

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 142–147.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 142–147.

Научная статья

УДК 665.939.57

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОИОНИЗАЦИИ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ КЛЕЯ ПРИ СКЛЕИВАНИИ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Кирилл Васильевич Носоновских¹, Максим Владимирович Газеев²,
Алексей Владиславович Свиридов³, Руслан Михайлович Маслак⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

² gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

³ sviridovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

⁴ r89089190134@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2707-3300>

Аннотация. Клееная древесина получила широкое распространение в современной деревообрабатывающей промышленности. Но операция склеивания требует значительных затрат времени на отверждение клея. Для интенсификации данного процесса чаще всего применяют различные виды нагрева, которые являются энергозатратными. В связи с этим разработка новых энергоэффективных способов интенсификации склеивания является актуальной. Один из таких способов – воздействие аэроионизацией. В работе рассматривается влияние воздействия аэроионизацией на процесс склеивания массивной древесины ПВА-клеем. Анализ данного процесса проводился при помощи ИК-Фурье-спектроскопии методом Attenuated Total Reflection (ATR). Цель работы – исследование химического состава клея на основе поливинилацетата (ПВА), а также изменений состава отвержденного клеевого слоя при склеивании массивной древесины под воздействием аэроионизации. Полученные результаты позволяют утверждать, что воздействие аэроионизацией на клеевое соединение не оказывает воздействия на химизм отверждения ПВА-клея, но способствует процессу дегидратации и уплотнению кристаллической структуры полимера, что, в свою очередь, сокращает затраты времени на отверждение клеевого слоя и повышает прочностные характеристики клеевого соединения.

Ключевые слова: клееная древесина, клей, аэроионизация, интенсификация склеивания, ИК-Фурье-спектроскопия

Для цитирования: Исследование влияния аэроионизации на отверждение клея при склеивании массивной древесины / К. В. Носоновских, М. В. Газеев, А. В. Свиридов, Р. М. Маслак // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 142–147.

Original article

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AEROIONIZATION ON ADHESIVE CURING WHEN GLUING SOLID WOOD

Kirill V. Nosonovskikh¹, Maxim V. Gazeev², Alexey V. Sviridov³, Ruslan M. Maslak⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

² gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

³ sviridovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

⁴ r89089190134@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2707-3300>

Abstract. Glued laminated wood has become widespread in the modern woodworking industry. But the gluing operation requires a significant amount of time to cure the adhesive. To intensify this process, various types of heating are most often used, which are energy-consuming. In this regard, the development of new energy-efficient ways to intensify gluing is relevant. One of these methods is the effect of aeroionization. The paper considers the influence of aeroionization on the process of gluing solid wood with PVA glue. The analysis of this process was carried out using IR-Fourier spectroscopy using the Attenuated Total Reflection (ATR) method. The purpose of the work is to research the chemical composition of polyvinyl acetate (PVA)-based adhesives, as well as changes in the composition of the cured adhesive layer when gluing solid wood, under the influence of aeroionization. The results obtained suggest that the effect of aeroionization on the adhesive joint does not affect the curing chemistry of the PVA glue. But it promotes the process of dehydration and densification of the crystalline structure of the polymer. This, in turn, reduces the time spent on curing the adhesive layer and increases the strength characteristics of the adhesive joint.

Keywords: glued laminated wood, glue, aeroionization, gluing intensification, IR-Fourier spectroscopy

For citation: Investigation of the influence of aeroionization on adhesive curing when gluing solid wood / K. V. Nosonovskikh, M. V. Gazeev, A. V. Sviridov, R. M. Maslak // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 142–147.

Введение

Клееная массивная древесина играет важную роль в современной деревообрабатывающей промышленности при производстве изделий из нее. Она широко применяется при производстве мебели, строительных и столярных конструкций, музыкальных инструментов и других изделий. Склеивание массивной древесины позволяет не только получать детали требуемых размеров и форм, но и эффективно использовать короткомерные заготовки и отходы производства, повышая общий выход полезной продукции.

