

На правах рукописи



ТАНИЧЕВ Максим Владимирович

**РУЛОННЫЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ФЛИЗЕЛИНОВОЙ
ОСНОВЕ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ПЛАЗМОЙ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Иваново – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет».

Научный руководитель: академик РААСН,
доктор технических наук, профессор
Федосов Сергей Викторович,

Официальные оппоненты: **Рыбкин Владимир Владимирович,**
доктор химических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»,
заведующий кафедрой «Технология приборов и
материалов электронной техники»

Фокин Георгий Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»,
профессор кафедры «Физика и химия»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Защита состоится 19 ноября 2015 года в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Д 212.355.01, на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20, ауд. Г-204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
<http://ivgpu.com/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Заянчуковская Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Используемые в настоящее время рулонные стеновые материалы (обои) требуют применения при их монтаже специальных клеевых составов, содержащих различные дорогостоящие компоненты (в первую очередь метилцеллюлозу) для повышения прочности и надёжности приклеивания. Поэтому увеличение адгезионной способности при взаимодействии с клеем и улучшение гидрофильных свойств материалов помогло бы вернуться к использованию дешёвых клеев, не ухудшая адгезионных характеристик этих покрытий. Также при отделке внутренних поверхностей помещений часто стали использоваться обои без рисунка, предназначенные под последующую окраску, преимущественно на флизелиновой основе. Для реализации такого способа отделки важную роль играет хорошая окрашиваемость рулонных стеновых материалов.

В ряде отраслей промышленности (производство полимерных плёнок, текстильных материалов, пластмасс, фибробетонов и др.) для решения аналогичных задач применяется низкотемпературная плазма тлеющего разряда. Известно, что плазменная обработка активирует поверхность полимерных материалов, в результате чего появляется возможность улучшать эксплуатационные свойства волокон, не ухудшая их объёмных характеристик, что позволяет сохранить прочностные и другие полезные свойства материала. Однако в производстве стеновых рулонных материалов тлеющий разряд не применялся. По сравнению с другими способами модификации активация полимеров низкотемпературной плазмой более эффективна при сопоставимых энергозатратах. Так, по сравнению с методами химической модификации полимеров процесс идёт с минимальными затратами химических реактивов, растворителей, энергии и рабочей силы. Поэтому низкотемпературную плазму целесообразно использовать для модификации свойств рулонных стеновых материалов, и указанное определяет актуальность выбранной тематики исследования.

Работа выполнена в рамках реализации проектной части государственного задания РФ в сфере научной деятельности контракт № 11.1798.2014/К; в соответствии с планом НИР РААСН (2007 – 2009 гг.) и базовой тематикой НИР ИВГПУ.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой для проведения исследования стали работы Б.Л. Горберга, А.М. Кутепова, А.Г. Захарова, А.И. Максимова, Л.В. Шарниной, Б.Н. Мельникова, Л.С. Полаак, И.Б. Блиничевой, В.В. Рыбкина, С.А. Крапивиной, В.С. Данилина, В.Ю. Киреева, где освещены вопросы плазменного модифицирования полимерных материалов. В исследованиях таких учёных, как С.В. Федосов, Г.А. Фокин, М.В. Акулова, В.К. Елин и др., рассматриваются различные способы получения эффективных строительных материалов общего и специального назначения с использованием принципов наложения физических полей. В данной работе исследовано применение плазменной активации для модифицирования свойств рулонных стеновых материалов.

**Научный консультант
советник РААСН, д.т.н., проф. М.В. Акулова**

Цель работы заключается в улучшении гидрофильных и адгезионных характеристик рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе с помощью тлеющего разряда без повышения себестоимости их производства. Это позволит придать указанным материалам улучшенные технологические и эксплуатационные свойства: обеспечить более надёжную фиксацию их на оклеиваемых поверхностях при монтаже, повысить прочность нанесения декоративного слоя при производстве, улучшить окрашиваемость, уменьшить затраты на оклеивание внутренних поверхностей помещений. При этом должны сохраниться прочностные и другие основные объёмные свойства материала.

Объектом исследования в работе являлись рулонные стеновые материалы на флизелиновой основе.

Предметом исследования являлись закономерности изменения технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов в зависимости от параметров их обработки в низкотемпературной плазме тлеющего разряда.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи исследования**:

- анализ существующих способов улучшения адгезионных свойств и окрашиваемости рулонных стеновых материалов;
- анализ известных эффектов воздействия тлеющего разряда на некоторые полимерные материалы и выявление возможности применения данного способа модифицирования свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе;
- исследование влияния тлеющего разряда на гидрофильные, адгезионные и декоративные свойства рулонных стеновых материалов;
- исследование влияния тлеющего разряда на прочностные свойства рулонных стеновых материалов вследствие их возможной деструкции;
- исследование сохранности полученных эффектов во времени;
- разработка рациональных режимов плазменной активации рулонных стеновых материалов, выявление наиболее значимых для получения требуемого эффекта параметров тлеющего разряда;
- разработка научно-обоснованных рекомендаций по технологии производства рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе с улучшенными свойствами, обработанных в плазме тлеющего разряда;
- обоснование технико-экономической эффективности применения плазменной активации рулонных стеновых материалов при их производстве.

Научная новизна работы:

- впервые предложен способ плазменной активации для модифицирования технологических и эксплуатационных свойств (гидрофильных, адгезионных характеристик, окрашиваемости) рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе;
- подтверждено, что закономерности изменения гидрофильных, адгезионных и прочностных свойств в зависимости от продолжительности и интенсивности плазменной обработки, выявленные для текстильных и других волокни-

стных материалов, с достаточной достоверностью могут быть использованы применительно к рулонным стеновым материалам на флизелиновой основе;

- применён метод дисперсионного анализа при выявлении степени значимости каждого из параметров разряда, влияющих на изменение гидрофильных свойств флизелина. Определены рациональные режимы обработки материала в тлеющем разряде.

