

На правах рукописи

РЕБНИЦКИЙ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ



**Композиционные материалы
электротехнического назначения на
основе полисилоксанов для ремонта и
гидроизоляции керамических
высоковольтных изоляторов**

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Санкт - Петербург

2005

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (технический университет).

Научный руководитель-
Доктор технических наук,
профессор

Бритов Владислав Павлович

Официальные оппоненты-
Доктор технических наук,
профессор
Кандидат технических наук

Евтюков Николай Зосимович
Голубков Валентин Николаевич

Ведущая организация - ОАО «Научно- исследовательский институт резиновых покрытий и изделий», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «31» мая 2005 г. в 14⁰⁰ час. в ауд. коор. Резины
на заседании диссертационного совета Д 212.230.06 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (технический университет).

Отзывы на автореферат в одном экземпляре, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 190013, Санкт-Петербург, Московский пр. 26., Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Ученый совет.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке института.

Автореферат разослан «27» апреля 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
кандидат химических наук, доцент

Е. К. Ржехина

2005-4
43396

3

2040763

Общая характеристика диссертации

Актуальность проблемы. Одним из основных недостатков керамических высоковольтных изоляторов (ВКИ) является их хрупкость. До 20 % ВКИ повреждается при транспортировке, монтаже и особенно эксплуатации (во многих странах в последнее время участились случаи вандализма, в результате чего большое число изоляторов оказались поврежденными). Кроме того, процент брака при производстве ВКИ достигает 10%. ВКИ с дефектами изоляции выводятся из эксплуатации.

В настоящее время во всем мире наметилась единственная тенденция, направленная на решение указанной проблемы, — замена керамических изоляторов композитными с защитной оболочкой из полимерных материалов. В ряде случаев такая тенденция оправдана, однако широкое внедрение полимерных изоляторов — отдаленная перспектива, и они будут использоваться ограниченно на вновь строящихся линиях наряду с ВКИ, так как их стоимость существенно выше. Кроме того, не существует технической возможности замены крупногабаритных ВКИ на полимерные. Решение существующей проблемы могло бы быть осуществлено при создании технологии ремонта ВКИ.

Ремонт ВКИ включает устранение мелких дефектов (отсутствие глазури, пузыри, трещины) и крупных повреждений (сколы ребер). Существует и другая разновидность ремонта ВКИ — создание на их поверхности гидрозащитного покрытия. Среди изоляторов имеются конструкции (разрядники), в которых керамическое тело крепится к металлическому основанию с помощью бетонной прослойки. Таким образом, в конструкции изолятора имеются стыки между материалами различной природы, попадание воды в которые может вызвать выход изолятора из строя.

Технология ремонта и гидрозащиты ВКИ в мировой практике отсутствует.



Решение проблемы создания технологии ремонта ВКИ отвечает «Приоритетным направлениям науки и техники» (разделы «Новые материалы и химические продукты». Композиты. Полимеры»; раздел «Топливо и энергетика. Процессы трансформации твердого топлива в электрическую и тепловую энергию»), а также Координационному плану Академии наук РФ по проблеме: «Пути улучшения механических свойств полимерных сплавов и композитов».

Целью настоящей работы является: создание материалов и технологии для ремонта дефектов, повреждений и гидрозащиты ВКИ.

Научная новизна. Развита принципы создания и модифицирования материалов для ремонта и гидрозащиты керамических высоковольтных изоляторов. Показано, что:

- независимо от назначения материалов (ремонт трещин, пузырей, сколов, гидрозащита и т.д.) в качестве полимерной матрицы целесообразно использовать низко-, высокомолекулярные полисилоксаны и их смеси;

-обеспечение требуемых физико- механических и эксплуатационных характеристик материалов может быть достигнуто использованием в их составе комбинации активных (аэросил, белая сажа) и инертных (гидрооксид алюминия) наполнителей, вводимых в полимерную матрицу в условиях сдвигового деформационного воздействия определенного диапазона;

- для характеристики внешнего деформационного воздействия на систему целесообразно использовать обобщенный критерий, представляющий по физическому смыслу плотность энергии деформирования.

