

Научная статья
УДК 665.939.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОИОНИЗАЦИИ НА КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КЛЕЕМ

Максим Владимирович Газеев¹, Кирилл Васильевич Носоновских²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ gazeevmv@usfeu.ru

² kirya.nosonovskikh@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено воздействие аэроионизации на смачиваемость поверхности стекла клеем на основе ПВА дисперсии. Приведена методика проведения эксперимента и результаты кинетики краевого угла смачивания поверхности стекла клеем при воздействии аэроионизации в сравнении с контрольными измерениями в естественных условиях. Полученные результаты исследования подтверждают положительное влияние аэроионизации на улучшение смачивания поверхности за счет снижения краевого угла смачивания и, как следствие, лучшей адгезии клея к склеиваемой поверхности.

Ключевые слова: аэроионизация, краевой угол смачивания, клей на основе ПВА дисперсии

Для цитирования: Газеев М. В., Носоновских К. В. Исследование влияния аэроионизации на краевой угол смачивания поверхности клеем // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 262–269.

Original article

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AEROIONIZATION ON THE LIMITING WETTING ANGLE SURFACE WITH GLUE

Maxim V. Gazeev¹, Kirill V. Nosonovskikh²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ gazeevmv@usfeu.ru

² kirya.nosonovskikh@mail.ru

© Газеев М. В., Носоновских К. В., 2025

Abstract. The article considers the effect of aeroionization on the wettability of the glass surface with a glue based on PVAC dispersion. The method of conducting the experiment and the results of the kinetics of the limiting wetting angle the glass surface with glue under the influence of aeroionization are presented in comparison with control measurements under natural conditions. The obtained research results confirm the positive effect of aeroionization on improving surface wetting by reducing the limiting wetting angle and, as a result, better adhesive adhesion to the surface to be glued.

Keywords: aeroionization, limiting wetting angle, PVAC glue

For citation: Gazeev M. V., Nosonovskikh K. V. (2025) Issledovanie vliyaniya aeroionizatsii na kraevoy ugol smachivaniya poverhnosti kleem [Investigation of the effect of aeroionization on the limiting wetting angle surface with glue]. *Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistvia cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii* [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 262–269. (In Russ).

На современных деревообрабатывающих предприятиях при производстве изделий из клееной древесины используют различные методы интенсификации склеивания, так как процесс склеивания требует значительных затрат времени на отверждение клеевого слоя и оказывает сильное влияние на эффективность всего производства [1]. Чаще всего такие методы являются различными видами энергозатратного нагрева (рис. 1).

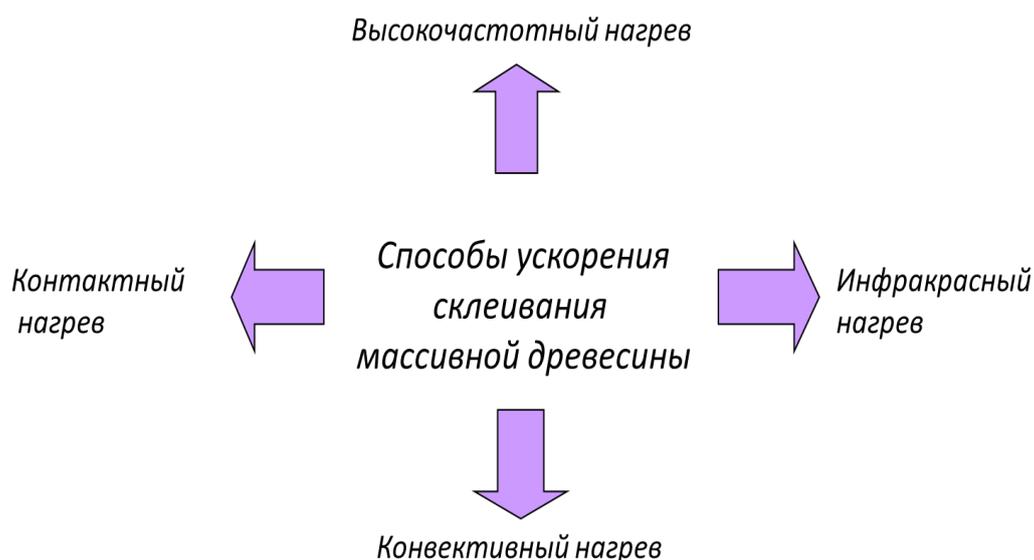


Рис. 1. Способы интенсификации склеивания массивной древесины

С учетом вышесказанного, можно утверждать, что исследования в области совершенствования технологии склеивания массивной древесины путем применения новых энергоэффективных способов интенсификации данного процесса являются актуальными.