На основании выявленных фактов предложены рациональные методы использования низкотемпературной плазмы тлеющего разряда в производстве рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании метода улучшения технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе с помощью низкотемпературной плазмы тлеющего разряда. Результаты исследования позволяют развивать теорию адгезионного взаимодействия материала, подвергнутого плазменной обработке, с клеевыми составами при монтаже на оклеиваемую поверхность и с пигментными составами при окрашивании, на основании чего могут быть выработаны практические рекомендации по совершенствованию технологии обоевого производства.

Практическая значимость работы состоит в том, что получены рулонные стеновые материалы с улучшенными свойствами путём их модифицирования в низкотемпературной плазме тлеющего разряда.

При использовании данной технологии улучшена фиксация декоративного слоя на основе, получена окраска с повышенной устойчивостью к трению, благодаря чему на производстве снижено число случаев отслоения рисунка от основы и непрокраса изделий.

Снижена себестоимость отделки внутренних поверхностей помещений обоями за счёт применения более дешёвых клеевых составов.

Получена возможность расширения ассортимента рулонных стеновых материалов (тяжёлых обоев) без разработки новых клеевых составов.

Результаты исследования использованы в ООО «Эрисманн» (г. Воскресенск Московской области) при разработке технических решений по улучшению технологических и эксплуатационных характеристик различных типов обоев на флизелиновой основе с помощью плазменной активации, направленных на повышение качества выпускаемой продукции без увеличения себестоимости производства.

Результаты диссертационного исследования используются также в учебном процессе при подготовке магистров на кафедре «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы» Ивановского государственного политехнического университета.

Использование результатов исследования подтверждено актами внедрения.

Методология и методы исследования включали: изучение и аналитическое обобщение известных научных и технических результатов по рассматриваемой теме, экспериментальные исследования, обработку экспериментальных данных методами математической статистики.

На защиту выносятся следующие положения:

- результаты исследования способа улучшения технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе, основанного на модифицировании низкотемпературной плазмой тлеющего разряда;
- результаты экспериментальных исследований по влиянию параметров тлеющего разряда на гидрофильные свойства ремонтного флизелина;
- результаты исследований экспериментальных зависимостей гидрофильных свойств модифицированного тлеющим разрядом ремонтного флизелина от времени, прошедшего с момента обработки;
- результаты исследований по влиянию тлеющего разряда на изменение адгезионных и прочностных свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе;
- рекомендации по рациональным режимам обработки рулонных стеновых материалов в плазме тлеющего разряда.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием стандартных методов, методов математического планирования эксперимента и статистической оценкой результатов.

Апробация результатов работы. Основные аспекты данной работы докладывались и обсуждались на ряде конференций, семинаров, круглых столов:

- «Строительство – формирование среды жизнедеятельности»: шестнадцатая, семнадцатая Международные межвузовские научно-практические конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных, – Москва: МГСУ, 2013, 2014;
- шестьдесят пятая и шестьдесят шестая всероссийские научно-технические конференции студентов, аспирантов и магистрантов с международным участием, – Ярославль: ЯГТУ, 2012, 2013;
- XV международный научно-практический семинар «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SmarTex-2012)», – Иваново: ИГТА, 2012;
- «Разработка машин и агрегатов, исследование тепломассообменных процессов в технологиях производства и эксплуатации строительных материалов и изделий»: круглый стол, посвящённый научной школе академика РААСН, д.т.н., профессора С.В. Федосова, – Иваново: ИВГПУ, 2013;
- Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVII Бенардосовские чтения), – Иваново: ИГЭУ, 2013;
- «Информационная среда вуза»: XVIII, XIX, XX Международные научно-технические конференции, – Иваново: ИГАСУ, 2011, 2012; ИВГПУ, 2013;
- межвузовская научно-техническая конференция с международным участием «ПОИСК-2014», – Иваново: ИВГПУ, 2014.

Публикации. По теме диссертации было подготовлено и опубликовано 17 статей и тезисов докладов, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных в перечне ВАК.

Структура и объём работы. Текст диссертации состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, содержащего 138 наименований, и приложений. Материал изложен на 146 страницах, включающих 41 рисунок, 29 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, охарактеризованы научная новизна, практическая значимость, сформулированы цель и задачи работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится обзор видов рулонных стеновых материалов (преимущественно обоев) и способов их монтажа, видов клеевых составов и предъявляемых к ним требований, возможности увеличения адгезионной способности рулонных стеновых материалов при их взаимодействии с клеем и оклеиваемой поверхностью. Проанализированы исследования отечественных и зарубежных учёных в области модифицирования поверхностных свойств полимерных материалов, касающиеся применения для данных целей частиц высоких энергий (в частности тлеющего разряда). Анализ литературных источников показал, что для изменения гидрофильных свойств и увеличения адгезии различных рулонных стеновых материалов к клеевым составам тлеющий разряд не применялся. Установлены основные преимущества плазмохимического способа обработки, заключающиеся в модификации только поверхностного слоя материала без изменения его объёмных свойств. Показано, что взаимодействие плазмы неполимеризующих газов, например, с полимерами представляет собой процесс травления. Рассмотрены специфические и неспецифические эффекты плазменного воздействия.

Рассмотрены примеры технологического применения плазменной активации в текстильной, химической, целлюлозно-бумажной промышленности, производстве строительных материалов. Показано, что плазменное модифицирование приводит к улучшению гидрофильных, адгезионных, противозагрязняемых свойств текстильных и бумажных материалов; способствует повышению износостойкости резинотехнических изделий; позволяет получить фибробетоны с повышенной адгезией армирующих волокон к строительной матрице. Проведён анализ промышленных и лабораторных установок, разработанных и используемых для модифицирования материалов в плазме тлеющего разряда.