Однако с точки зрения длительности выполнения технологической операции при изготовлении изделий из древесины операция склеивания из

всей технологической цепочки требует больших затрат времени на отверждение клеевого слоя, и потому нередко производительность всего производства определяется производительностью участка склеивания (Волынский, 2003).

В связи с этим исследования, направленные на сокращение времени отверждения клеевого соединения и повышение показателей его физико-механических свойств, являются актуальными.

Обычно для интенсификации склеивания производители применяют различные методы нагрева, такие как конвективный, контактный, инфракрасный и др. Но такие методы, как правило, являются весьма энергозатратными (Исаев и др., 2020).

На кафедре механической обработки древесины (МОД) Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) ведутся исследования по разработке энергоэффективного метода интенсификации процесса склеивания массивной древесины. Одним из таких методов является воздействие аэроионизацией (Nosonovskikh, Gazeev, 2022).

Цель и методика исследования

Цель работы – исследование химического состава клея на основе поливинилацетата (ПВА), а также изменений состава отвержденного клеевого слоя при склеивании массивной древесины под воздействием аэроионизации.

Для определения химического состава клея и отвержденного клеевого шва проводилась инфракрасная (ИК) спектроскопия. Для спектрального анализа были склеены образцы из древесины березы клеем Kleiberit 303.2 на основе ПВА-дисперсии.

Расход клея при нанесении на поверхность древесины измерялся весовым способом на электронных весах ACOM JW-1C и составил 125–135 г/м².

В качестве образцов для склеивания использовали строганные бруски из древесины березы сечением 30×30 мм длиной 300 мм. Влажность образцов определялась при помощи влагомера CONDROL Hydro Easy № 14056 и составила $W = 8 \dots 10\%$.

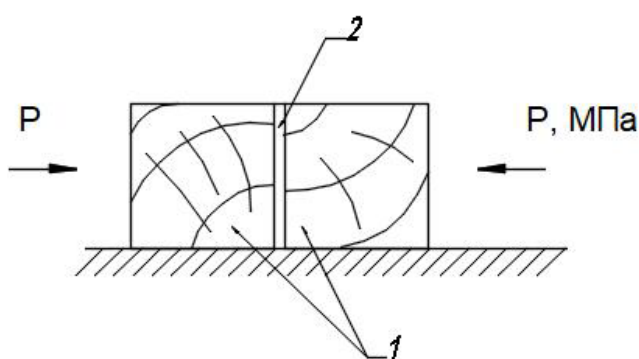


Рис. 1. Схема склеивания ламелей:
1 – буковые ламели; 2 – клеевой слой
Fig. 1. Slats gluing scheme:
1 – beech woodslats; 2 – adhesive layer

Технологический процесс склеивания ламелей массивной древесины состоит из следующих операций:

- определение влажности древесины (8–9 %) и воздуха (60–65 %) при помощи влагомера;
- очистка поверхности сухой щеткой (обдув воздухом);
- нанесение клея на склеиваемые поверхности (осуществляется кистью);
- склеивание заготовок осуществлялось при давлении $\approx 0,4$ МПа в винтовой вайме (схема прессования заготовок приведена на рис. 1), над которой размещен электроэффлювиальный ионизатор, время воздействия аэроионизацией – 18/32 мин (в зависимости от режима);
- технологическая выдержка с воздействием аэроионизацией – 120 мин, под воздействием аэроионизации – 0/60 мин (в зависимости от режима).

Для активации клеевого состава на подложке перед склеиванием использовалось электроэффлювиальное аэроионизационное устройство (ЭЭАУ), показанное на рис. 2.

Воздействие аэроионизацией происходило в двух режимах: 1) 32 мин на этапе прессования и 60 мин на этапе технологической выдержки; 2) 18 мин на этапе прессования. Также был склеен контрольный образец без воздействия аэроионизации.

