

**Ю.Н. ШУМИЛОВ**, д-р. техн. наук., проф., ГП «НИИВН» (Славянск)  
**М.Ю. ШУМИЛОВ**, ГП «НИИВН» (Славянск)

### ПРИМЕНЕНИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ РЕЗИН АДДИТИВНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ В КОНСТРУКЦИЯХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

У статті науково обґрунтована можливість застосування гум адитивної вулканізації для виготовлення суцільнолитих захисних оболонок високовольтних полімерних ізоляторів.

In the article the scientifically grounded possibility of application of additive vulcanization rubbers for making of the solid-cast shields of high-voltages polymeric insulators.

Кремнийорганическая защитная оболочка высоковольтного полимерного изолятора является основным элементом конструкции, обеспечивающим высокую электрическую прочность при комплексном воздействии эксплуатационных факторов и сильного электрического поля.

В полимерных изоляторах первого поколения применялась так называемая «шашлычная» конструкция кремнийорганической защитной оболочки, рис. 1.



Рис. 1 - «Шашлычная» конструкция полимерного изолятора

Сборка такой оболочки проводилась вручную путем монтажа на стеклопластиковый стержень отдельно отпрессованных резиновых ребер. Для обеспечения герметичности получаемой таким образом защитной оболочки и повышения электрической прочности изолятора используют промежуточное связующее вещество – кремнийорганический герметик холодной вулканизации. После окончания сборки защитной оболочки изоляторы устанавливают вертикально и выдерживают при температуре цеха 18-21 °С не менее 5 суток до следующей технологической операции.

Для изготовления защитной кремнийорганической оболочки в полимерных изоляторах первого поколения применяются резины пероксидной вулканизации на основе каучука СКТН. Реакция вулканизации приведена на рис. 2. Наиболее распространенным перекисным вулканизирующим агентом, применяемым в упомянутых резинах является перекись 2.4 – дихлорбензоила.

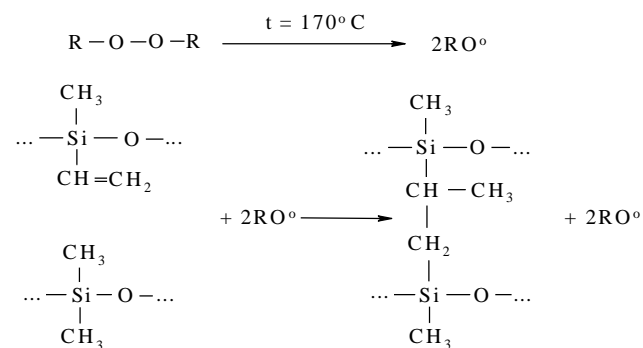


Рис. 2 - Схема вулканизации каучука СКТВ

Недостатками данной технологии является:

- необходимость проведения 2-й стадии вулканизации резины при 200 °С в среде циркулирующего горячего воздуха в течение 10 часов;
- большие трудозатраты на сборку изоляционного элемента изолятора;
- возможность появления щелей между ребрами при использовании герметика низкого качества или в результате плохой промазки герметиком при сборке.

Использование принципиально новой технологии литья цельной защитной оболочки непосредственно на стеклопластиковый стержень дало возможность решить указанные проблемы. Однако такая технология повышает требования к технологичности резин и соответственно усложняет технологическое оборудование – требуется применение литьевого инжекционного пресса.

Эти проблемы решены на принципиально новой основе - использовании цельнолитой технологии литья защитной оболочки на стержень (рис. 3) и применения новых резин аддитивной сшивки с низкой температурой вулканизации.



