

С.А. ЩЕРБИНА, аспирант, НТУ «ХПИ»

### ОБОСНОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА - 2М ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Показано, что применение поливинилиденфторида является обоснованным в качестве материала защитной оболочки авиaproводов. Для повышения температуры эксплуатации возникает необходимость радиационного модифицирования. На основании экспериментальных данных определен оптимальный коэффициент облучения фторопласта 2 М.

**Ключевые слова:** радиационное модифицирование, фторсодержащие полимеры, техническая доза облучения, механические характеристики.

**Введение.** Производство и потребление политетрафторэтилена в количественном отношении ниже, чем у «большой четверки» полимеров, доминирующих сегодня на мировом рынке (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид). Однако этот полимер занял определенную нишу, в которой его применение считается наиболее эффективным, а часто и безальтернативным. Уникальные свойства фторсодержащих полимеров выдвинули их в число полимерных материалов, производство и потребление которых постоянно расширяется в связи с расширением номенклатуры изделий для различных отраслей экономики [1, 2]. Фторполимеры являются высокотехнологичной и наукоемкой продукцией. Их производство осуществляется в странах, обладающих высоким научным и техническим потенциалом. Создание технологий и производство фторполимеров потребовали развития химии полимеров, химической технологии в целом, химического машиностроения [3]. Поэтому совершенствование производства и потребления фторполимеров, основанное на современных научных исследованиях, способствует развитию целого ряда смежных отраслей и экономики в целом.

По данным компании The Freedonia Group, Inc., занимающейся исследованиями рынка, мировой рынок фторполимеров стабильно растет

(см. рис. 1). Лидирующее место по производству фторполимеров занимают США, на втором месте Западная Европа, третье место принадлежит Китаю. С 2000 года мировое потребление фторполимеров растет на 5-6 % ежегодно [1].

© С. А. Щербина, 2013

### Анализ последних исследований и литературы.

Важным направлением использования фторполимеров является кабельная промышленность [4]. Фторопласты (фторлоны) – техническое название полимеров фторолефинов. Наиболее распространены политетрафторэтилен, политрифторхлорэтилен, поливинилиденфторид.

Фторопласты характеризуются широким диапазоном механических свойств, хорошими диэлектрическими свойствами (таблица 1), высокой электрической прочностью, низким коэффициентом трения, стойки к действию различных агрессивных сред при комнатной и повышенной температуре, атмосферо-, коррозионно- и радиационнстойки, слабо газопроницаемы, *негорючи* или самозатухают при возгорании. Плохо растворяются или не растворяются во многих органических растворителях, не растворимы в воде.

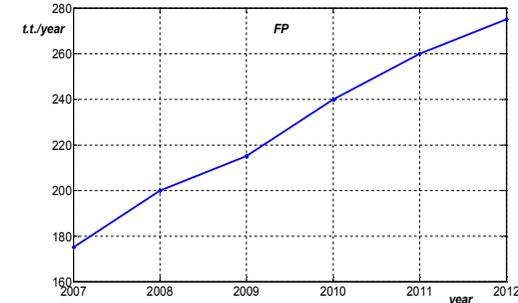


Рис. 1 – Мировой рынок фторполимеров (тыс. тонн в год)

Фторопласт–2М (Ф–2М) представляет собой модифицированный полимер винилиденфторида. Ф–2М значительно уступает фторопласту–4 по терлостойкости (температуре плавления и эксплуатации), диэлектрическим свойствам, антифрикционным и антиадгезионным свойствам. Однако, фторопласт–2М отличается от других фторопластов самой большой прочностью, твердостью (до 90 МПа по Бринеллю), не хладотекуч под действием нагрузки, обладает повышенной упругостью, стойкостью к абразивному износу, истиранию, прорезанию, а также устойчивостью к воздействию ультрафиолетовой и ионизирующей радиации. Ф–2М – трудногорючий материал. Диапазон рабочих температур – от минус –40°С до плюс 150°С. Ф–2М легко сваривается и перерабатывается из расплава всеми известными для термопластов способами при сравнительно невысоких температурах (от плюс 180 до плюс 240°С). Эти свойства и определяют необходимость использования поливинилиденфторида в качестве материала защитной оболочки кабелей специального назначения, в частности, авиaproводов.