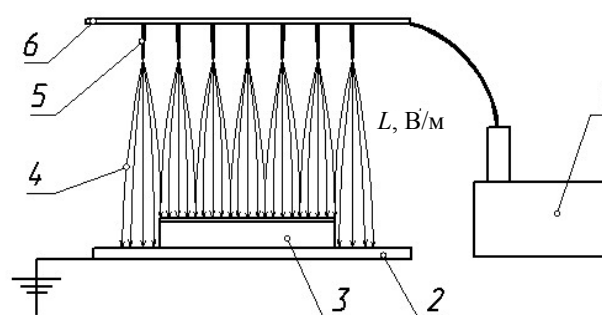


Рис. 2. Аэроионизационное электроэффлювиальное устройство:
1 – высоковольтный блок; 2 – основание; 3 – ламель с нанесенным слоем клея; 4 – линии силового электрического поля, формируемые электродами; 5 – электроды излучателя; 6 – электроэффлювиальный излучатель
Fig. 2. Aerionization electro effluvial setting:
1 – high-voltage block; 2 – base; 3 – slat with applied adhesive layer; 4 – electric field lines formed by electrodes; 5 – emitter electrodes; 6 – electroeffluvial emitter

После склеивания заготовок их распиливали до клеевого слоя, после чего производился тонкий срез отвержденной клеевой пленки и помещался в спектрометр.

ИК-спектроскопия проводилась методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), или Attenuated Total Reflection. Суть метода заключается в пропускании излучения через кристалл с высоким показателем преломления. Данный метод лучше всего подходит для пленок.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований получены следующие спектры для образцов, склеенных по режиму 18 мин (рис. 3) и по режиму 32 мин + 60 мин (рис. 4).

Основные полосы поглощения, определенные в исследованных образцах, следующие:

1) полоса колебаний алифатических групп $-\text{CH}_2-$ – 2940, 2925 cm^{-1} (пик № 2);

2) полоса на частоте 1736 cm^{-1} (пик № 3) соответствует колебанию карбонильной группы $-\text{CH}_2-\text{CHO}$ (Тарасевич, 2012);

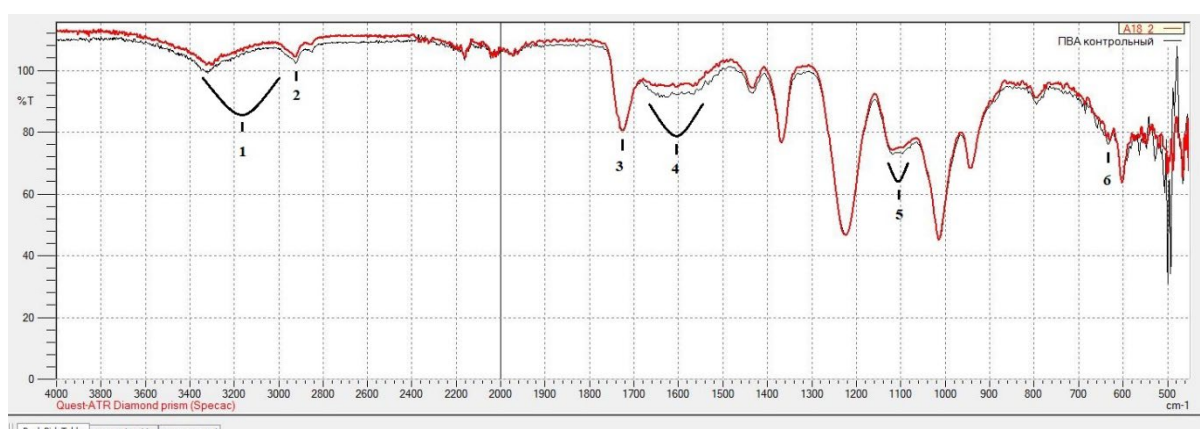


Рис. 3. Спектры ПВА-клея:

ПВА контрольный – образец, отверждавшийся без воздействия аэроионизации;

A18 – образец, отверждавшийся с воздействием аэроионизации в течение 18 мин

Fig. 3. Spectra of PVA glue:

PVA reference value – a sample cured without exposure to aeroionization;