Рис. 3 - Цельнолитая конструкция полимерного изолятора

В процессе совместной работы с сотрудниками известной фирмы Dow Corning была выбрана, недавно разработанная, твердая резиновая смесь

каталитической вулканизации, содержащая в качестве основы полидиметилвинилсилоксановый каучук (компонент А) с добавками метилгидросилоксанов (компонент В) и платинового катализатора (комплексное соединение хлорплатиновой кислоты). В этой смеси вулканизация каучука осуществляется по реакции гидросилилирования, при которой на винильную группу компонента А воздействуют гидридные группы компонента В при температуре 100 – 120 °С (рис. 4).

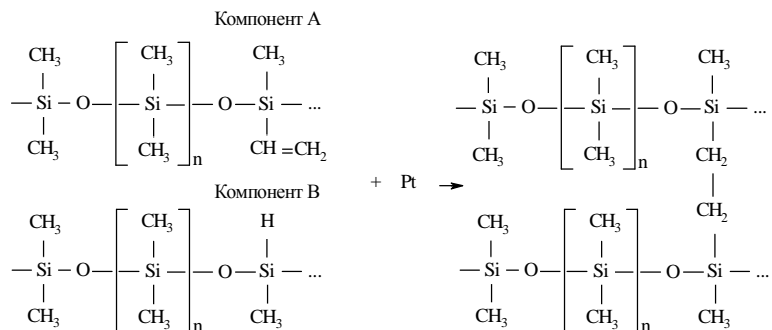


Рис. 4 - Схема вулканизации аддитивных кремнийорганических резин.

Преимуществом этого метода является отсутствие при вулканизации побочных реакций и продуктов распада перекисей, а платиновый катализатор, оставаясь в резине в малом количестве не влияет на свойства вулканизата. Кроме этого, катализируемый платиной процесс сшивания протекает без выделения запаха, смеси лучше формируются и имеют высокие электро-физические характеристики. Вулканизаты имеют низкую остаточную деформацию при сжатии, менее 4 %. Низкая температура вулканизации резины не вызывает растрескивания стеклопластикового стержня при вулканизации оболочки.

Однако при отработке технологии литья цельнолитой оболочки столкнулись с рядом проблем – пористость резины при недовулканизации (рис. 5), разнотолщинность (эксцентриситет) цельнолитой оболочки (рис. 6). Проблема «эксцентриситета» была решена путем применения специальных технологических упоров в прессформе, отводящихся на последних секундах впрыска резины (рис. 7).



Рис. 5 - Пористость резины в слое, примыкающем к стеклопластиковому стержню

Рис. 6 - Разнотолщинность (эксцентриситет) цельнолитой кремнийорганической оболочки полимерного изолятора



Рис. 7- Нижняя половина литьевой формы для литья кремнийорганических оболочек линейных изоляторов с тремя технологическими упорами

Высокая адгезионная прочность соединения силиконовой оболочки к стеклопластиковому стержню достигалась нанесением на поверхность стержня тонкого слоя грунтовки «праймера» представляющего раствор органо-функционального силана в жидком растворителе. Применяемый праймер содержал в структуре функциональные группы двух типов: алкоксигруппы для для связи со стекловолокном и винильные группы для реакции с гидридными группами резиновой смеси (рис. 8).

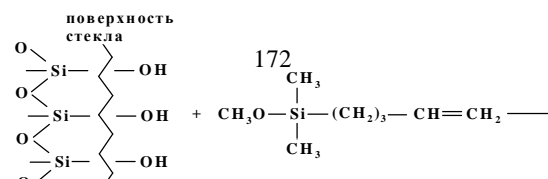


Рис. 8 - Схема химической связи силанов с поверхностью стекла.

Обеспечение технологической стабильности адгезионной связи резины с поверхностью стеклопластикового стержня достигалось путём тщательной изоляции платинового катализатора от следов аминного ускорителя в эпоксидной связке, выступающего на поверхность стеклопластика при вулканизации оболочки. При избытке ускорителя или недоотверждении стеклопластика, выступающие на поверхность следы аминного ускорителя блокируют платиновый катализатор, затрудняя сшивку между функциональными группами резиновой смеси и праймера; этим объясняется возникновение нестабильности адгезионной прочности при массовом производстве изоляторов и снижение электрической прочности.