Для повышения температуры эксплуатации провода с защитной оболочкой на основе ФМ–2 подвергаются физическому

модифицированию, т.е. фторсодержащие полимеры поддаются структурированию (сшивке) путем радиационного модифицирования. При таком воздействии изменяются механические, тепловые и электрические свойства защитной фторсодержащей оболочки.

Таблица 1 – Свойства фторопластов

Наименование (марка)	Молекулярная масса, тыс.	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Температура стеклования, °С	Температура разложения, °С	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Температура эксплуатации, °С
Политетрафторэтилен (фторопласт-4, тефлон, полифлон, альгофлон, флюон)	50-10000	2,15-2,24	270-327	127	425	10 <sup>17</sup> - 10 <sup>18</sup>	От -260 до 260
<u>Политрифторхлорэтилен</u> (фторопласт-3, дайфлон, кель F)	50-200	2,09-2,16	210-215	50	320	10 <sup>15</sup> - 10 <sup>17</sup>	От -195 до 190
<u>Поливинилиденфторид</u> (фторопласт-2, кайнар, KF полимер)	50-200	1,78	150-175	От -20 до -30	400	10 <sup>10</sup> - 10 <sup>13</sup>	От -45 до 150

**Цель статьи:**

*Обоснование оптимального коэффициента облучения по изменению механических характеристик защитной полимерной оболочки образцов проводов на основе фторопласта – 2 М.*

**Постановка проблемы.**

Технология радиационного модифицирования изоляции кабельных изделий посредством электронно-лучевой сшивки полимеров нашла широкое применение в промышленности [4 – 7]. Сшивка позволяет получить тепловую стабильность материала, что дает возможность реализации продолжительных нагрузок при повышенных рабочих температурах. После сшивки рабочая температура может достигать от 180°С до 250°С. Верхний диапазон температуры зависит от равномерности и степени сшивки полимера [8

– 10]. Затем обнаружилось многие другие преимущества сшитых полимеров.

Применение технологии радиационного модифицирования позволило наладить выпуск широкого ассортимента кабелей для атомных и тепловых станций, нагревательных, морских, кабелей и проводов для авиации, спецтехники. Это все изделия повышенной надежности и несут повышенную нагрузку при экстремальных условиях [8 – 10].

Доза, необходимая для радиационного модифицирования (технологическая доза), зависит как от свойств материала, так и от технических требований, предъявляемых к готовому изделию. Так, в таблице 2 приведены данные зависимости некоторых эксплуатационных свойств фторопласта – 2М от поглощенной дозы излучения [8]. Из этих данных следует, что для снижения усадки в 3 раза достаточно поглощенной дозы 0,05 МГр (5 Мрад), для ликвидации текучести – 0,1 МГр (10 Мрад), для снижения деформации в 2 раза – 0,3 МГр (30 Мрад), а для обеспечения относительного удлинения при разрыве на уровне не менее 100 % поглощенная доза не должна превышать 0,2 МГр (20 Мрад). Поэтому выбор технологической дозы облучения является результатом компромисса между различными свойствами.

Таблица 2 – Влияние дозы облучения на эксплуатационные характеристики поливинилиденфторида

Поглощенная доза, МГр	Усадка изоляции, мм	Показатель текучести расплавов (ПТР), г/10 мин	Деформация при продавливании, %	Относительное удлинение при разрыве, %
0	1,6	3,4	100	380
0,02	-	0,8	-	370
0,03	1,45	0,3	-	355
0,05	0,45	0,1	-	310
0,07	0,36	0,02	-	260
0,10	-	0,01	80	200
0,20	-	-	56	105
0,30	-	-	47	52
0,50	-	-	38	-

Качество радиационной обработки зависит как от самого ускорителя, так и от транспортного оборудования комплекса.