На основе модифицированного уравнения Муни развиты методы количественного определения плотности энергии деформирования

применительно к рассматриваемым системам и найдена область ее рациональных значений — $(16-20) \cdot 10^7$ Дж/м³.

Предложена модель формирования структуры и свойств наполненных полисилоксановых композиций различного назначения и показано, что при определенной величине плотности энергии деформирования могут быть получены материалы, обладающие способностью к заливке в различные полости и регулируемым временем вулканизации.

Практическая значимость. Созданы материалы и технология ремонта ВКИ всех типов, устраняющие производственные дефекты (трещины, пузыри, отсутствие глазури) и повреждения (сколы ребер); материалы и технология гидрозащиты опорных ВКИ, позволяющие герметизировать стыки разрядников (защита от грозовых и коммутационных напряжений) независимо от конфигурации защищаемой поверхности.

Материалы и технологии ремонта и гидрозащиты ВКИ позволяют осуществлять ремонтные работы непосредственно в местах эксплуатации изоляторов без их демонтажа при низких (-10^0C) и повышенных ($+60^0\text{C}$) температурах, а также в условиях повышенной влажности и загрязнений и являются экологически чистыми. Разработанные материалы (ТУ 3494-001-7825684185-04) и технологии ремонта и гидрозащиты внедрены на «НПО Изолятор» и проходят проверку на предприятиях РАО «ЕЭС» Северо-Запада.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на 9-ой Международной конференции молодых ученых, Казань, 1998; IV и V Международных конгрессах химических технологий, Санкт-Петербург, 2003, 2004 г.; Заседаниях секции полимерных композиционных материалов ВХО им. Д.И. Менделеева, 2001, 2003-2005 гг. По результатам исследований опубликовано 9 работ, получен патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений, содержит 165 страниц машинописного текста, 23 рисунка и 19 таблиц.

Автор защищает:

- новые экспериментальные данные о характере формирования реологического поведения и вулканизационных свойств полисилоксановых композиций в условиях регулируемого деформационного воздействия;
- модель формирования структуры и свойств наполненных полисилоксановых композиций;
- материалы и технологию ремонта дефектов и повреждений керамических изоляторов;
- материалы и технологию гидрозащиты опорных высоковольтных изоляторов.

Методические вопросы экспериментального исследования

В качестве объектов исследования были выбраны композиции на основе высокомолекулярного силоксанового каучука СКТВ, низкомолекулярного силоксанового каучука СКТН- А (далее СКТН) и их смесей, наполненные активными (аэросил А-175, белая сажа БС- 50), инертными (гидроксид алюминия, двуокись титана), наполнителями. В состав композиции входили также антиструктурирующая добавка и вулканизирующие агенты –катализатор К-21 (СКТН) и перекись 2,4 – дихлорбензоила (СКТВ).

Композиции готовили на различном оборудовании — лабораторных вальцах, лабораторном смесителе с Z-образными лопастями, в роторном измерительном смесителе закрытого типа, в роторно-пульсационном аппарате.

В основу оценки технологических свойств силоксановых композиций были положены результаты реологических испытаний, проведенных методами капиллярной и ротационной вискозиметрии.

Для количественной оценки процессов вулканизации использовали метод равновесного набухания (густоту пространственной сетки рассчитывали по уравнению Флори-Ренера). Развитие процессов вулканизации в условиях минимальной деформации оценивали вибрационным методом. Характер процессов вулканизации и структурирования низкомолекулярных каучуков анализировали динамическими методами. О ходе процессов вулканизации судили также по данным ротационной вулканетрии.

