

## Отзыв

официального оппонента д.т.н., профессора кафедры ФТЭМК ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Боева Михаила Андреевича на диссертационную работу Скразникова Сергея Викторовича на тему «**Закономерности формирования структурно-механических свойств сшитых полиолефинов для кабельной техники**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов.

На отзыв представлены:

диссертация объемом 149 страниц основного текста, включающая введение, три главы и выводы, список литературы из 145 наименований и одно приложение,

автореферат, в котором дана общая характеристика работы, кратко изложено содержание и приведены основные результаты, список опубликованных работ соискателя по теме диссертации из 7 наименований

В России с 80-х годов прошлого века при непосредственном участии Всероссийского научно-исследовательского института кабельной промышленности (ВНИИКП) начали активно разрабатывать и рекомендовать для передачи электрической энергии высоковольтные кабели с изоляцией на основе сшитых полиолефинов, в частности, из сшитого полиэтилена (СПЭ). Использование изоляции из СПЭ расширяет температурный диапазон эксплуатации кабелей, при этом максимальная длительно допустимая рабочая температура составляет  $90^{\circ}\text{C}$  (кратковременно возможен нагрев до температуры  $250^{\circ}\text{C}$ , например, при коротком замыкании). Кроме того, при сшивке повышается химическая стойкость, стойкость к растрескиванию, особенно в условиях воздействия агрессивных сред, улучшаются механические свойства изоляции. Сегодня подтверждено время надежной эксплуатации таких кабелей более 25 лет.

В задачи настоящей работы входило отработка метода оценки качества сшивки полиолефинов и модификация системы пероксидной сшивки полиэтилена (ПЭ), с целью повышения производительности процесса.

### **Актуальность темы и состояние вопроса**

В связи с внедрением различных способов модификации свойств полиолефинов для предприятий кабельной отрасли важным становится обеспечить необходимую степень сшивания СПЭ, поскольку не достаточная сшивка может привести к преждевременным отказам кабелей. В настоящее время сохраняются высокие требования к надежности работы электрических сетей, поэтому продолжают вести работы, направленные на совершенствование методов оценки качества сшивки и оптимизацию процессов сшивки полиолефинов. Диссертационная работа Скрозникова Сергея Викторовича, посвященная отработке метода быстрой оценки степени сшивки по величине плотности пространственной сетки, нахождению оптимальных значений степени сшивки и разработке модифицированной системы добавок для ускорения процесса сшивки и снижения энергетических затрат, безусловно, является актуальной.

### **Научная новизна работы.**

Зависимости прочности СПЭ при повышенной температуре от плотности сетки для различных способов сшивания получены впервые.

Впервые установлена зависимость плотности сетки СПЭ от концентрации сивающего реагента перекиси дикумила (ПДК), соагента сшивки, полифункционального мономера ТМП (триметилолпропантриметакрилат), а так же в зависимости от показателя текучести расплава (ПТР) исходного ПЭ, что позволяет регулировать количество отвердителя и соагента сшивки, для получения оптимальной величины плотности сетки.

Впервые предложен подход для решения проблемы термодинамической совместимости полярных мономеров – ускорителей с

неполярным ПЭ за счет использования дополнительных сополимеров-сополимеровсовместителей.

Реализация работы и достигнутый эффект подтверждены актом об использовании результатов диссертационную работу Скрозникова С. В. На предприятии, производящем материалы для кабельной промышленности.

**Во введении** обоснован выбор темы работы, указаны основные ее задачи и цель. Литературный обзор посвящен описанию различных технологических способов получения СПЭ, и сравнению характеристик ПЭ, отверженного различными способами. Особое внимание уделяется возможности ускорения процесса сшивания ПЭ с использованием различных ускорителей - соагентов сшивки на основании большого количества отечественных и зарубежных источников. Делается заключение, что для успешного использования полярных мономеров - ускорителей отверждения полиолефинов необходимо решение проблемы их термодинамической совместимости.

В методической части работы (**глава 2**) даны характеристики исходных материалов, используемых образцов исследования. Лабораторные образцы изготавливали с использованием ПЭ кабельных марок: ПЭ 102-10К, ПЭ 107-02К, ПЭ 107-10К, ПЭ 10803-020, ПЭ 153-02К, ПЭ 178-10К. Сивающим агентом являлась ПДК производства Laport Catalysts & Initiators. В качестве со-агента сшивки использовали ТМП производства фирмы BISOMER. В качестве модификаторов использовали сополимеры этилена с винилацетатом (ВА) – СЭВА 11104-030, СЭВА 11306-075, СЭВА 11507-070, СЭВА 11607-040, СЭВА 11708-210 и 5 компонентов СЭВА 11808-340 и тройной сополимер этилена с винилацетатом и малеиновым ангидридом TSEV 2113 GB. Стабилизаторами композиций служили продукты: Irganox PS-802 и Irganox 1010.

