

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ, ОБРАЗОВАННОГО ПЕНТАФТАЛЕВЫМ ЛАКОМ, НА ДРЕВЕСИНЕ ПРИ АЭРОИОНИЗАЦИИ

Газеев М.В.¹, Тихонова Е.В.¹

¹ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия, (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37), e-mail:gazeev_m@list.ru

В статье исследовано влияние аэроионизации как метода ускоренного отверждения лакокрасочных покрытий, образованных алкидным лаком, на древесине при воздействии активных форм кислорода в электрическом поле аэроионизатора. Спланирован и проведен эксперимент в соответствии с планом полного факторного эксперимента. По полученному уравнению регрессии построен график зависимости времени отверждения алкидного лака от управляющих факторов. При сокращении расстояния между образцом и ионизатором в вертикальной плоскости и при увеличении напряжения на высоковольтном генераторе время отверждения покрытий сокращается. Оптимальный результат достигается при расположении излучателя на расстоянии 0,2 м над образцом и при напряжении на высоковольтном генераторе 24 кВ, что позволяет сократить время отверждения в 2 раза, что составляет 12 ч. Подведено теоретическое обоснование и предложен гипотетический механизм влияния аэроионизации на процесс отверждения алкидных смол на древесине.

Ключевые слова: пленкообразование, аэроионизация, сушка лакокрасочных покрытий, древесина.

RESEARCH OF DRYING OF THE PAINT COATING FORMED BY THE PENTAPHTOL VARNISH ON WOOD AT THE AEROIONIZATION

Gazeev M.V.¹, Tihonova E.V.¹

¹FGBOU VPO Ural state forest engineering university, Yekaterinburg, Russia, (620100, Yekaterinburg, Siberian path, 37), e-mail:gazeev_m@list.ru

In article aeroionization influence as method of the accelerated drying of the paint coatings formed by the alkyd varnish on wood at influence of the fissile forms of oxygen in an electric field of the aero ionizer is investigated. Experiment according to the plan of the complete factorial experiment is planned and made. On the received equation of regression the schedule of dependence of a cure time of the alkyd varnish from operating factors is constructed. At distance reduction between an exemplar and the ionizer in the vertical plane, and at increase in tension on the high-voltage generator the cure time of coverings is reduced. The optimum result is reached at a radiator arrangement apart 0,2 m over an exemplar and at a tension on the high-voltage generator of 24 kV that allows to reduce a cure time twice that makes 12 h. Theoretical justification is brought and the hypothetical mechanism of influence of an aeroionization on process of a drying of the alkyd resins on wood is offered.

Keywords: film-forming, air ionization, drying of paint and varnish coverings, woods.

Алкидные лакокрасочные материалы (ЛКМ) для изделий из древесины широко себя зарекомендовали на отечественном рынке, они имеют высокие декоративные и защитные свойства, а также широкий ассортимент и ценовую доступность. На основе алкидных смол выпускают грунтовки, лаки и эмали. Главный недостаток таких материалов – длительное время отверждения покрытий от 24 до 48 часов без использования ускоренных методов сушки. Отверждение таких ЛКМ происходит в результате испарения летучего растворителя (уайт-спирита), а также реакции цепной полимеризации, протекающей по свободнорадикальному механизму. Процесс пленкообразования после испарения растворителя протекает в три стадии: инициирование олигомерных молекул и образование мономерных радикалов, рост цепи в форме макромолекулы, обрыв цепи. Сократить время

пленкообразования алкидных ЛКМ можно введением сиккативов (солей металлов переменной валентности) и нагревом [4, 5].

Влияние кислорода воздуха на скорость протекания реакции полимеризации позволяет предположить, что интенсифицировать процесс отверждения ЛКМ на основе алкидных смол можно методом аэроионизации.