Выдвинута научная гипотеза, что использование низкотемпературной плазмы тлеющего разряда позволит модифицировать поверхностные свойства рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе за счёт травления поверхности, благодаря чему станет возможно улучшение ряда технологических и эксплуатационных характеристик данных материалов (гидрофильных, адгезионных свойств, окрашиваемости). Сформулированы основные требования к плазме как средству модификации рулонных материалов. Поставлена цель работы, определены задачи диссертационного исследования.

Во второй главе произведён выбор объектов исследования: ремонтный флизелин (артикул 02065, плотность 65г/м², изготовитель ООО «Арт») в качестве основного; для ряда исследований использовались виниловые обои под

покраску на флизелиновой основе с нанесённым на неё рельефным слоем ПВХ-пасты по ГОСТ 6810-2002 (тип 2, профильные, марка М-2, артикул 2538-1, изготовитель ООО «Эрисманн»). Приведены основные характеристики применяемых в работе материалов.

Дано описание конструкции и принципа работы плазмохимического реактора. На рисунке 1 представлена схема лабораторной установки циклического действия, созданной на кафедре технологии приборов и материалов электронной техники (ТПиМЭТ) Ивановского государственного химико-технологического университета, предназначенной для плазменной активации рулонных материалов. Питание электрического разряда производится от сети переменного тока промышленной частоты напряжением 220 В. В электрическую цепь последовательно включены лабораторный автотрансформатор, повышающий трансформатор и диодный мост, за счёт чего на электроды подаётся постоянный (выпрямленный) регулируемый ток высокого напряжения.

Определены и описаны методы исследования гидрофильных свойств рулонных стеновых материалов (смачиваемости, водопоглощения, капиллярной впитываемости), прочности сцепления (адгезии) рулонного материала с оклеиваемой поверхностью, прочностных характеристик.

В процессе эксперимента варьируемыми параметрами были время обработки материала, ток разряда и давление плазмообразующего газа. В соответствии с поставленной задачей необходимо провести исследование влияния на гидрофильные свойства флизелина (смачиваемость, водопоглощение, капиллярную впитываемость) каждого из изменяемых параметров разряда при постоянных значениях двух других параметров.

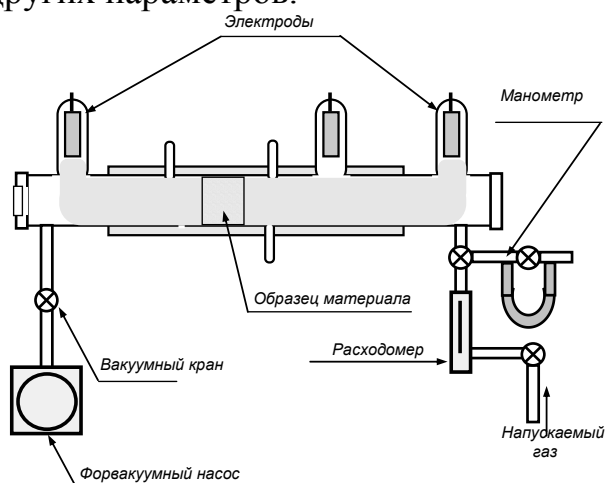


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки тлеющего разряда

Для поиска рациональных режимов плазменной активации рулонных стеновых материалов запланировано проведение трёхфакторного эксперимента, где будут изменяться время обработки, давление и ток разряда одновременно. С целью сокращения числа опытов используется дробный факторный эксперимент по схеме латинского квадрата.

В третьей главе исследуется влияние параметров тлеющего разряда на гидрофильные свойства рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе, а также на адгезионные и прочностные свойства. Режимы обработки мате-

риала применялись следующие: время активации – 15 – 120 с, ток разряда постоянный в интервале 20 – 100 мА, давление плазмообразующего газа – 50 – 200 Па. В данной главе при исследовании влияния тлеющего разряда на каждую из гидрофильных характеристик ремонтного флизелина изменялся один из параметров разряда при фиксированных значениях двух других.

Анализ полученных результатов показал, что увеличение продолжительности и интенсивности обработки в тлеющем разряде приводит к существенному улучшению гидрофильных свойств ремонтного флизелина (таблицы 1, 2). Так, если необработанные образцы несмачиваемы, то уже малая (15-секундная) обработка приводит к существенному снижению времени смачиваемости, росту водопоглощения и капиллярной впитываемости. Некоторое насыщение достигается при времени обработки порядка 90 с, при котором изучаемые величины выходят на стационарные значения. При этом время смачиваемости уменьшается в 3 раза по сравнению со смачиваемостью образцов, подвергнутых 15-секундной обработке (таблица 1). Данные закономерности можно объяснить тем, что в процессе обработки структура поверхности изменяется, разрыхляется, что и приводит к изменению смачиваемости.