A18 – a sample cured with exposure to aeroionization for 18 minutes

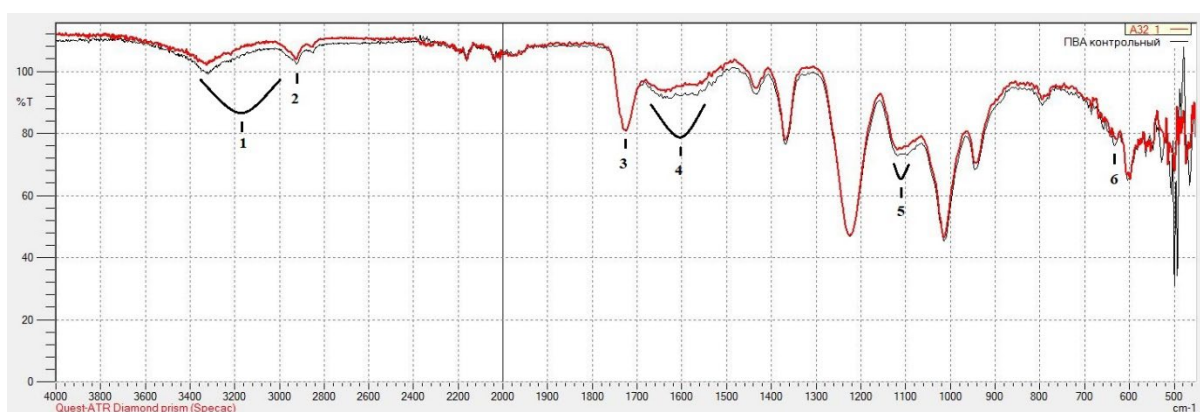


Рис. 4. Спектры ПВА-клея:

ПВА контрольный – образец, отверждавшийся без воздействия аэроионизации;

A32 – образец отверждавшийся с воздействием аэроионизации в течение 32 мин

Fig. 4. Spectra of PVA glue:

PVA reference value – a sample cured without exposure to aeroionization;

A32 – a sample cured with exposure to aeroionization for 32 minutes

3) область от 1700 до 500 см^{-1} состоит из колебаний растяжения —C—O групп, колебаний изгиба и скручивания —CH_2 групп, колебаний растяжения полимерной цепи (Носенко и др., 2021).

По результатам эксперимента можно сказать, что воздействие аэроионизацией не оказывает влияния на процесс отверждения клеевого соединения с химической точки зрения, так как образования новых химических соединений спектроскопия не показала.

Тем не менее наблюдаемое снижение интенсивности пиков в диапазоне частот 3360–3000 см^{-1} , 1660–1550 см^{-1} и пика на частоте 640 см^{-1} (пики № 1, 4 и 6 на рис. 3 и 4), вероятно, свидетельствует об уменьшении содержания воды в структуре ПВА-клея. Процесс дегидратации способствует сокращению времени отверждения клеевого соединения на ПВА-основе.

Увеличение интенсивности поглощения в диапазоне частот 1140–1090 см^{-1} (пик № 5 на рис. 3 и 4) может свидетельствовать об изменении степени кристалличности образующегося полимерного клеевого слоя, что, в свою очередь, положительно скажется на физико-механических свойствах клеевого соединения.

Полученные результаты подтверждаются работами других исследователей. Так, Р. Я. Казберов в своей работе «Поливиниловый спирт и влияние различных видов облучения на его свойства» под воздействием нагрева ПВА-пленки также наблюдал процесс дегидратации, который обуславливал снижение пиков спектров в тех же частотах (Казберов, 2022).

Умме Хабиба Хоссейн, Тим Зайдль и Вольфганг Энсингер в своей работе тоже отмечали схожее поведение поливинилацетатов под воздействием облучения ионами Au (Hossain et. al., 2014).

Следовательно, полученные в результате исследования данные можно считать достоверными.

Выводы

В ходе анализа ИК-спектров ПВА-клея, отвержденного под воздействием аэроионизации и без нее, были определены следующие особенности.