Сегодня в производственных, общественных и бытовых помещениях часто в качестве источников отрицательных аэроионов, или активных форм кислорода (АФК), благоприятно влияющих на организм человека, используются аэроионизаторы воздуха. Биогенное влияние отрицательных аэроионов кислорода было доказано еще в 1918 г. русским ученым А.Л. Чижевским. Он разработал метод ионотерапии и сконструировал электроэффлювиальную люстру для получения отрицательных аэроионов путем создания электрических разрядов в воздухе. В основе его метода лежит физика электрического униполярного коронного разряда в резко неоднородном постоянном поле. При подаче на коронирующий электрод с малым радиусом кривизны отрицательного постоянного потенциала у его острия максимально возрастает напряженность электрического поля [6]. Молекула кислорода содержит два неспаренных электрона и поэтому является бирадикалом. Расположение неспаренных электронов на орбиталях обеспечивает относительную стабильность молекулы. Под воздействием электрического поля происходит поляризация нейтральных молекул в результате относительного смещения отрицательных и положительных центров. При определенной величине смещения ядро уже не может удерживать все электроны на орбиталях. Молекула теряет электрон и становится положительным ионом. Электрон устремляется к положительному электроду, а ион устремляется к коронирующему электроду, создавая в окружающем пространстве «свое» неоднородное поле, которое поляризует нейтральные молекулы воздуха и увлекает их к осадительным электродам. Ускоренные полем положительные ионы выбивают электроны из катода, а они в свою очередь вызывают ионизацию и возбуждение молекул кислорода в коронирующем слое. Таким образом, при достаточной величине напряженности на острие коронирующего электрода происходит «эффлювия» – «стекание» с него электронов, которые, сталкиваясь с молекулами кислорода воздуха, превращают их в отрицательные ионы, или АФК [6].

Возможна также диссоциация молекул на два атома, а потом ионизация атома с образованием атомарного иона. Атомарный кислород – сильнейший окислитель, способный вступать в самые разнообразные химические реакции.

Таким образом, аэроионизация представляет собой метод интенсификации отверждения лакокрасочных покрытий (ЛКП), образованных жидкими ЛКМ при воздействии на него АФК в электрическом поле.

Для проверки этой гипотезы был проведен ряд экспериментов, цель которых: сокращение времени отверждения ЛКП, образованных алкидными ЛКМ, под влиянием электрического поля, в котором образуются АФК [1].

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Определить степень влияния электрического поля на процесс испарения уайт-спирита, который является растворителем алкидных смол;
2. Провести планирование эксперимента для исследования влияния электроэффлювиального аэроионизатора на процесс отверждения ЛКП образованного лаком ПФ-157 на древесине;
3. Выполнить теоретическое обоснование результатов эксперимента.

При проведении экспериментов для интенсификации процессов испарения растворителя и отверждения ЛКМ применяли электроэффлювиальное аэроионизационное устройство (ЭЭАУ) (рис. 1). Кинетика испарения уайт-спирита исследовалась с использованием чашки Петри. В качестве подложки для ЛКП применялись сосновые образцы размером 170×70×20 мм. Для исследования интенсификации отверждения ЛКП, образованных алкидными лаками под действием ЭЭАУ, использовался лак ПФ-157 ТУ 6-27-35-91 фирмы «Ярославские краски». Для определения массовой доли летучих и нелетучих, твердых и пленкообразующих веществ применяли весы электронные ВЛТ-510-П ГОСТ 17537-72. Степень отверждения ЛКП определяли на приборе ВИ-4 ГОСТ 19007-73* «Метод определения времени и степени высыхания ЛКП».