Таблица 1

Изменение гидрофильных характеристик ремонтного флизелина в зависимости от времени обработки в тлеющем разряде (ток – 100 мА, давление плазмообразующего газа (воздух) – 100 Па)

Время обработки, с	Смачиваемость, с	Водопоглощение, %	Капиллярная впитываемость, мм:		
			за 5 мин	за 7 мин	за 10 мин
	>720	88,6	0	0	0
15	0,92	168,4	65	73	82
30	0,56	164,1	71	80	85
45	0,45	176,0	72	81	85
60	0,36	165,6	71	83	85
90	0,28	174,7	73	83	88
120	0,33	153,1	75	83	88

Таблица 2

Изменение гидрофильных характеристик флизелина в зависимости от тока разряда (время обработки – 90 с, давление плазмообразующего газа (воздух) – 100 Па)

Ток разряда, мА	Смачиваемость, с	Водопоглощение, %	Капиллярная впитываемость, мм:		
			за 5 мин	за 7 мин	за 10 мин
0	>720	88,6	0	0	0
20	0,87	173,7	66	73	84
40	0,49	184,0	65	73	83
80	0,38	179,2	67	75	85
100	0,28	174,7	73	83	88

Найдено также (таблица 2), что при увеличении тока разряда с 20 до 100 мА время смачиваемости имеет устойчивую тенденцию к снижению (в 3,3 раза); Водопоглощение обработанных в плазме образцов в среднем в 2 раза выше, чем для необработанных, и в зависимости от тока разряда существенно не изменяется. Выявленная закономерность может быть объяснена тем, что с ростом тока разряда растёт и концентрация заряженных частиц, а следовательно, травление поверхности обрабатываемого материала происходит более интенсивно.

При исследовании влияния давления плазмообразующего газа (воздуха) в пределах 50 – 200 Па на гидрофильные свойства флизелина получено, что время смачиваемости образцов выходит на стационарные значения порядка 0,4 – 0,6 с, отклонения от которых не являются существенными; водопоглощение и капиллярная впитываемость при этом увеличиваются в 1,1 – 1,2 раза. Таким образом, изменение давления плазмообразующего газа в исследуемых интервалах не оказывает существенного влияния на исследуемые характеристики.

При исследовании изменения во времени гидрофильных характеристик ремонтного флизелина, обработанного в плазме, установлено, что гидрофильные свойства, приобретённые материалом в результате его плазменной активации, с течением времени несколько ухудшаются, но остаются существенно лучше, чем для необработанных образцов (рисунок 2). Так, время смачиваемости по прошествии 10 суток возрастает в 1,1 – 1,7 раза, а через 110 суток в 1,9 – 2,8 раза по сравнению с образцами, не подвергавшимися хранению, в то время как необработанные образцы несмачиваемы. Таким образом, в силу устойчивости получаемого эффекта во времени применение тлеющего разряда для модифицирования свойств рулонных стеновых материалов оправданно и технологически реализуемо.

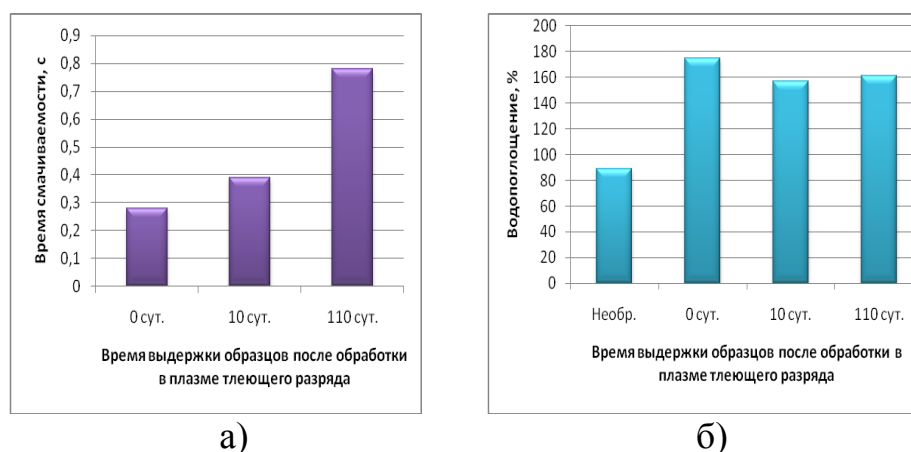


Рисунок 2. Изменение гидрофильных свойств флизелина во времени после обработки в тлеющем разряде:
а) смачиваемости, б) водопоглощения

В работе изучено влияние плазменной обработки на адгезионные свойства рулонных стеновых материалов (ремонтного флизелина и виниловых обоев под покраску на флизелиновой основе) к поверхности дерева и бетона при

взаимодействии с различными клеевыми составами («QUELYD» и «Мастер»). Рулонный материал подвергался обработке в тлеющем разряде в течение 90 с, ток разряда при этом составлял 100 мА, давление плазмообразующего газа (воздуха) – 100 Па. Также было проведено исследование сохранения полученного эффекта во времени: обработанные в плазме образцы флизелина наклеивались на поверхность бетона через 21 сутки после обработки. Отрыв всех образцов производился через 7 суток после их наклеивания.

Экспериментальные данные (таблица 3) показали, что для обработанных в тлеющем разряде и наклеенных различными клеями на деревянную либо бетонную поверхность образцов сила отрыва в 1,2 – 2,7 раза выше, чем для необработанного материала. Улучшенные адгезионные свойства частично сохраняются и во времени (рисунок 3). Так для образцов флизелина, наклеенных через 21 сутки после обработки в плазме, сила отрыва от поверхности бетона составила 75% (с клеем «QUELYD») и 42% (с клеем «Мастер») от значения, полученного при испытании образцов, наклеенных непосредственно после обработки. Это составляет величину, на 10% большую, чем для образцов, не подвергавшихся воздействию тлеющего разряда.