1. Процесс аэроионизации не оказывает существенного влияния на химизм процесса полимеризации основных компонентов ПВА-клея, так как пики поглощения для исследуемых образцов проявляются на одних и тех же частотах (ИК-спектры с воздействием аэроионизации и без воздействия практически идентичны друг другу).

2. Основным отличием в ИК-спектрах исследуемых образцов является изменение интенсивности поглощения в диапазонах частот, показывающих содержание воды в поверхностной пленке отвержденного клея на основе ПВА-дисперсии. Снижение интенсивности поглощения в данных диапазонах частот для образцов, подвергшихся аэроионизационному воздействию, указывает на интенсификацию процесса дегидратации и удаления связанной влаги из поверхностной структуры пленки клея на основе ПВА-дисперсии во время аэроионизации.

3. Удаление воды из поверхностных слоев пленок клея во время аэроионизации также сказывается на степени кристалличности отвержденного материала.

Список источников

- Волынский В. Н. Технология клеевых материалов. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. 280 с.
- Исаев С. П., Еренков О. Ю. Совершенствование технологии производства древесных клеевых материалов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 2. С. 43–46.
- Казберов Р. Я. Поливиниловый спирт и влияние различных видов облучения на его свойства // Современные тенденции и проблемы современной радиохимии и фармацевтики в работе научно-образовательных центров. М. : Граница, 2022. С. 271–286.
- Носенко Т. Н., Ситникова В. Е., Стрельникова И. Е. Практикум по колебательной спектроскопии. СПб. : Ун-т ИТМО, 2021. 173 с.

- Tarasevich B. N.* ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. 55 с.
- Hossain U. H., Seidl T., Ensinger W.* Combined in situ infrared and mass spectrometric analysis of high-energy heavy ion induced degradation of polyvinyl polymers // *Polymer Chemistry*. 2014. Issue 3. P. 1001–1012.
- Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V.* Improving the technology of gluing solid wood due to the impact of negative air ions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 949. 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012067

References

- Hossain U. H., Seidl T., Ensinger W.* Combined in situ infrared and mass spectrometric analysis of high-energy heavy ion induced degradation of polyvinyl polymers // *Polymer Chemistry*. 2014. Issue 3. P. 1001–1012.
- Isaev S. P., Erenkov O. Yu.* Improving the Technology of Glued Wood Materials Production // *Repair. Restoration. Modernization*. 2020. № 2. P. 43–46. (In Russ.)
- Kazberov R. Ya.* Polyvinyl Alcohol and the Effect of Various Types of Irradiation on Its Properties // *Current Trends and Problems of Modern Radiochemistry and Pharmaceuticals in the Work of Research and Education Centers*. Moscow : Publishing house “Boundary”, 2022. P. 271–286. (In Russ.)
- Nosenko T. N., Sitnikova V. E., Strelnikova I. E.* *Vibrational Spectroscopy Workshop : Study guide*. St. Petersburg : ITMO University, 2021. 173 p.
- Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V.* Improving the technology of gluing solid wood due to the impact of negative air ions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 949. 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012067
- Tarasevich B. N.* *IR Spectra of the Main Classes of Organic Compounds. Reference Materials*. Moscow : Lomonosov Moscow State University, 2012. 55 p.
- Volynsky V. N.* *Technology of Glued Materials*. 2nd edition, revised and supplemented. Arkhangelsk : Publishing House of Arkhangelsk State Technical University, 2003. 280 p.

Информация об авторах

К. В. Носоновских – ассистент;
М. В. Газеев – доктор технических наук, доцент;
А. В. Свиридов – кандидат технических наук, доцент;
Р. М. Маслак – аспирант.

Information about the authors

K. V. Nosonovskikh – Assistant;
M. V. Gazeev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
A. V. Sviridov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. M. Maslak – graduate student.

Статья поступила в редакцию 20.05.2026; принята к публикации 26.07.2026.
The article was submitted 20.05.2026; accepted for publication 26.07.2026.