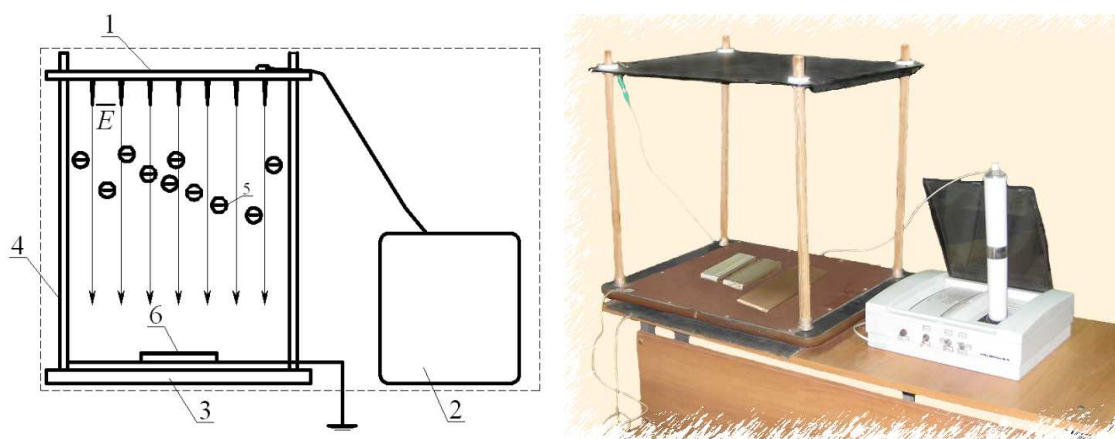


Рис. 1. Электроэффлювиальное аэроионизационное устройство (ЭЭАУ); слева – схема установки, справа – фото установки): 1 – электроэффлювиальный излучатель (ЭЭИ); 2 – электроэффлювиальный аэроионизационный блок с высоковольтным генератором (ВВГ); 3 – основание; 4 – стойки; 5 – активные формы кислорода (АФК); 6 – подложка с ЛКП

Для исследования кинетики испарения уайт-спирита под воздействием ЭЭАУ (напряжение на ВВГ 24 кВ, расстояние между поверхностью испаряемой жидкости и ЭЭИ в вертикальной плоскости 0,2 м) в сравнении с естественными условиями (при $t=20\pm 2$ °С, $W=65\pm\%$) провели

эксперимент. Уайт-спирит наливался в чашку Петри таким образом, чтобы дно было полностью скрыто и процесс испарения с поверхности происходил равномерно. С помощью электронных весов фиксировалась масса, и чашка помещалась под ЭЭИ. Далее масса чашки с растворителем фиксировалась каждые 10 мин. Второй эксперимент проводился аналогично, но без использования ЭЭАУ.

В результате исследования влияния электрического поля ЭЭАУ на процесс испарения уайт-спирита установлено, что с повышением напряженности поля скорость испарения увеличивается. Полученные экспериментальные данные представлены в виде графика (рис. 2).

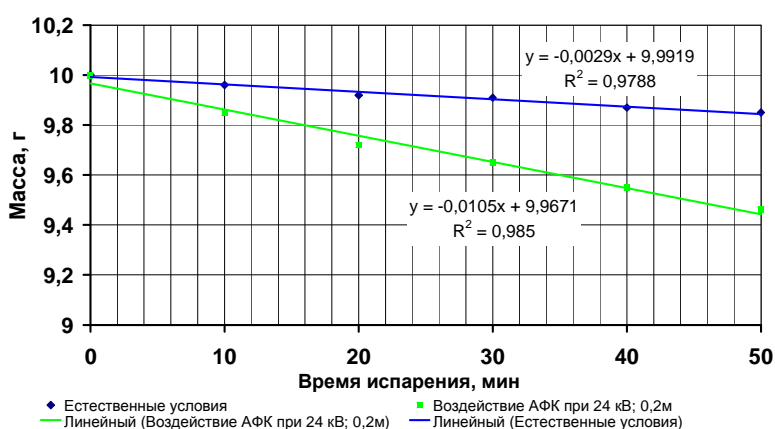


Рис. 2. Графики кинетики испарения растворителя

На основании полученных данных можно сделать вывод, что процесс испарения органического растворителя под действием ЭЭАУ протекает в 3,6 раза быстрее по сравнению с естественными условиями. Для исследования влияния аэроионизации на процесс отверждения пентафталевого лака ПФ-157 был спланирован и