Определение эксплуатационных характеристик композиций (коэффициент морозоустойчивости; стойкость к термическому старению; удельное объемное электрическое сопротивление; тангенс угла диэлектрических потерь; электрическая прочность; диэлектрическая проницаемость; трекингоэрозионная стойкость; дугостойкость; адгезия к керамике, бетону, алюминию) проводили в соответствии с ГОСТ на «НПО Изолятор».

Разработка и физико-химическое модифицирование силоксановых композиций

Для создания технологии *ремонта* высоковольтных изоляторов требуются материалы с электротехническими показателями, близкими к показателям восстанавливаемого керамического покрытия и высокой адгезией к керамике.

Данные показатели имеют разработанные ранее на кафедре «Оборудование и робототехника переработки пластмасс» СПбГТИ (ТУ) композиции для защитных оболочек изоляторов. В то же время в отличие от них ремонтные композиции должны обладать регулируемой в широких пределах текучестью, обеспечивающей как заполнение форм при восстановлении сколов ребер изоляторов, так и ремонт трещин изоляторов (рис.1).

Для создания технологии *гидрозащиты* высоковольтных изоляторов требуются материалы с определенным уровнем вязкости, обладающие тиксотропными свойствами (предотвращение стекания материала с поверхности изоляторов) и высокой адгезией к материалу защитной оболочки (керамика), основанию (алюминиевые сплавы) и прослойке (бетон).

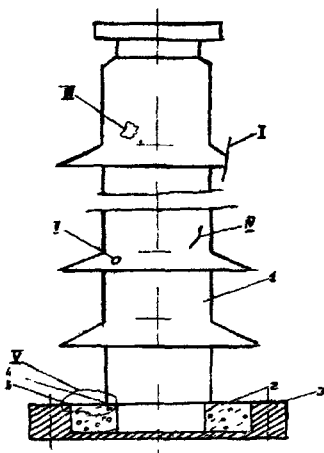


Рис.1. Схема высоковольтного изолятора с повреждениями различного характера: I- сколы ребер, II-пузыри, III- отсутствие глазури, IV- трещины, V- отсутствие гидрозащиты.. 1-керамическое тело; 2-бетонная прослойка; 3-металлическое основание; 4 и 5- стыки.

Кроме того, для реализации технологии в местах эксплуатации необходимо создание материалов с регулируемым временем вулканизации.

Таким образом, проблема сводится к созданию композиционных материалов, отвечающих эксплуатационным требованиям, с регулируемыми в широких пределах реологическими и вулканизационными свойствами.

Были рассмотрены различные пути создания таких систем.

Проанализирована возможность создания материалов с различной вязкостью на основе использования смесей высоко- и низковязких полисилоксанов. Однако, полимерные композиции, содержащие СКТН, обладают пониженными прочностными свойствами по сравнению с композициями на основе высокомолекулярного полимера. Это вызывало необходимость включать в ее состав значительное количество как активных, так и инертных наполнителей для придания ей требуемых физико-механических и эксплуатационных характеристик. При этом текучесть материала существенно снижалась, и создать систему с требуемой вязкостью при сохранении заданного уровня эксплуатационных свойств не представлялось возможным.

Был осуществлен также поиск оптимального способа введения ингредиентов. Установлено, что существует единственно возможная последовательность введения ингредиентов, когда на первой стадии в полимерную матрицу вводится активный наполнитель с антиструктурирующей добавкой, а затем инертный наполнитель.

Такие системы обладают высокой вязкостью, которая не позволяет перерабатывать их даже методом литья под давлением. В то же время установлено, что существует возможность модифицирования подобных систем.