Для проверки пригодности цельнолитой защитной оболочки, изготовленной из кремнийорганической резины аддитивной вулканизации в конструкциях высоковольтных полимерных изоляторов была составлена программа исследовательских испытаний, отражающая воздействие на изолятор основных эксплуатационных факторов (рис.9).

Исследования выполнялись на изоляторах 3,3 – 750 кВ, изготовленных по разработанной при выполнении работы технологии и на новой производственной линии. Адгезия защитной оболочки к металлу, определяемая методом отрыва, превышала нормативный показатель более чем в два раза после кипячения. Изоляторы после климатических испытаний, включающих резкий сброс нагрузки при температуре -25 С, термомеханические испытания под нагрузкой при -60 С - +50 С, кипячения 42 час. в 0,1% растворе NaCl выдержали с большим запасом контрольные испытания импульсным напряжением с крутым фронтом волны, испытания напряжением промышленной частоты величиной  $0,9U_{ср}$  в течение 30 мин. без нагрева и изменения тока утечки а также другие виды контрольных испытаний.



Рис. 9 - Схема комплексных испытаний опытных образцов цельнолитых полимерных изоляторов.

Таким образом, гипотеза об эффективности использования кремнийорганических резин аддитивной каталитической вулканизации для изготовления полимерных изоляторов с цельнолитой защитной оболочкой была полностью подтверждена, а результаты исследований использованы при разработке новых конструкций полимерных изоляторов и технологии их производства.

**Выводы.** 1. Применение резин каталитической (аддитивной) вулканизации и использования технологии инъекционного литья под давлением, позволило изготавливать изоляторы с цельнолитой защитной

оболочкой длиной от 0,3 м до 3,5 м без стыков между ребрами с повышенной адгезионной и электрической прочностью. 2. Применение резин аддитивной вулканизации за счет пониженной температуры молекулярной сшивки позволило также устранить термо-растрескивание стеклопластика, вызывающее снижение его электрической прочности. 3. При исследовании формирования границы раздела между резиной и поверхностью стеклопластика при наложении защитной оболочки выявлена роль следов аминного ускорителя в стеклопластике, влияющего на прочность и стабильность адгезионной связи между ними. 4. Использование результатов исследований позволило разработать конструкции изоляторов 3,3 – 750 кВ с цельнолитыми оболочками с повышенными влагозащитными свойствами и электрической прочностью при комплексном воздействии эксплуатационных факторов. Конструкции изоляторов на напряжение 3,3 – 750 кВ с цельнолитыми оболочками из резины аддитивной вулканизации успешно выдержали приемочные и сертификационные испытания, при этом запас электрической прочности по отношению к нормативным показателям для изоляторов 3,3 – 750 кВ составил 1,1 – 1,5, а по механической прочности 1,15 – 1,9. 5. Применение резин каталитической вулканизации и применение технологии инъекционного впрыска позволило также увеличить производительность труда, улучшить санитарно-гигиенические условия и стабильность производства. 6. На базе разработанной технологии на предприятии «ЕС Полимер» введена в эксплуатацию новая производственная линия для изготовления полимерных изоляторов. Научно-производственное предприятие «ЕС Полимер», было зарегистрировано как первый в Украине производитель полимерных изоляторов с цельнолитой оболочкой с полной номенклатурой строительных длин.