Ускоритель должен работать при стабильных параметрах электронного пучка: энергия, ток пучка, ширина фронта облучения.

Основным параметром системы при прохождении кабеля в зоне радиации является скорость его транспортировки (протяжки). Она должна быть пропорциональна рабочему току пучка электронов.

Для подбора оптимальной дозы образцы облучают с разным коэффициентом облучения (К), который представляет собой отношение скорости протяжки заготовки под пучком электронов (м/мин) к рабочему току пучка (мА). Диапазон изменения коэффициента достаточно широк: он варьируется от 35 до 95 %.

#### Материалы исследований:

На основании проведенных испытаний определены технологические режимы радиационного модифицирования для 6 образцов провода с защитной оболочкой на основе фторопласта – 2М с различными коэффициентами облучения (К) 20; 17; 14; 12; 10; 8. Длина образцов 5 – 6 метров. Один образец – контрольный (не подвергался действию радиационного модифицирования). Энергия ускоренных электронов равна 0,52 МэВ. Количество проходов провода под пучком электронов – 60. Рабочий ток пучка – ориентировочно 10 мА.

#### Результаты исследований:

Результаты испытания облученной фторопластовой оболочки всех образцов: стойкость к тепловой деформации - удлинение под нагрузкой (при температуре 200°C в течение 15 минут – [11]); прочность при растяжении; относительное удлинение при разрыве, - приведены на рис. 2 – 4 соответственно.

При определении стойкости к тепловой деформации (см. рис. 2) для контрольного образца и образцов с коэффициентами облучения 17 и 20 произошел обрыв.

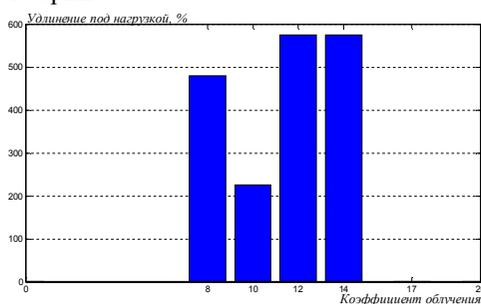


Рис. 2 – Влияние коэффициента облучения на удлинение под нагрузкой облученного фторопласта – 2М

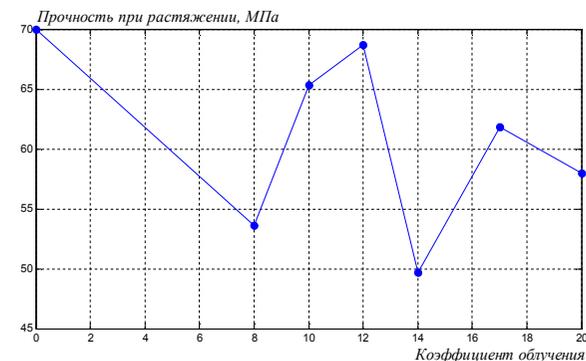


Рис. 3 – Влияние коэффициента облучения на прочность при растяжении облученного фторопласта – 2М

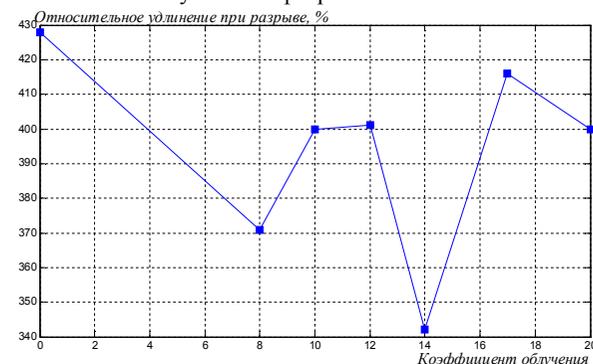


Рис. 4 – Влияние коэффициента облучения на относительное удлинение при разрыве облученного фторопласта – 2М

Полученные результаты свидетельствуют о том, что режим радиационного модифицирования образцов с фторопластовой оболочкой является наиболее оптимальным при коэффициенте облучения  $K = 10$ . При этом режиме обеспечивается стойкость к тепловой деформации, сохраняются высокие физико-механические свойства.