На рис. 2 представлена характерная как для высоко-, так и низкомолекулярных наполненных активным наполнителем полисилоксановых композиций зависимость вязкости от степени наполнения при различных скоростях сдвига. Для объяснения подобного реологического поведения может быть предложена следующая модель. Предположим в первом приближении, что частицы наполнителя являются инертными по отношению к полимеру. В соответствии с этим вязкость композиции может быть вычислена по уравнению Муни (кривая 3). Расхождение расчетной кривой и зависимости для наименьшей ньютоновской вязкости (большая скорость сдвига) объясняется

идеализированным представлением об отсутствии взаимодействия в системе «полимер- наполнитель». Таким образом, сопоставляя данные кривые, можно оценить долю олигомера, адсорбированного поверхностью наполнителя в условиях деформационного воздействия, по мере увеличения которого наблюдается вначале повышение физико-механических характеристик системы и снижение ее вязкости, а затем падение физико-механических свойств. Данный эффект можно объяснить срывом с поверхности активного наполнителя адсорбированного слоя полимера. Таким образом, существует некоторое оптимальное значение внешнего энергетического воздействия, обеспечивающее требуемые

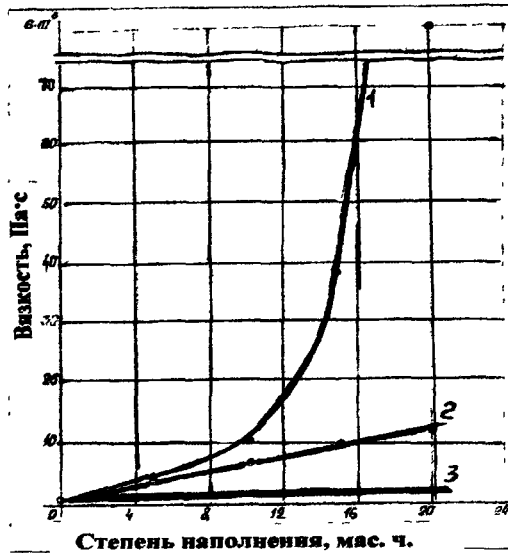


Рис. 2. Характерная зависимость вязкости полисилоксановых композиций от степени наполнения активным наполнителем при различных скоростях сдвига: 1- скорость сдвига $0,2 \text{ с}^{-1}$; 2- скорость сдвига 110 с^{-1} ; 3- кривая, рассчитанная по уравнению Муни.

свойства композиции.

Для расчета величины внешнего энергетического воздействия воспользуемся представлениями о плотности энергии деформирования $E = \tau \cdot \gamma$, где τ - напряжение сдвига, Па·с; γ - величина деформации сдвига, ед. Данный критерий в отличие от общепринятых (скорость сдвига, деформация сдвига и ее дисперсия) инвариантен относительно технологических режимов и конструктивных особенностей применяемого оборудования. Кроме того, он позволяет оценивать протекание физико-химических процессов, каким является процесс вулканизации. Для определения величины критерия необходимо располагать значениями вязкости композиции ($\tau = \eta \cdot \Gamma$, где η - вязкость, Γ - скорость сдвига). Данную величину предлагается рассчитывать по модифицированному уравнению Муни

$$\eta = \eta_0 \exp \left\{ \frac{K_{E1} \left(\frac{C_n / \rho_n}{C_n / \rho_n + C_k / \rho_k} \right)}{1 - \left(\frac{C_n / \rho_n}{C_n / \rho_n + C_k / \rho_k} \right) \cdot \theta^{-1}} \right\} \cdot A + \eta_0 \exp \left\{ \frac{K_{E2} \left(\frac{C_{ni} / \rho_{ni}}{C_{ni} / \rho_{ni} + C_k / \rho_k} \right)}{1 - \left(\frac{C_{ni} / \rho_{ni}}{C_{ni} / \rho_{ni} + C_k / \rho_k} \right) \cdot \theta^{-1}} \right\}$$

Уравнение применимо для описания вязкости системы, наполненной активным и инертным наполнителями.

Здесь η_0 - вязкость каучука; K_{E1} и K_{E2} - коэффициенты формы частиц активного и инертного наполнителя, соответственно; C_n и C_{ni} , C_k - доля активного, инертного наполнителя и каучука в композиции, соответственно; θ_n и θ_{ni} - объемная доля активного и инертного наполнителей при наиболее плотной упаковке их частиц (для статистически упакованных сфер равно 0,61).