**Список литературы:** 1. Химия и технология кремнийорганических эластомеров / под. ред. В.О. Рейхсфельда. – Л.: Химия, 1964. – 176 с. 2. Шетц М. Силиконовый каучук / М. Шетц. – Л.: Химия, 1975. – 128 с. 3. Кремнийорганическая резиновая смесь для высоковольтных изоляторов и других электротехнических изделий / Ф. М.Палютин, В. Я.Калмыкова, Г. А.Михайлова, В. А.Бабурина, В. З.Трифонов. - Материалы международной научно-технической конференции “Подвесные и опорные полимерные изоляторы: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, диагностика” (Санкт-Петербург, 4 – 9 октября 2004 г.). – Санкт-Петербург.: ПЭИПК, 2004. – с. 130 – 134. 4. Одностадийные силоксановые резиновые смеси // Ю.Р.Колесник, О.В.Лозинская, А.В.Васильковский, В.Н.Сулима, А.А.Чохленко // Вопросы химии и химической технологии. Специальный выпуск. – 2000. – №4. – С. 55 – 56. 5. Rogal P. State-of-the Art Silicone Rubber Materials for Molding High Voltage Transmission and Distribution Insulators / P. Rogal // Applying New Technologies for Better Reliability and Lower Costs: 2001 World Insulator Congress, Shanghai, China, 2001. - P. 20 – 28. 6. Андрианов К.А. Исследование вулканизации полидиметилвинил-силоксанового каучука кремнегидридами / К. А. Андрианов, А.В. Горшков // Высокомолекулярные соединения. – 1979. – А XXI, № 6. – С. 1348 – 1354. 7. Плюдеман Э. Роль Силановых аппретов в образовании адгезионной связи на поверхности раздела / Э.Плюдеман // Композиционные материалы. - Том 6. – М.: Мир, 1978. – С. 182 – 227. 8. Silicones / В.Pachaly, F.Achenbach, C.Herzig, K.Mautner // *Greating Tomorrows Solutions: Wacker Chemie AG, Munchen, Germany, 2007.* - P. 113.

*Поступила в редколлегию 03.09.2010*

УДК 621.314

*О. В. ШУТЕНКО*, канд. техн. наук, старш. преподаватель, НТУ «ХПИ»

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ**

У статті виконано аналіз впливу експлуатаційних чинників на інтенсивність старіння трансформаторних масел в баках силових високовольтних трансформаторів. Встановлено, що основними чинниками, які обумовлюють швидкість старіння масел є завантаження трансформаторів, тривалість експлуатації та якість трансформаторних масел.

In article the analysis of operational factors on intensity of ageing of transformer oils in tanks of high-voltage power transformers is executed. It is established, that by the major factors influencing for speed of ageing of oils, loading of transformers, duration of operation and quality of transformer oils are.

**Постановка задачи.** Трансформаторные масла являются одним из важнейших элементов изоляции силовых высоковольтных трансформаторов. Надежность трансформаторов во многом зависит от состояния масел. В процессе длительной эксплуатации под воздействием сильных электрических полей, рабочей температуры, химически агрессивных сред и других факторов происходит изменение химической структуры масел и ухудшение их изоляционных свойств. Усовершенствование методов диагностики состояния трансформаторных масел принципиально не возможно без учета закономерностей старения трансформаторных масел в условиях длительной эксплуатации и анализа влияния эксплуатационных факторов на скорость старения масел. В связи с этим исследование процессов старения трансформаторных масел в условиях реальных эксплуатационных воздействий в течение длительной эксплуатации является актуальной и важной задачей.

**Анализ публикаций.** В настоящее время кинетика старения масел достаточно подробно изучена и описана в литературе. В [1] установлено, что окисление трансформаторных масел происходит по цепному механизму, там же выделены основные участки окисления масел, проанализирован состав продуктов окисления. Влияние температуры, концентрации кислорода, напряженности электрического поля и других факторов на скорость окисления масел приведено в работах [1-3]. Однако, эти исследования выполнялись в лабораторных условиях, при строго фиксированных значениях температуры и напряженности электрического поля. Поэтому полученные результаты не могут в полной мере отражать особенности старения масел в условиях эксплуатации.

**Цель статьи.** В данной статье, на основе анализа результатов эксплуатационного контроля, выполнена оценка влияния эксплуатационных