проведен эксперимент в соответствии с планом полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа V^3 [3]. Натуральные значения управляющих факторов и диапазоны их варьирования представлены в таблице 1

Таблица 1 – Натуральные значения управляющих факторов и диапазоны их варьирования

Наименование факторов	Единицы измерения	Натуральные значения			Шаг варьирования
		-1	0	1	
Расстояние в горизонтальной плоскости, X_1	м	0	1,5	3	1,5
Расстояние в вертикальной плоскости, X_2	м	0,2	0,6	1	0,4
Напряжение на ВВГ X_3	кВ	12	18	24	6

Значения выходного параметра y_1 (времени отверждения ЛКП, ч), а также статистическая обработка экспериментальных данных производилась с вычислением

средних построчных значений выходного параметра \bar{y} и построчных дисперсий s^2 . Выполнена проверка по однородности наблюдений S^2 . Определены коэффициенты уравнения регрессии и после оценки их значимости построено уравнение регрессии в кодированных переменных: $Y = 19,04 + 2,625X_2 - 2,54X_3$

В результате оценки адекватности модели установлено, что гипотеза об адекватности представления поверхности отклика линейным уравнением регрессии не отвергается, т.к. выполняется условие $F_{ад} = 0,21 \leq 4,6$.

При оценке эффективности модели также условие $10,89 > 3,97$ выполняется, следовательно, полученное уравнение регрессии является статистически эффективным.

В результате анализа уравнения регрессии можно сделать выводы:

1. Коэффициент уравнения регрессии $b_0 = 19,04$ дает среднее значение выходной величины \bar{y} во всех опытах.
2. Абсолютные значения коэффициентов регрессии $b_2 = 2,626$ и $b_3 = 2,54$ незначительно отличаются друг от друга, следовательно, варьируемые факторы X_2 (расстояние между образцом и ионизатором в вертикальной плоскости) и X_3 (напряжение на ВВГ) оказывают сравнительно одинаковое влияние на процесс отверждения ЛКП.
3. Знаки коэффициентов уравнения регрессии b_2 и $-b_3$ позволяют сделать вывод о направлении влияния факторов X_2 и X_3 на выходной параметр Y . Между X_2 и Y – прямая пропорциональная зависимость (при увеличении расстояния между образцом и ионизатором в вертикальной плоскости время отверждения ЛКП увеличивается), а между X_3 и Y – обратная пропорциональная (при увеличении напряжения на ВВГ время отверждения ЛКП сокращается).
4. Уравнение регрессии адекватно описывает процесс и является статистически эффективным.

После перевода коэффициентов из кодированных значений в натуральные уравнение регрессии примет вид: $Y = 22,72 + 6,563X_2 - 0,432X_3$.

По полученному уравнению регрессии в пакете Mathcad построен график зависимости времени отверждения алкидного лака ПФ-157 от управляющих факторов (рис. 3).

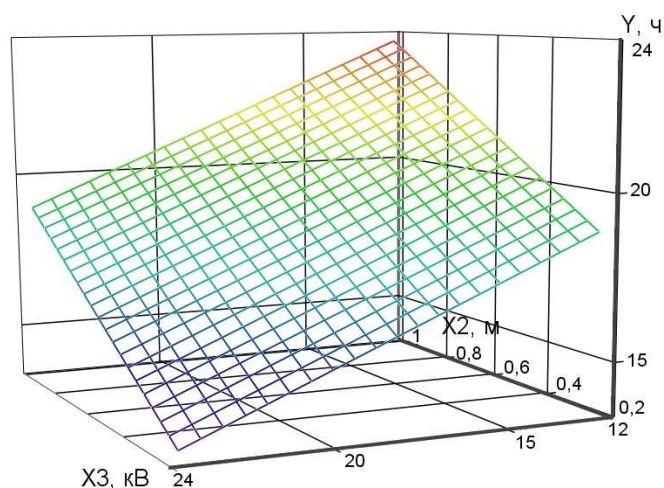


Рис. 3. График зависимости времени отверждения Y алкидного лака ПФ-157 от расстояния между образцом и ионизатором в вертикальной плоскости X_2 и напряжением на ВВГ X_3