A - коэффициент, учитывающий как физико-химическое взаимодействие в системе «полимер- активный наполнитель»,

обусловленное свойствами полимерной матрицы и наполнителя, так и влияние деформационного воздействия.

Данный параметр был представлен как функция степени наполнения, типа наполнителя и величины скорости сдвига. Обработка экспериментальных данных позволила найти выражение для количественного определения параметра A применительно к различным типам наполнителей.

На основе анализа полученных экспериментальных зависимостей предложена модель формирования структуры «полимер-наполнитель». Модель отражает описанный выше единственно возможный способ введения ингредиентов (рис.3). В начальный момент введения наполнителя существует практически несмешанная система, состоящая из скоплений агломератов активного наполнителя и каучуковой матрицы (рис. 3а), взаимодействие между которыми на этой стадии незначительно — наполнитель агрегирован и его поверхность, контактирующая с полимером, экранируется окклюдированным воздухом. В процессе деформационного воздействия агломераты наполнителя разрушаются, а полимер адсорбируется на его поверхности (рис.3 б, в). На втором этапе в систему вводится инертный наполнитель, (рис. 3 г) действие которого на систему двоякое. С одной стороны он повышает вязкость полимерной системы за счет собственного гидродинамического сопротивления, а с другой благодаря росту напряжений сдвига в системе способствует дальнейшему разрушению агломератов наполнителя.

При реализации в системе требуемых напряжений сдвига цепочки активного наполнителя разрушаются с последующей изоляцией адсорбированным полимером. В пределе каждая частица наполнителя может быть заключена в оболочку из адсорбированного полимера. Такая структура обладает свойствами ньютоновской жидкости и пригодна для заливки под небольшим давлением в различные полости.

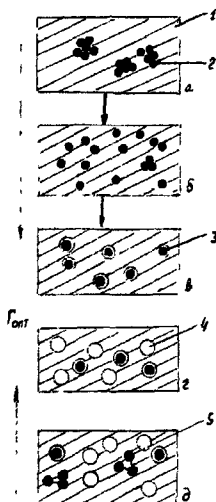


Рис. 3. Модель формирования структуры «полимер-наполнитель»: 1- полимерная матрица; 2,5- агломераты активного наполнителя; 3- адсорбированный слой на поверхности наполнителя; 4- частицы инертного наполнителя.

В то же время ограничения на величину деформационного воздействия, которое может вызвать срыв полимера с поверхности наполнителя и ухудшение свойств системы, сохраняются (рис. 3 д).

Деформационное воздействие оказывает существенную роль на протекание процесса вулканизации. На рис. 4 представлены данные об изменении начального участка комплексного динамического модуля композиции (СКТН-А-100 мас. ч., К-18-6 мас. ч., У-333- -20 мас.ч.) в зависимости от величины плотности энергии деформирования. В результате наблюдается снижение времени вулканизации системы, что объясняется разворачиванием полимера на поверхности активного

наполнителя и увеличением вероятности взаимодействия концевой группы с сшивающим агентом.

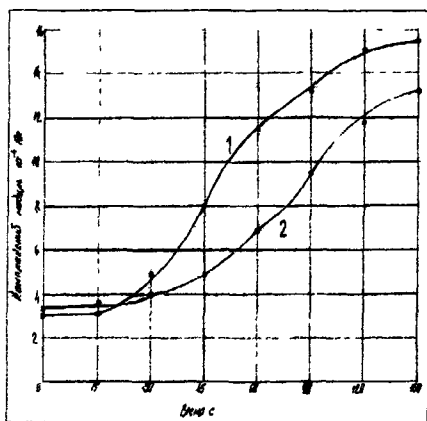


Рис.4. Изменение начального участка комплексного динамического модуля композиций СКН-А в зависимости от плотности энергии деформирования (E): 1- $E = 6 \cdot 10^7$ Дж/м³; 2- $E = 2 \cdot 10^7$ Дж/м³

Совместное рассмотрение влияния состава, порядка ввода компонентов, деформационного воздействия на реологические свойства, время вулканизации материала и физико-механические и эксплуатационные свойства вулканизатов позволили очертить область рациональных режимов деформационного воздействия на материал. Для рассматриваемых композиций величина плотности энергии деформационного воздействия составляет $(16-20) \cdot 10^7$ Дж/м³.