Таблица 3

Изменение силы отрыва рулонных стеновых материалов от оклеенной поверхности под действием тлеющего разряда

Вид материала	Оклеиваемая поверхность	Сила отрыва, Н, с клеем для образцов:			
		«QUELYD»		«Мастер»	
		необраб.	обраб.	необраб.	обраб.
Флизелин	Бетон	6,0	8,5	3,0	8,1
	Дерево	3,4	7,3	2,8	4,8
Виниловые обои	Бетон	3,5	6,9	2,0	2,8
	Дерево	7,1	8,5	4,0	5,6

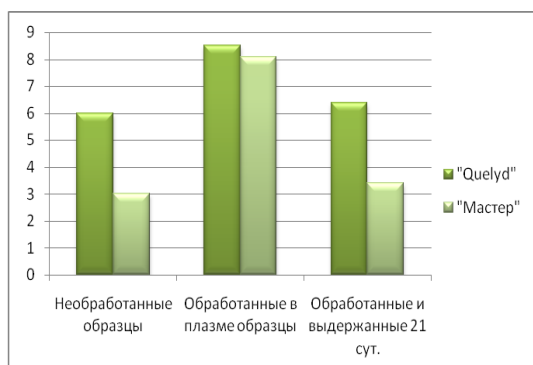


Рисунок 3. Изменение во времени силы отрыва образцов флизелина, обработанных в тлеющем разряде, от бетонной поверхности

Исследование влияния плазменной активации на прочностные свойства рулонных стеновых материалов показало, что прочность на разрыв обработанных в плазме образцов флизелина составляет 82% от первоначальной; для виниловых обоев под покраску этот показатель равен 90% (рисунок 4). Такая потеря прочности не приведёт к заметному ухудшению объёмных свойств рулонных стеновых материалов. Следовательно, применение тлеющего разряда для модифицирования технологических и эксплуатационных характеристик этих материалов является оправданным.

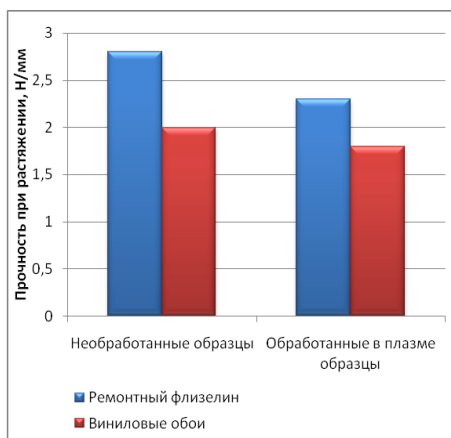


Рис. 4. Изменение разрушающего усилия и прочности при растяжении в результате обработки рулонных стеновых материалов в тлеющем разряде (время обработки – 120 с, ток разряда – 100 мА, давление плазмообразующего газа (воздуха) – 100 Па)

Также показана возможность придания рулонным стеновым материалам гидрофобных свойств при их обработке в плазме метана. Если при обработке в кислородсодержащей плазме (воздух) наблюдается гидрофилизация поверхности материала, обусловленная её травлением, то при воздействии плазмы метана происходит осаждение гидрофобного органического слоя состава C_xH_y , который растёт с увеличением времени обработки. Но при малых временах обработки (до 60 с) и давлениях (до 100 Па) параллельно с протеканием реакции осаждения происходит и гидрофилизация поверхности флизелина вследствие травления. Осаждаемый органический слой, вероятно, не является сплошным, поэтому не препятствует проникновению активных частиц вглубь материала, благодаря чему происходит увеличение гидрофильных характеристик флизелина. Рост продолжительности (до 300 с) и интенсивности обработки (давление до 300 Па) приводит к увеличению объёмной доли осаждаемого слоя, поэтому эффект травления поверхности перекрывается эффектом образования сплошного гидрофобного покрытия.

В четвёртой главе производится дисперсионный анализ изменения гидрофильных свойств ремонтного флизелина в зависимости от параметров его обработки в тлеющем разряде по результатам трёхфакторного эксперимента. Планирование эксперимента использовалось для исследования влияния на капиллярную впитываемость, водопоглощение и смачиваемость флизелина трёх факторов – тока разряда I на уровнях 20, 40, 80 и 100 мА, давления плазмообразующего газа (воздуха) P на уровнях 50, 100, 150 и 200 Па и времени обработки t на уровнях 15, 45, 90 и 120 с. Для каждого из исследуемых эффектов составлялся «латинский квадрат» 3×3 (таблица 4), для которого проводился дисперсионный анализ. Значимость линейных эффектов проверялась по критерию Фишера для уровня значимости $p=0,05$ и чисел степеней свободы сравниваемых дисперсий $f_1=3$ и $f_2=6$: $F_{0,95}(3, 6)=4,8$. Гипотеза о значимости влияния фактора (I , P , t) принималась, если дисперсионные соотношения удовлетворяют выражению $\frac{s^2}{s_{ош}^2} > F_{0,95}(3,6)$, где s^2 – дисперсия по фактору, $s_{ош}^2$ – дисперсия, обусловленная ошибкой опыта.

Таблица 4

План эксперимента				
Ток разряда, мА	Время обработки, с, при давлении плазмообразующего газа			
	50 Па	100 Па	150 Па	200 Па
20	15	45	90	120
40	45	90	120	15
80	90	120	15	45
100	120	15	45	90

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что рост тока разряда вкупе с ростом времени обработки, также как и рост давления в совокупности с увеличением времени экспозиции образцов в плазме, приводит к усилению наблюдаемых эффектов, а именно к увеличению капиллярной впитываемости и водопоглощения и снижению времени смачиваемости. Результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных сведены в таблице 5.