Одним из таких энергоэффективных способов можно считать метод аэроионизационного склеивания массивной древесины при воздействии электрического поля, формируемого аэроионизационной установкой. Исследования механизма отверждения клеев при аэроионизации выполняются на кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. При нанесении жидкого клея на древесину обязательным условием хорошего склеивания является полное смачивание поверхности. Смачивание является первым и необходимым условием склеивания, так как обеспечивает формирование молекулярного контакта жидкого адгезива и субстрата, в связи с чем был проведен эксперимент по изучению влияния электрического поля аэроионизационной установки на краевой угол смачивания клеем.

Смачивание поверхности твердого тела обусловлено взаимодействием когезионных, адгезионных сил, а также свободной энергией поверхностей трехфазной системы «тело-жидкость-газ» (рис. 2).

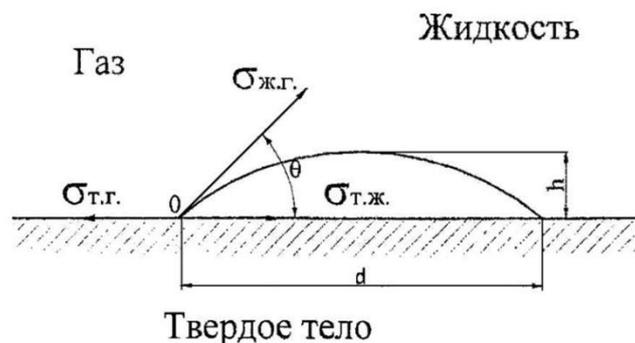


Рис. 2. Схема действия сил поверхностного натяжения жидкости на поверхности твердого тела: $\sigma_{т.г.}$ – свободная поверхностная энергия твердого тела на его границе с газом; $\sigma_{т.ж.}$ – свободная поверхностная энергия на границе твердого тела и жидкости; $\sigma_{ж.г.}$ – свободная поверхностная энергия жидкости на границе с газом; h – высота капли; d – диаметр капли; θ – краевой угол

Условие равновесия капли на поверхности твердого тела описывает уравнение Юнга

$$W_{т.ж} = \sigma_{т.ж} (1 + \cos \theta). \quad (1)$$

Данное уравнение устанавливает обратно пропорциональную зависимость смачиваемости поверхности тела от величины краевого угла [2, 3].

В ходе эксперимента использовался ПВА клей марки Kleiberit 303.2, предметное стекло, микроскоп МИР-II, а также ионизатор «АЭРОИОН – 25У».

Краевой угол смачивания рассчитывался через тангенс угла θ по формуле

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{4dh}{d^2 - 4h^2}, \quad (2)$$

где θ – краевой угол;

h – высота капли, мм;

d – диаметр капли, мм.

Для этого на предметное стекло, находящееся под воздействием аэроионизации, стеклянной палочкой наносилась капля ПВА клея. При помощи микроскопа МИР-II определялись ее высота и диаметр с интервалом в две минуты до достижения каплей состояния равновесия (рис. 3). Затем полученные значения подставлялись в формулу (2) для расчета краевого угла смачивания на каждом этапе. Также был получен соответствующий ряд контрольных значений краевого угла смачивания без воздействия аэроионизацией. В том и в другом случае было исследовано по пять капель.

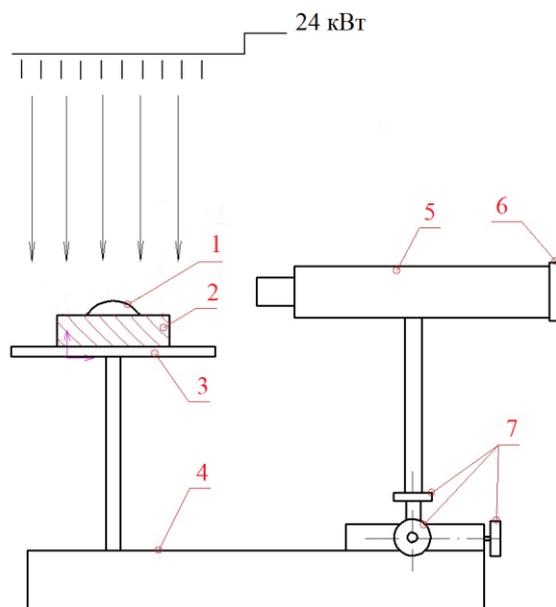


Рис. 3. Схема измерения краевого угла смачивания под воздействием аэроионизации:

1 – капля ПВА клея; 2 – предметное стекло; 3 – предметный столик; 4 – станина;
5 – тубус микроскопа; 6 – окуляр; 7 – регулировочные винты

Результаты эксперимента определения кинетики смачивания поверхности стекла клеем на основе ПВА дисперсии приведены в табл. 1 без использования аэроионизации (ЕСТ) и в табл. 2 при воздействии аэроионизацией.