Проведенные исследования позволили создать композиции электротехнического назначения с регулируемыми реологическими, вулканизационными, физико-механическими и эксплуатационными показателями.

Способ ремонта керамических изоляторов

Предлагаемая технология ремонта в общем виде заключается в следующем. Восстановление сколотого ребра керамического тела осуществляют путем установки на место скола формы с полостью, равновеликой сколотой части ребра. Подают под небольшим давлением в полость формы дозированное количество изоляционного материала в вязкотекучем состоянии и отверждают его на ребре, в котором перед установкой формы на поверхность скола наносят адгезив, а в полость формы подают изоляционный материал основного покрытия (Табл.).

Данную композицию обрабатывают в условиях требуемой плотности энергии деформирования для придания ей вязкости, необходимой для того, чтобы осуществить ее заливку в литевную форму. Подобная обработка может быть осуществлена на различном оборудовании, выбор которого определяется исходной вязкостью композиции. Так, композиции на основе низкомолекулярных полисилоксанов могут обрабатываться в роторно-пульсационных аппаратах, а композиции на основе высокомолекулярных каучуков — в смесителях закрытого типа, на вальцах и т.п.

Для автоматизации процесса заливки предложена конструкция заливочного пистолета, основным элементом которого является статический смеситель. Способ ремонта изоляторов запатентован.

Способ гидрозащиты высоковольтных опорных изоляторов

Разработанная технология относится к способам гидрозащиты опорных керамических изоляторов на напряжение 1000В. Особенностью конструкции является существование стыков между отдельными элементами ВКИ, кроме того, влага проникает в пористую бетонную прослойку изолятора, что при отрицательных температурах может вызвать ее растрескивание и, в конечном счете, выход изолятора из строя. Поэтому

стыки частей изолятора и саму бетонную прослойку необходимо герметизировать.

Таблица

Свойства композиций для ремонта сколов изоляторов (СКТН:СКТВ+80:20)

Показатели	Значения показателей	Метод Испытания
1.Технологические: пластичность, в пределах. Способность к вулканизации в воздушной среде при температуре $(350\pm 3)^\circ\text{C}$ в течение 30с	0,56-0,68 отсутствие пор	ГОСТ 415 ТУ2294-001-48920589-98
Усадка, %, не более	3,0	То же
2.Свойства вулканизатов		
Прочность при растяжении, МПА, не менее	2,5	ГОСТ 270
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	150	То же
Твердость по Шору А, ед.	55-65	То же
Коэффициент морозостойкости по Эластическому восстановлению при температуре -50°C , не менее	0,3	ГОСТ 263
3.Электрические показатели после выдержки в воде при температуре 20°C в течение 24 ч		
Удельное объемное электрическое сопротивление $\text{Ом}\cdot\text{м}\cdot 10^{-13}$	10	ГОСТ 6433.2
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более	0,03	ГОСТ 6433.4
Электрическая прочность, МВ/м	15	ГОСТ 6433.3
Диэлектрическая проницаемость, не более	4,0	ГОСТ 6433.4
4.Трекингоэрозионная стойкость	Класс IV 3,5	ГОСТ 27474
5.Стойкость к воспламеняемости	Класс ПВ-0	ГОСТ 28157

Обязательным условием способа является удаление влаги с поверхности защищаемых частей изолятора. Наличие бетонной прослойки существенно осложняет эту процедуру, так как влага проникает внутрь пористой