Таблица 5

Сводная таблица дисперсионного анализа			
Источник дисперсии	Число степеней свободы	Дисперсия по i -му фактору, s^2	Дисперсионное соотношение для i -го фактора, $s^2/s_{ош}$
Капиллярная впитываемость			
Ток разряда	3	45,40	1,33
Давление	3	96,23	2,82
Время обработки	3	216,23	6,33
Ошибка	6	34,15	
Водопоглощение			
Ток разряда	3	82,72	1,64
Давление	3	25,89	0,51
Время обработки	3	646,36	12,85
Ошибка	6	50,31	
Время смачиваемости			
Ток разряда	3	1,86	0,94
Давление	3	1,97	1,00
Время обработки	3	4,94	2,50
Ошибка	6	1,97	

Из сравнения полученных дисперсионных соотношений с критерием Фишера для уровня значимости $p=0,05$, равного 4,8, вытекает, что для всех трёх исследуемых эффектов факторы влияния тока разряда и давления следует признать незначимыми. Для капиллярной впитываемости и водопоглощения значимым является время обработки, а для времени смачиваемости и время обработки не является значимым фактором. Расположение средних значений капил-

лярной впитываемости и водопоглощения в порядке возрастания совпадает с расположением времени обработки в порядке его увеличения от 15 до 120 с. Ранжирование эффектов фактора t с помощью множественного рангового критерия Дункана для оценки значимости различия между временами обработки приведено в таблице 6.

Проведённое исследование показало, что при плазменной обработке флизелина основным параметром, отвечающим за достижение максимального эффекта, является время контакта плазмы с материалом. Обобщая результаты дисперсионного анализа, а также главы 3, можно сделать вывод, что для данной установки тлеющего разряда целесообразно время обработки образцов назначать равным 90 с; ток разряда с целью снижения энергозатрат следует назначать минимальным в исследуемом интервале – 20 мА. Поскольку обработка флизелина проводилась в воздушной плазме тлеющего разряда, то нет необходимости уменьшения расхода плазмообразующего газа из соображений снижения затрат на материалы и реагенты. Следовательно, давление плазмообразующего газа может быть принято в исследуемом интервале 50 – 200 Па (воздух).

Таблица 6

Значимость различия между максимальным и промежуточными временами обработки

Разность величины эффекта при временах обработки $t=120$ с и $t=15, 45, 90$ с	Значимые ранги критерия Дункана для $p=0,05$ и 6 степеней свободы, r	Ранги, приведённые на нормированную ошибку, $r\sqrt{\frac{s_{ош}}{4}}$	Значимость различия, да/нет
Капиллярная впитываемость			
16,75	3,64	10,64	да
4,25	3,58	10,46	нет
3,25	3,46	10,11	нет
Водопоглощение			
29,58	3,64	12,91	да
22,835	3,58	12,70	да
15,125	3,46	12,27	да

Также в данной главе проводилось исследование влияния плазменной обработки (время обработки – 90 с, ток разряда – 100 мА, давление плазмообразующего газа – 100 Па (воздух)) на окрашиваемость флизелина и устойчивость окраски к истирающему воздействию. Интенсивность окрашивания флизелина латексной краской, изготовленной согласно ТУ 2316-086-51218143-2011, оценивалась спектрофотометрически по коэффициенту отражения и цветовым характеристикам – насыщенности (S), светлоте (L), цветовому тону (H), определяемым по отсканированным изображениям в палитре цветов RGB образцов исследуемых материалов. Качество полученных окрасок оценивали по изменению цветовых характеристик после воздействия истирающей нагрузки.

Проведённые испытания показали, что окрашенные образцы ремонтного флизелина – исходные и модифицированные плазмохимической обработкой, выдержали испытание истирающей нагрузкой (20 циклов на аппарате ИКБ-4). Установлено, что обработка низкотемпературной плазмой тлеющего разряда позволяет повысить устойчивость окраски к истирающим воздействиям до 30 циклов. Получено, что интенсивность окрашивания обработанных в плазме образцов выше, чем необработанных. Данная закономерность сохраняется как для исходных образцов (интенсивность их окрашивания, выражаемая насыщенностью S , после обработки в плазме на 5 – 11% выше, чем необработанных), так и подвергнутых истирающему воздействию (обработка в тлеющем разряде приводит к росту интенсивности окрашивания на 8 – 14%). При этом разность в последних показателях для не обработанных в плазме образцов выше, чем для плазменно-модифицированных, что дополнительно подтверждает факт повышения устойчивости окраски к трению и благоприятного воздействия модифицирующей обработки. Наблюдаемое повышение прочности окрасок связано с усиленной адгезией пигментного состава и улучшенным закреплением пигмента на материале, подвергнутом воздействию тлеющего разряда.

Обобщая приведённые данные, можно заключить, что за счёт увеличения интенсивности окрашивания в результате плазменной обработки будет достигнуто снижение количества непрокрасов поверхности и ускорение нанесения красильной композиции; повышенная устойчивость окраски к истиранию обеспечит увеличение срока эксплуатации изделий. Указанные эффекты применимы для рулонных стеновых материалов, производимых как в виде готовых обоев с декоративной отделкой поверхности, так и в виде полуфабрикатов под последующую окраску после монтажа на оклеиваемую поверхность.

Показана возможность нанесения тонких плёнок металлов (меди, железа и никеля) на поверхность виниловых обоев с использованием трёхэлектродной системы распыления. Распыление осуществлялось в атмосфере аргона, а также Ar/O_2 в соотношениях 80%:20% и 50%:50%. Время распыления составляло 1, 5 и 10 мин для каждого металла. При проведении визуальной оценки полученных образцов найдено, что оптимальным является время распыления, равное 5 мин.

Предложены рекомендации по технологии производства рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе с учётом их плазменной активации. Операцию по плазмохимической обработке следует выполнять непосредственно на основе без нанесённых на неё декоративных слоёв. Такая последовательность операций позволит использовать улучшение адгезионных характеристик флизелина под действием тлеющего разряда для более надёжной фиксации последующих слоёв (ПВХ-пасты, красильной композиции) на основе. Целесообразно использовать плазмохимический реактор непрерывного действия. Рассмотрена возможность применения в данном процессе существующих моделей промышленных плазмохимических реакторов.