Таблица 1

Результаты определения кинетики смачивания поверхности стекла ПВА клеем без использования аэроионизации (ЕСТ)

№ капли	Время, мин					
	2	4	6	8	10	12
	Значение краевого угла смачиваемости, °					
1	68	63	56	51	50	50
2	57	51	50	51	51	51
3	60	53	48	48	48	48
4	50	44	39	39	39	39
5	54	49	48	48	48	48
Ср. знач.	57,8	52	48,2	47,4	47,2	47,2

Таблица 2

Результаты определения кинетики смачивания поверхности стекла ПВА клеем под воздействием аэроионизации

№ капли	Время, мин					
	2	4	6	8	10	12
	Значение краевого угла смачиваемости, °					
1	44	38	38	38	38	...
2	56	52	48	48	48	...
3	48	47	43	38	38	...
4	35	31	31	31	31	...
5	33	28	28	28	28	...
Ср. знач.	43,2	39,2	37,6	36,6	36,6	...

По полученным данным построен график кинетики смачивания поверхности стекла клеем на основе ПВА дисперсии при воздействии аэроионизации и без него (рис. 4).

Результаты эксперимента доказывают, что воздействие аэроионизацией оказывает положительный эффект на смачиваемость поверхности ПВА клеем. Так, краевой угол смачивания при воздействии аэроионизационной установки примерно на 10 градусов острее, чем у контрольных капель (ЕСТ), что, в свою очередь, говорит об улучшении адгезионных свойств клея. Кроме того, под воздействием аэроионизации капли быстрее достигали состояния равновесия, что позволяет утверждать о сокращении времени отверждения клеевого состава на основе ПВА дисперсии.