прослойки. Поэтому перед нанесением покрытия необходимо осуществить прогрев бетонной прослойки изолятора от температуры окружающей среды ($t_{\text{окр}}$) до температуры интенсивного испарения воды ($t_{\text{исп}} \approx 105^\circ \text{C}$). Была разработана методика расчета времени прогрева бетонной оболочки

$$\tau_n = 2,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{\delta_n^2 (0,64 + \delta_n) (t_n - t_{\text{окр}})}{R_n (2t_\phi - t_n - t_{\text{окр}})} \cdot \frac{2\pi d_n H_n}{S_\phi}$$

Здесь δ_n , H_n , d_n , R_n — толщина, высота, диаметр и внешний радиус цементной прослойки, соответственно; t_n — температура нагрева ($t_n = 105^\circ \text{C}$ — температура интенсивного испарения воды); $t_{\text{окр}}$ — температура окружающего воздуха; t_ϕ — температура применяемого промышленного фена; S_ϕ — площадь фена.

Для определения времени глубокого обезвоживания цементной прослойки изолятора необходимо учесть не только время ее прогрева, но и скорость испарения воды с влажной поверхности материала G [кг/(м² ч)]. Эта величина рассчитывается по эмпирическому уравнению

$$G = 0,04075 w^{0,8} \Delta p,$$

где w — скорость воздуха над материалом, м/с; $\Delta p = (p_{\text{нас}} - p_n)$ — разность давлений насыщенного пара в пограничном слое воздуха у поверхности влажного материала и парциального давления пара в проходящем воздухе, мм. рт. ст.

Значения $p_{\text{нас}}$ берется по паровым таблицам для температуры мокрого термометра; p_n определяется по диаграмме Рамдина.

Помимо прогрева цементной оболочки технология гидрозащиты включает в себя следующие операции: обезжиривание и обезвоживание защищаемой поверхности; нанесение на защищаемую оболочку подслоя из раствора; сушку; приготовление основного покрытия; нанесение основного покрытия с катализатором. Композиция имеет следующий состав: диметилсилоксановый каучук СКТН марки А (ГОСТ 13835-73, ТУ 38403351-80) — 100 мас. ч.; белая сажа БС-50 — 10-12 мас. ч.; двуокись

титана — 2-3 мас.ч.; гидроксид алюминия — 80-100 мас.ч.; смесь дибутиллаурата олова с тетраэтоксисиланом (ТУ 6 -02-805-78)- 3 мас.ч. Композиция обрабатывалась в РПА в течение 3 мин. Композиция отверждается в течение времени, зависящего от температуры окружающей среды. Так при температуре окружающей среды +50°C время отверждения составило 2 часа, а при температуре -10°C — 8 час.

ВЫВОДЫ

1. Развита принципы создания и модифицирования материалов для ремонта и гидрозащиты керамических изоляторов. Показано, что:

- независимо от назначения материалов (ремонт трещин, пузырей, сколов, гидрозащита и т.д.) в качестве полимерной матрицы целесообразно использовать низко-, высокомолекулярные полисилоксаны и их смеси;

-обеспечение требуемых физико- механических и эксплуатационных характеристик материалов может быть достигнуто использованием в их составе комбинации активных (аэросил, белая сажа) и инертных (гидроксид алюминия) наполнителей, вводимых в полимерную матрицу в условиях сдвигового деформационного воздействия определенного диапазона.

- для характеристики внешнего деформационного воздействия на систему целесообразно использовать обобщенный критерий, представляющий по физическому смыслу плотность энергии деформирования.

2. На основе модифицированного уравнения Муни развиты методы количественного определения плотности энергии деформирования применительно к рассматриваемым системам и найдена область ее рациональных значений — $(16- 20) \cdot 10^7$ Дж/ м³.

3. Предложена модель формирования структуры и свойств наполненных полисилоксановых композиций различного назначения и

показано, что при определенной величине плотности энергии деформирования могут быть получены материалы, обладающие способностью к свободной заливке в различные полости и регулируемым временем вулканизации.