Определены экономические показатели рулонных стеновых материалов с улучшенными свойствами. Показано, что применение плазменной обработки флизелина приводит к снижению брака в производстве (отслоения винилового покрытия, непропечатки рисунка). С учётом затрат на обработку материала в

низкотемпературной плазме тлеющего разряда получено снижение себестоимости конечной продукции на 0,3 – 0,7% в зависимости от вида обоев. Таким образом, достигнуто улучшение технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе без увеличения затрат на их производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения диссертационного исследования получены следующие выводы и результаты:

1. Проанализированы опубликованные в литературе данные о влиянии тлеющего разряда на химические и физические свойства волокнистых материалов и использование плазменного модифицирования их свойств в ряде отраслей промышленности, на основании чего сделан вывод о целесообразности применения тлеющего разряда в производстве рулонных стеновых материалов. Предложено общее направление улучшения технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов за счёт увеличения их гидрофильных и адгезионных характеристик.

2. Исследовано влияние параметров тлеющего разряда воздуха (время обработки составило 15 – 120 с, ток разряда 20 – 100 мА при плотности разряда 2,8 – 14,1 мА/см², давление в газоразрядной зоне 50 – 200 Па) на гидрофильные свойства ремонтного флизелина. Установлено, что увеличение продолжительности и интенсивности обработки материала приводит к росту его гидрофильных характеристик. Так, водопоглощение флизелина, обработанного в плазме, возрастает до 2 раз по сравнению с образцами, не подвергавшимися плазменному воздействию. Увеличение времени обработки и тока разряда в указанных интервалах приводит к уменьшению времени смачиваемости образцов в 3 раза, в то время как необработанные образцы несмачиваемы.

3. Показано изменение полученных свойств во времени. Установлено, что гидрофильные свойства, приобретённые флизелином в результате его плазменной активации, с течением времени несколько ухудшаются, но остаются существенно лучше, чем для необработанных образцов. Так, время смачиваемости материала возрастает по прошествии 10 суток в среднем в 1,4 раза, 110 суток – в 2,3 раза по сравнению с обработанными образцами, не подвергавшимися хранению перед измерением исследуемого свойства. Сделан вывод, что в силу устойчивости получаемого эффекта во времени применение тлеющего разряда для модифицирования свойств рулонных стеновых материалов оправданно и технологически реализуемо.

4. Выявлено улучшение адгезии рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе к различным поверхностям при взаимодействии с различными клеевыми составами под действием тлеющего разряда. Установлено, что для обработанных в тлеющем разряде и наклеенных различными клеями на деревянную либо бетонную поверхность образцов сила отрыва в 1,2 – 2,7 раза выше, чем для необработанного материала. Улучшенные адгезионные свойства частично сохраняются и во времени. Так для образцов флизелина, наклеенных через 21 сутки после обработки в плазме, сила отрыва от поверхности бетона

составила величину, на 10% большую, чем для образцов, не подвергавшихся воздействию тлеющего разряда.

5. Проанализировано изменение прочностных характеристик рулонных стеновых материалов под действием тлеющего разряда. Травление поверхности и, как следствие, деструкция волокон, происходящие при плазменной обработке, приводят к несущественному снижению прочности обоев. Это не приводит к ухудшению технологических и эксплуатационных свойств рулонных стеновых материалов.

6. Показана возможность получения рулонных стеновых материалов с различными поверхностными свойствами в зависимости от состава плазмообразующего газа. Если обработка в плазме воздуха приводит к устойчивой гидрофиллизации поверхности флизелина в результате её травления, то под действием плазмы метана происходит осаждение гидрофобного слоя.

7. Проведён дисперсионный анализ изменения гидрофильных свойств ремонтного флизелина в зависимости от параметров его обработки в тлеющем разряде. Получено, что при плазменной обработке флизелина основным параметром, отвечающим за достижение максимального эффекта, является время контакта плазмы с материалом. Определены рациональные режимы обработки рулонного стенового материала в тлеющем разряде.

8. Проведено исследование влияния тлеющего разряда на эффективность окрашивания флизелина. Получено, что интенсивность окрашивания и устойчивость окраски к трению обработанных в плазме образцов по показателю насыщенности выше, чем необработанных. Наблюдаемое повышение прочности окрасок связано с усиленной адгезией пигментного состава и улучшенным закреплением пигмента на материале, подвергнутом воздействию тлеющего разряда. Показана возможность напыления тонких плёнок на поверхность рулонных стеновых материалов.

9. Разработанные мероприятия по получению рулонных стеновых материалов с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами нашли своё применение в ООО «Эрисманн» (г. Воскресенск Московской области). Внедрение плазменной активации при производстве различных типов обоев на флизелиновой основе приводит к увеличению интенсивности и устойчивости окраски материала на 10 – 15%, а также к росту адгезионной способности на 25 – 30% при монтаже на отделяемые поверхности с клеевыми составами. В результате происходит снижение числа случаев непропечатки рисунка с 1,5% до 0,5% общего объёма выпуска продукции, что приводит к снижению себестоимости производимых обоев на 1%, а с учётом затрат на обработку в плазме тлеющего разряда – к снижению себестоимости на 0,7%. Ожидаемый экономический эффект от предлагаемых мероприятий составит 2337 руб. на 1000 евро рулонов, или 21285396 руб. в год для виниловых обоев горячего тиснения.

Использование результатов работы в производственной деятельности ООО «Эрисманн» подтверждено соответствующим актом.

10. Результаты диссертационной работы используются также в учебном процессе, в частности в дисциплине «Научно обоснованные методы регулирования свойств стеновых и отделочных материалов» при подготовке магистров

по направлению «Строительство» по магистерской программе 270800.68.05 «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» в Ивановском государственном политехническом университете (кафедра «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы»).