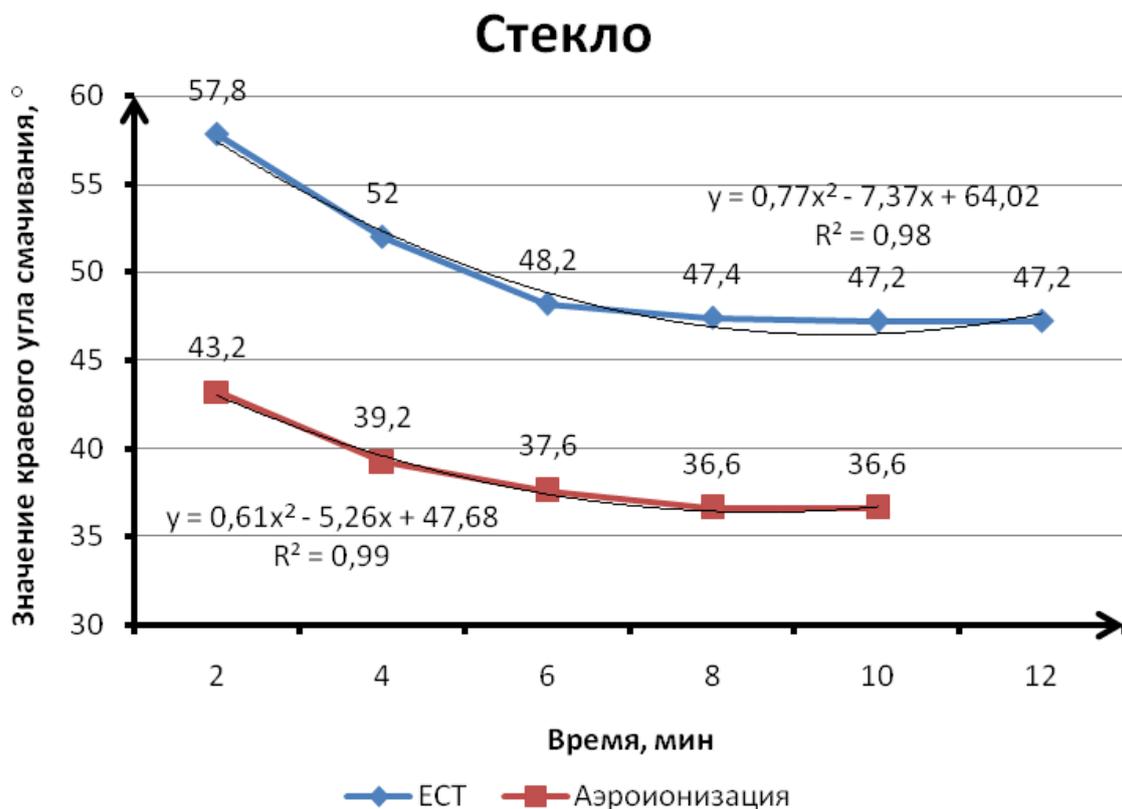


Рис. 4. График кинетики краевого угла смачивания поверхности стекла клеем на основе ПВА дисперсии без воздействия аэроионизации (ЕСТ) и под воздействием аэроионизации

Предположительно такое явление можно объяснить с точки зрения авторов Б. В. Дерягина и Н. А. Кротовой на электрическую теорию адгезии. Согласно этой теории клеевое соединение представляется в виде обкладок конденсатора, между которыми возникает двойной электрический слой [4].

Водно-дисперсионные ПВА клеи отверждаются за счет испарения молекул воды из состава. Под воздействием аэроионизации происходит поляризация молекул воды, заключающаяся в повороте осей диполей в сторону векторов напряженности поля, что способствует ее испарению.

Тогда как молекулы клея притягиваются к положительно заряженной подложке.

Таким образом происходит перераспределение молекул внутри клеевого состава, что способствует сокращению времени отверждения и повышению адгезионных свойств (рис. 5).

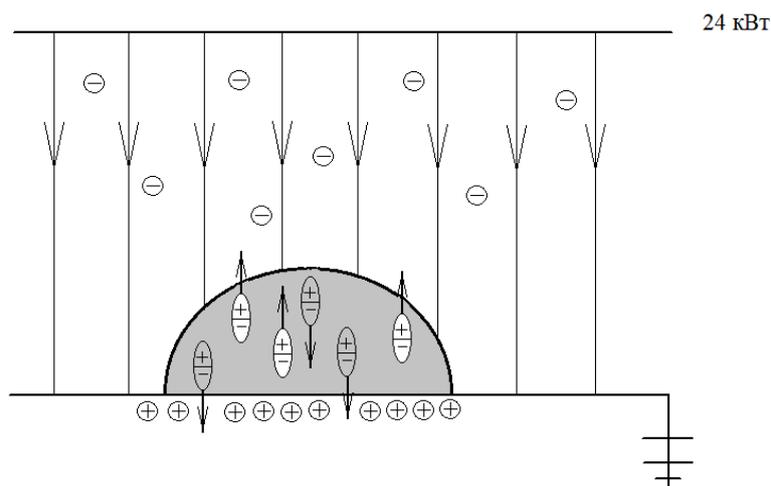


Рис. 5. Схема перераспределения молекул в составе ПВА клея под воздействием аэроионизации

Для подтверждения этой гипотезы необходимо проведение дальнейших исследований влияния аэроионизации на физико-химические механизмы, протекающие при склеивании массивной древесины.

Список источников

1. Волынский В. Н. Технология клееных материалов : учебное пособие для вузов. 2-е изд., исправленное и дополненное. Архангельск : Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2003. 280 с.
2. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. М. : Химия, 1988. 271 с.
3. Башкирова К. А., Носоновских К. В., Газеев М. В. Смачивание поверхности древесины композицией на основе эпоксидной смолы // Сборник материалов XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России». Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. С. 524– 528.
4. Богданова Ю. Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов : учебное пособие. М. : МГУ, 2010. 68 с.

References

1. Volynsky V. N. Technology of glued materials: A textbook for universities. 2nd ed., revised and expanded. Arkhangelsk : Publishing House of Arkhangelsk State Technical University, 2003. 280 p.

2. Karyakina M. I. Testing of paints and coatings. M. : Chemistry, 1988. 271 p.
3. Bashkirova K. A., Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V. Wetting of the wood surface with an epoxy resin-based composition // Collection of materials of the XVIII All-Russian Scientific and technical Conference of students and postgraduates «Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia». Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2022. P. 524–528.
4. Bogdanova Yu. G. Adhesion and its role in ensuring the strength of polymer composites : textbook. manual. M. : Moscow State University, 2010. 68 p.