4. Созданы материалы и технология ремонта ВКИ всех типов, устраняющие производственные дефекты (трещины, пузыри, отсутствие глазури) и повреждения (сколы ребер); материалы и технология гидрозащиты опорных ВКИ, позволяющие герметизировать стыки разрядников (защита от грозовых и коммутационных напряжений), независимо от конфигурации защищаемой поверхности.

Материалы и технологии ремонта и гидрозащиты ВКИ позволяют осуществлять ремонтные работы непосредственно в местах эксплуатации изоляторов без их демонтажа при низких (-10°C) и повышенных ($+60^{\circ}\text{C}$) температурах, а также в условиях повышенной влажности и загрязнений и являются экологически чистыми.

5. Разработанные материалы (ТУ 3494-001-7825684185-04) и технологии ремонта и гидрозащиты внедрены на «НПО Изолятор» и проходят проверку на предприятиях РАО «ЕЭС» Северо-Запада.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Активирующее смешение в технологии получения эластомерных композиций / С.В. Ребницкий, В.П. Бритов, Л.К. Севостьянов, В.В.Богданов// В кн.: Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений/ Материалы 9-ой Межд. конф. молодых ученых. Казань, 26-28 октября 1998.- С. 168.

2. Получение эластомерных композиций методом активирующего смешения / В.П. Бритов, С.В. Ребницкий, Л. К. Севостьянов, В.В. Богданов // Каучук и резина. – 1998. -№3.- С. 35-38.

3. Материалы для полимерных изоляторов / В.В.Богданов, В.П.Бритов, Н.Н. Корякин, Д.Н. Лазарев, Т.М. Лебедева, С.В. Ребницкий; СПбГТИ- СПб., 1999. -8 с. Деп. в ВИНТИ 31.03.99, № 9810- В99.

4. Способы получения полимерных изоляторов/ А.Д. Бабаев, В.В.Богданов, В.П. Бритов, Д.Н. Лазарев, Т.М. Лебедева, А.Л. Мишин, С.В. Ребницкий; СПбГТИ -СПб., 1999.-10 с Деп. в ВИНТИ 31.03.99, № 981- В99.

5. Magasfeszultsegu keramikus czigetelok javitasa / Rebnycikj Cs. V., Korjakin N.N., Britov V.P., Lazarev D.N., Bogdanov V.V. // Eritesi Piac, 1999, №4.- S.44 (Венгр.)

6. Силоксановые композиции для защитного покрытия высоковольтных изоляторов / В.П.Бритов, Д.Н. Лазарев, С.В. Ребницкий, В.В. Богданов // Каучук и резина. -1999.-№5.- С.15-17.

7.Проблемы создания и эксплуатации полимерных изоляторов / Д.Н. Лазарев, В.П. Бритов, С.В. Ребницкий, Н.Н. Корякин, В.В. Богданов // Каучук и резина - 2000.- №1.- С.32-35.

8.Патент 2151436 РФ. МПК 7H01B 19/50. Способ ремонта керамических изоляторов / В.В. Богданов, В.П. Бритов, Н.Н. Корякин, С.В. Ребницкий.- №99102783; Заявл. 05.02.99; Опубл. 20.06.2000, Бюл. №17-6 с.

9. Ремонт керамических изоляторов полимерными материалами / С.В. Ребницкий, В.П. Бритов, Т.М. Лебедева, В.В. Богданов // IV Междун. конгресс химических технологий. Санкт -Петербург, 28- 31 октября 2003 г. Сборник докладов.- С. 49-50.

10. Николаев О.О., Ребницкий С.В., Тулаев В. И. Ремонт и гидрозащита высоковольтных изоляторов полимерными материалами / V Междун. конгресс химических технологий. Санкт- Петербург, 12-14 октября 2004. Сборник докладов.- С.70-71.

901

25.04.05г. Зак. 56-60 РТП ИК «Синтез» Московский пр., 26

19 МАЙ 2005