Использование результатов диссертационного исследования в учебном процессе в ИВГПУ подтверждается актом о внедрении.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

в рецензируемых изданиях, предусмотренных перечнем ВАК РФ

1. Федосов, С.В. Исследование влияния низкотемпературной плазмы тлеющего разряда на гидрофильные свойства ремонтного флизелина / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев**, Д.А. Шутов // Вестник МГСУ. 2012. №1. – С. 63 – 67.
2. Федосов, С.В. Дисперсионный анализ изменения гидрофильных свойств флизелина в зависимости от параметров его обработки в тлеющем разряде / С.В. Федосов, **М.В. Таничев**, М.В. Акулова, Р.В. Слащёв, Д.А. Шутов // Вестник МГСУ. 2012. №9. – С. 172-178.
3. Федосов, С.В. Влияние тлеющего разряда постоянного тока на адгезионные и гидрофильные свойства ремонтного флизелина / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев**, Р.В. Слащёв, Д.А. Шутов // Изв. вузов. Серия: химия и химическая технология. 2013. №9. – С. 66 – 70.

в прочих изданиях

4. Федосов, С.В. Использование плазмы тлеющего разряда в промышленности / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Ученые записки инженерно-строительного факультета/ Иваново: ИГАСУ, 2011. Вып. 5. – С. 4 – 8.
5. Федосов, С.В. Модификация рулонных стеновых материалов низкотемпературной плазмой тлеющего разряда на примере ремонтного флизелина / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Информационная среда вуза». Иваново: ИГАСУ, 2011. – С. 195 – 199.
6. Федосов, С.В. Использование низкотемпературной плазмы тлеющего разряда для модификации гидрофильных и адгезионных свойств ремонтного флизелина / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Тезисы докладов 65 всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль: ЯГТУ, 2012. Ч. 2. – С. 388.
7. **Таничев, М.В.** Влияние параметров низкотемпературной плазмы тлеющего разряда на гидрофильные свойства рулонных отделочных материалов (флизелина) / **М.В. Таничев** // Вестник научно-промышленного общества. – М: Изд. «Алев-В», 2012 г., выпуск 18. – С. 37 – 42.
8. Федосов, С.В. О применении плазменного модифицирования волокнистых и рулонных материалов в различных отраслях промышленности / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Сборник материалов XV международного научно-практического семинара «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SmarTex-2012)». – Иваново: ИГТА, 2012. – С. 82 – 85.

9. Федосов, С.В. Обзор конструкций установок для обработки рулонных материалов в низкотемпературной плазме тлеющего разряда / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Материалы XIX Международной научно-технической конференции «Информационная среда вуза». – Иваново: ИГАСУ, 2012. – С. 223 – 225 .
10. Федосов, С.В. Основные физико-химические процессы, протекающие при обработке рулонного материала в низкотемпературной плазме тлеющего разряда / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев**, Д.А. Шутов // Ученые записки инженерно-строительного факультета. – Иваново: ИГАСУ, 2012. Вып. 6. – С. 87 – 89.
11. Федосов, С.В. Применение тлеющего разряда для улучшения свойств рулонных стеновых материалов / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Тезисы докладов 66 всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль: ЯГТУ, 2013. Ч. 2. – С. 340.
12. Федосов, С.В. Тлеющий разряд как перспективный способ модифицирования поверхностных свойств материалов / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Материалы международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVII Бенардосовские чтения). – Иваново: ИГЭУ, 2013. Т. 2. – С. 351 – 354.
13. Федосов, С.В. Изменение гидрофильных и адгезионных свойств рулонных стеновых материалов при их обработке в низкотемпературной плазме тлеющего разряда / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Сборник научных трудов по материалам круглого стола, посвящённого научной школе академика РААСН, д.т.н., проф. С.В. Федосова «Разработка машин и агрегатов, исследование тепломассообменных процессов в технологиях производства и эксплуатации строительных материалов и изделий» (ИВГПУ). – Иваново: ПресСто, 2013. – С. 15 – 19.
14. **Таничев, М.В.** Влияние плазмообразующего газа на свойства флизелина при его обработке в тлеющем разряде / **М.В. Таничев**, Д.А. Шутов, Р.В. Слащёв // Сборник тезисов шестнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – Москва: МГСУ, 2013. – С. 556 – 558.
15. С.В. Федосов. Оценка влияния низкотемпературной плазмы тлеющего разряда на гидрофильные, адгезионные и прочностные свойства ремонтного флизелина / С.В. Федосов, М.В. Акулова, **М.В. Таничев** // Материалы XX Международной научно-технической конференции «Информационная среда вуза». – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 186-188.
16. **Таничев, М.В.** Улучшение адгезионных свойств рулонных стеновых материалов на флизелиновой основе, обработанных в тлеющем разряде / **М.В. Таничев**, С.В. Федосов, М.В. Акулова // Сборник тезисов семнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – Москва: МГСУ, 2014. – С. 1059 – 1061.

17. **Таничев, М.В.** Влияние тлеющего разряда на адгезионную способность и окрашиваемость рулонных стеновых материалов / **М.В. Таничев**, С.В. Федосов, М.В. Акулова // Материалы Межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием «Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2014)». – Иваново: ИВГПУ. Ч. 2. – С. 176 – 177.

Общий объём публикаций – 4,06 п.л.

Автор выражает глубокую благодарность за научные консультации при проведении экспериментов и обсуждении результатов работы:

- д.т.н., профессору, зав. кафедрой «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы» ФГБОУ ВО «ИВГПУ» М.В. Акуловой;

- к.т.н., доценту кафедры «Технология приборов и материалов электронной техники» ФГБОУ ВПО «ИГХТУ» Д.А. Шутову.