#### Выводы:

Таким образом, показано, что технически целесообразно определять оптимальный коэффициент облучения фторопластовой оболочки после радиационного модифицирования исходя из того, что при превышении величины коэффициента происходит процесс деструкции полимера.

Уточнение оптимального значения коэффициента облучения в серийном производстве при использовании фторопласта – 2М в

качестве материала защитной оболочки необходимо уточнить по результатам механических испытаний на основе более представительной статистической выборки образцов.

**Список литературы :** 1. *Виллемсон, А.Л.* Современное состояние и перспективы мирового рынка фторполимеров / А.Л. Виллемсон // Международные новости мира пластмасс. – 2008. – № 11–12. – С. 20 – 23. 2. *Щербина С.А.* Особенности радиационного модифицирования фторсодержащих полимеров // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Энергетика: надежность и эффективность. Харьков: НТУ «ХПИ». 2012. №. С. 3. *Бузник, В.М.* Состояние отечественной химии фторполимеров и возможные перспективы развития / В.М. Бузник // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LI. – № 3. – С. 7 – 12. 4. *В.Н Забаев.* Применение ускорителей в науке и промышленности. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 5. *M.R Cleland.* Industrial Applications of Electron Accelerators. CERN Accelerator School. Zeegse, Netherlands, 24 May to 2 June, 2005, p. 383. 6. *M.R Cleland.* High Power Electron Accelerators for Industrial Radiation Processing. Radiation Processing of Polymers, Hanser Publishers, Munich, and Oxford University Press, New York (1992) p. 23. 7. *S. Machi.* Growing Industrial Applications of Electron Accelerator in Japan. Topical Meeting AccApp09, IAEA Satellite Mtg. Application of Electron Accelerator May 4 - 8, 2009. 8. Технология производства кабелей и проводов с применением пластмасс и резины: учебное пособие, под ред. Д.техн.наук пр. *И.Б.Пешикова*, М.Машиностроение, 2011. - 367с. 9. Провода и кабели с фторопластовой изоляцией: учебное пособие, *Д.Н.Дикерман, В.С.Кунегин*, М.: Энергоиздат, 1982. - 145 с. 10. Кабели и провода для энергетических установок: Под ред. *Э.Э.Финкеля*. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 136с. 11. МЭК 60811-2-1-2006 «Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей», Часть 2 - 1, Специальные методы испытаний эластомерных композиций. Испытания на озоностойкость, тепловую деформацию и маслостойкость., М.: Стандартиформ, 2007. - 7с.

*Надійшла в редколегію 03.10.2013*

УДК 621.315

**Обоснование коэффициента радиационного облучения защитной оболочки на основе фторопласта - 2М по результатам механических испытаний / С.А. Щербина//** Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність і ефективність. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 59(1032). – С.181 – 187. Бібліогр.: 11 назв.

Показано, що застосування полівініліденфториду є обґрунтованим в якості матеріалу захисної оболонки авіапроводів. Для підвищення температури експлуатації виникає необхідність радіаційного модифікування. На підставі експериментальних даних визначено оптимальний коефіцієнт опромінення фторопласту 2-М.

**Ключові слова:** радіаційне модифікування, фторовмісні полімери, технічна доза опромінення.

It is shown, that application PVDF is proved as a material of a protective jacket of aviawires. For operation rise in temperature there is a necessity of radiating modifying. On the basis of experimental data the optimum factor of an irradiation PTFE-2M is defined

**Keywords:** cable industry, radiation modification, polymers with the maintenance of fluorine, a technical dose of an irradiation, mechanical characteristics.