Из графика видно, что при сокращении расстояния между образцом и ионизатором в вертикальной плоскости, и при увеличении напряжения на ВВГ время отверждения ЛКП, образованных алкидными ЛКМ, сокращается. Оптимальный результат достигается при расположении излучателя на расстоянии 0,2 м над образцом и при напряжении на ВВГ 24 кВ. В таких условиях время отверждения ЛКП сокращается в 2 раза и составляет 12 ч (в естественных условиях – 24 ч).

В результате проведенных экспериментальных исследований и теоретического изучения процесса отверждения ЛКП, образованного лаком ПФ-157, можно дать обоснование результатов. Модифицированную алкидную смолу можно рассматривать как сложную цепь, образованную из различных соединенных между собой элементарных звеньев (рис. 4).

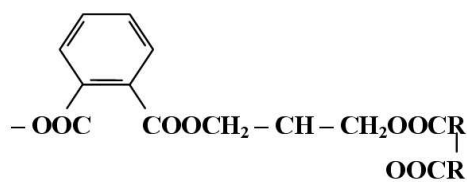


Рис. 4 Модифицированная алкидная смола

Здесь R обозначает радикал ненасыщенной кислоты, например, линолевой: $-(\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH}_3$. Отверждение подобной смолы происходит в результате реакции полимеризации. Способность к отверждению определяется количеством двойных связей в молекуле,

вводимых с остатками непредельных жирных кислот растительных масел. При температуре 20 °С хорошо отверждаются олигомеры, в молекулах которых содержится не менее 6-7 двойных связей. Таким образом, алкидные смолы фактически представляют собой высыхающие масла с повышенной функциональностью. В то же время они содержат свободные карбоксильные (-COOH) и гидроксильные группы (-OH) [7]. Присутствие этих групп позволяет предположить, что под воздействием внешнего поля молекула алкидной смолы способна поляризоваться, т.е. гидроксильные и карбоксильные группы

поворачиваются по направлению линий напряженности поля к древесной подложке, а остальные части молекулы – в противоположную сторону. Таким образом, электрическое поле помогает длинным олигомерным молекулам смолы упорядочиться и развернуться двойными связями в сторону АФК.

Предполагаемый механизм влияния электрического поля на молекулу алкидной смолы схематично изображен на рис. 4.

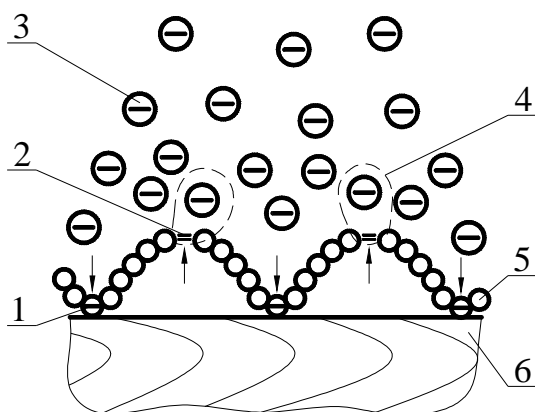


Рис. 4. Гипотетический механизм влияния электрического поля на молекулу алкидной смолы
 1 – полярные группы –ОН и –СООН; 2 – двойные связи в молекуле алкидной смолы; 3 – АФК; 4 – сближение АФК и участков молекулы алкидной смолы с двойными связями; 5 – структурные элементы молекулы алкидной смолы; 6 – древесная подложка

столкновения двух растущих радикалов и их взаимном насыщении.