Приведены технические параметры оборудования, используемое при получении экспериментальных результатов. Термомеханический анализ

(TMA), величину плотности пространственной химической сетки ( $n_c$ ), показатели физико-механических свойств при различных температурах, значения тепловой деформации определяли на приборе СМИП-РХТУ. Калориметрические исследования проводили на калориметре DSC-822 «Mettler». Отработка методики оценки плотности сетки (по уравнению высокоеэластичности) включала нахождение равновесной температуры испытания методами ТМА и ДСК, при которой кристаллическая структура полностью разрушена и деформированию препятствуют только химические связи сетки. Предварительная оценка совместимости ПЭ, СЭВА и ТМП проведена «методом Аскадского», путем сравнения их параметров растворимости. Практическая оценка термодинамической совместимости проводилась методом оптического клина и «методом пятна» по величине константы термодинамической устойчивости, представляющей собой отношение диаметров пятна пластификатора на вошеной бумаге и исходной таблетки после действия напряжения 1 кгс/см<sup>2</sup> в течение 14 суток (ГОСТ 14332). Оптическую плотность определяли на спектрофотометре ПРОМЭКОЛАБ ПЭ-6100УФ.

В экспериментальной части работы (**глава 3**), на базе отработанной методики оценки плотности сетки (применительно к прибору СМИП-РХТУ) показано, что промышленные образцы кабельной изоляции, изготовленные на различных заводах, существенно отличаются друг от друга по степени сшивания. Найден диапазон изменения плотности сетки  $n_c = (7-11) \cdot 10^{-5}$  моль/см<sup>3</sup> в котором сама сетка наиболее стабильна при термомеханическом воздействии и обеспечивает необходимые высокотемпературные свойства изоляции. Интересны данные о влиянии плотности сетки на прочностные характеристики СПЭ при повышенной температуре в зависимости от способа сшивания. Весьма важными представляются данные по влиянию количества ПДК на термической стабильности СПЭ, и о нежелательности увеличения содержания ПДК выше 2 % мас. Одновременно с этим предложен способ

ускорения процесса отверждения при одновременном увеличении плотности сетки за счет введения соагента сшивки - ТМП.

Также, весьма важным для практических целей является предложенное уравнение, применимое для различных марок отечественного ПЭ, которое позволяет рассчитывать плотность сетки СПЭ путем одновременного изменения содержания ПДК и ТМП, с учетом ПТР исходного ПЭ.

Даны варианты решения проблемы термодинамической совместимости ПЭ с ТМП за счет ввода дополнительных сополимеров совместителей, которые также представляются весьма интересным.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, изложены в выводах.

### **Практическая значимость работы.**

Метод оценки плотности сетки на базе прибора «СМИП РХТУ», хорошо показал себя в отрасли. Этот метод рекомендован для повышения надежности и ускорения оценки качества изоляции из СПЭ на кабельных предприятиях, вместо метода оценки по «гель фракции».

Весьма важным является возможность существенного в 1,5-2 раза увеличения производительности технологического процесса отверждения ПЭ и, следовательно, снижения энергетических затрат при уменьшенном содержании отвердителя ПДК за счет использования в качестве соагента сшивки полифункционального мономера ТМП.

Предложенное уравнение для регулирования плотности сетки на основании содержания ПДК, ТМП в зависимости от ПТР для различных отечественных марок

Решение проблемы термодинамической совместимости ПЭ с ТМП за счет ввода дополнительных полимеров совместителей позволят обеспечить стабильность свойств модифицированной композиции при хранении и транспортировке до завода изготовителя.

### **Замечания по работе:**

1. Сам метод оценки плотности сетки на основании уравнения высокоэластичности не является оригинальным, и уже применялся на предприятиях кабельной отрасли. Значения плотности сетки можно определять и на обычных разрывных машинах с терmostатирующей камерой. К достоинству методики на базе прибора «СМИП РХТУ» можно отнести его компактность, сравнительно небольшие размеры образцов и скорость выхода на необходимый температурный режим.

2. Ухудшение термической стабильности СПЭ при содержании ПДК более 2 % хорошо известно из литературных источников.

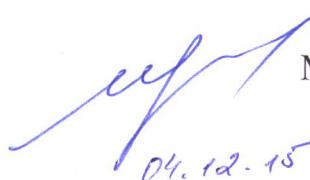
3. Использование импортного триметилолпропанtrimетакрилата в качестве ускорителя отверждения ПЭ на отечественных кабельных предприятиях в настоящее время представляется проблематичным из-за высокой себестоимости этого материала.

Отмеченные замечания не снижают ценности проделанной работы. Работа содержит большой экспериментальный материал, выполнена с использованием современных и оригинальных методов исследования, что подтверждает достоверность сделанных выводов. Автореферат отражает содержание диссертации.

Основные результаты, полученные Скрозниковым Сергеем Викторовичем, являются оригинальными и достоверными, что подтверждает сравнительный анализ с аналогичными исследованиями других, в том числе и зарубежных авторов. Результаты работы отражены в 7 печатных работах, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендуемых высшей аттестационной комиссией и ежегодно, начиная с 2009 по 2011 год, апробированы на Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии. Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013

года № 842, которые предъявляет Высший аттестационным комитетом РФ к кандидатским диссертациям. Автор работы Скрозников С. В. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по Специальность 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры ФТЭМК  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



М.А.Боев

04.12.15

Подпись М.А.Боева удостоверяю,

Начальник управления кадров НИУ «МЭИ»



Е.Ю. Баранова

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная 14.

maboev@mail.ru

+7 495 362 78-58

