвойной фанеры при пониженных температурах // Деревообраб. пром-сть. 1992. № 4. С. 4–5.

Chubinskiy A.N., Kazakevich T.N. Gluing of Coniferous Plywood at Low Temperatures. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 1992, no. 4, pp. 4–5.

23. Osetrov A.V., Ugryumov S.A. Assessment of Activation Energy of Modified Phenol-Formaldehyde Resin. *Polymer Science, Series D*, 2016, vol. 9, iss. 1, pp. 31–32. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421216010160>

24. Ugryumov S.A. A Study of the Viscosity of Phenol-Formaldehyde Resin Modified with Furfural-Acetone Monomer FA. *Polymer Science, Series D*, 2017, vol. 10, iss. 2, pp. 99–102. DOI: <https://doi.org/10.1134/S199542121702023X>

25. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Enhancement of Service Characteristics of Boon Boards by Modifying Carbamide-Formaldehyde Binder with Poly(Vinyl Acetate) Dispersion. *Polymer Science, Series D*, 2008, vol. 1, iss. 4, pp. 241–243. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421208040059>

26. Ugryumov S.A., Sviridov A.V., Fedotov A.A. Investigation of the Properties of Modified Phenol-Formaldehyde Oligomer Using IR Spectroscopy. *Polymer Science, Series D*, 2018, vol. 11, iss. 3, pp. 277–279. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421218030206>

27. Uguina M.A., Sotelo J.L., Serrano D.P. Roles of ZSM-5 Modifier Agents in Selective Toluene Disproportionation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1993, vol. 71, iss. 4, pp. 558–563. DOI: <https://doi.org/10.1002/cjce.5450710408>

28. Vick C.B. Phenolic Adhesive Bonds to Aspen Veneers Treated with Amino-Resin Fire Retardants. *Forest Products Journal*, 1994, vol. 44, no. 1, pp. 33–40.

29. Vick C.B. Coupling Agent Improves Durability of PRF Bonds to CCA-Treated Southern Pine. *Forest Products Journal*, 1995, vol. 45, no. 3, pp. 78–84.

30. Weiland J.J., Guyonnet R. Study of Chemical Modifications and Fungi Degradation of Thermally Modified Wood Using DRIFT Spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff* [European Journal of Wood and Wood Products], 2003, vol. 61, iss. 3, pp. 216–220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0364-y>

31. Wotten A.L., Sellers T., Tahir P.M. Reaction of Formaldehyde with Lignin. *Forest Products Journal*, 1988, vol. 38, no. 6, pp. 45–46.

## EFFECT OF TECHNICAL AEROSIL ON THE PROPERTIES OF ADHESIVE COMPOSITIONS

*Ekaterina G. Sokolova*, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [ABE-3531-2020](https://orcid.org/0000-0002-9698-9321), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9698-9321>

*Dmitry S. Rusakov*, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [I-9245-2017](https://orcid.org/0000-0002-4344-2779),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4344-2779>

*Galina S. Varankina*, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [H-1922-2019](https://orcid.org/0000-0003-3470-5124),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3470-5124>

*Anatoly N. Chubinsky*, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [I-9432-2016](https://orcid.org/0000-0001-7914-8056),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7914-8056>

Saint Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: [nikitinaek@rambler.ru](mailto:nikitinaek@rambler.ru), [dima-ru25@mail.ru](mailto:dima-ru25@mail.ru), [varagalina@yandex.ru](mailto:varagalina@yandex.ru), [a.n.chubinsky@gmail.com](mailto:a.n.chubinsky@gmail.com)

**Abstract.** The main drivers of competition among the products made with the use of adhesive compositions are the toxicity of finished products, the consumption of raw materials and energy resources, the duration of the main technological operations. These drivers can be controlled by using adhesives with different fillings and/or modifications. Adhesives based on phenol-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde resins are used to produce plywood with increased water resistance. Apart from resins, adhesives usually contain hardeners, fillers, and modifiers that affect the properties of the finished product. Technical aerosil is one of the modifiers of synthetic resins with a wide range of action. Aerosil is characterized by three types of interaction: physical adsorption, chemical adsorption (formation of hydrogen bridges by silanol groups), and chemical reactions on the surface layer. The chemical composition of aerosil was analyzed. Technical aluminum fluoride ( $AlF_3$ ) is of particular interest. It can interact with alkali metal fluorides with the formation of complex compounds that improve polymer structuring. The acids that make up aerosil reduce the pH to 2.0–3.5, so they can be catalysts for the curing process of melamine-urea-formaldehyde resins. The effect of technical aerosil on the properties of adhesive systems based on phenol-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde resins has been studied. Viscosity, curing time, and wetting ability of adhesive compositions were determined. The obtained results indicate the possibility of using this modifier in the composition of phenol-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde resins up to 15 pts. wt. The nature of the aerosil action on adhesive compositions was determined using IR spectroscopy. Analysis of the results showed that aerosil promotes deep structure formation of the polymer by increasing the molecular weight of the molecules. These bonds make it possible to form a more structured polymer with bound formaldehyde. Studies of the effect of aerosil on the properties of finished products were carried out. At the same time, an increase in performance indicators was found: the strength of adhesion increases, the toxicity of plywood decreases. The results of experiments on the effect of technical aerosil, taking into account the reduction of bonding time can be applied in the development of technological processes for obtaining plywood of high water resistance.

**For citation:** Sokolova E.G., Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinsky A.N. Effect of Technical Aerosil on the Properties of Adhesive Compositions. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 3, pp. 133–144. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-133-144

**Keywords:** plywood, phenol-formaldehyde resin, melamine-urea-formaldehyde resin, modification, technical aerosil, properties of adhesives, IR spectroscopy, veneer gluing modes, strength of products, toxicity of products.