На механизм инициирования в жидкой фазе (растворе) значительное влияние оказывает и растворитель. Образующиеся радикалы, окруженные молекулами растворителя, находятся как бы в «клетке», препятствующей удалению их друг от друга. До выхода из клетки молекулы соударяются между собой, вступая в обратную реакцию рекомбинации, что значительно тормозит процесс отверждения ЛКМ [5]. Таким образом, АФК являются инициаторами реакции радикальной полимеризации, протекающей при отверждении ЛКП на основе алкидных смол. С другой стороны, при интенсификации процесса отверждения аэроионизацией, очевидно влияние электрического поля:

- во-первых, оно упорядочивает олигомерные молекулы алкидных смол;
- во-вторых, активировывает молекулы кислорода, превращая их из стабильных бирадикалов в активные заряженные частицы (рис. 5);

После сближения АФК с реакционными центрами молекулы алкидной смолы начинается процесс присоединения кислорода: происходит разрыв π -связи углерод – углерод и переход ее в σ -связь, при этом на концевом атоме появляется неподеленный электрон (образуется свободный радикал) [5]. Образовавшийся радикал присоединяется к другой молекуле алкидной смолы в месте имеющейся у нее двойной связи с образованием нового радикала и т. д. Таким образом, происходит рост цепи. Обрыв цепи может произойти в результате

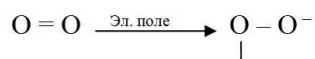


Рис. 5. Гипотетическая модель влияния электрического поля на молекулу кислорода

- в-третьих, сокращает время испарения растворителя, исключая его отрицательное влияние на процесс отверждения.

По результатам ранее проведенных исследований свойств ЛКП, образованных алкидными смолами, установлено, что воздействием АФК можно повысить твердость пленки и прочность при ударе; показатели эластичности и адгезии не изменяются [2].

Таким образом, аэроионизация является новым, перспективным методом интенсификации, позволяющим ускорить процесс отверждения ЛКП, образованных алкидными ЛКМ при относительно невысокой мощности энергопотребления.

Список литературы

1. Газеев М.В. Эффективность применения аэроионификации для интенсификации отверждения лакокрасочных покрытий, образованных алкидными лаками на древесине/ М.В. Газеев, Е.В. Тихонова // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды III международного евразийского симпозиума / Под научной ред. В.Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2008. – С. 37-41.
2. Жданова И.В. Влияние аэроионификации на процесс формирования защитно-декоративных покрытий на древесине водными акриловыми лакокрасочными материалами / И.В. Жданова, М.В. Газеев, Н.С. Васянина, Н.Ф. Жданов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. - № 19. – С.56-58.
3. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства: Учеб. пособие / Р.З. Пен. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1982. – 192 с.
4. Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: Учебник для вузов / Б.М. Рыбин. – М.: МГУЛ, 2003. – 568 с.
5. Сорокин М.Ф. Химия и технология пленкообразующих веществ: Учебник для вузов / М.Ф. Сорокин, З.А. Кочнова, Л.Г. Шодэ. – М.: Химия, 1989. – 480 с.
6. Скипетров В.П. Феномен живого воздуха: Монография / В.П. Скипетров, Н.Н. Беспалов, А.В. Зорькина. – Саранск: СВМО, 2003. – 93 с.
7. Шампетье Г. Химия лаков, красок и пигментов / Г. Шампетье, Г. Рабатэ. – М.: ГХИ, 1960. – 584 с.

Рецензенты:

Уласовец В.Г., д.т.н., профессор, профессор кафедры механической обработки древесины
ФГБОУ ВПО Уральского государственного лесотехнического университета,
г.Екатеринбург.

Гороховский А.Г., д.т.н., профессор по кафедре древесиноведения и специальной
обработки древесины, генеральный директор ОАО «УралНИИПДрев», г. Екатеринбург.