

Влияние радиационной сшивки в электрическом газовом разряде на механическую прочность полиэтиленовой кабельной изоляции

Новиков Г.К.

Иркутский национальный исследовательский технический университет
г. Иркутск, Российская Федерация

otep100@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы результаты сравнительных исследований электрической изоляции для кабелей среднего напряжения на основе сшитого полиэтилена (СПЭ) низкой плотности, изготовленных с использованием технологий радиационного сшивания рентгеновским излучением электрического газового разряда ЭГР. Рассмотрены экспериментальные данные, полученные на образцах в виде разрывных лопаток, вырубленных в соответствии с ГОСТ ИЕС 60811-2-1 из ПЭ пластин и пленок, а также на полномасштабных образцах кабелей. Проведена оценка глубины проникновения рентгеновского излучения ЭГР в кабельный ПЭНП. Выполнены сравнительные исследования изменений электрофизических свойств и механической прочности кабельного ПЭНП под действием рентгеновского излучения ЭГР и под влиянием электронного пучка.

Ключевые слова: электрически активные центры захвата носителей заряда, центры рекомбинации, ловушки, рентгеновское излучение, глубина поглощения, неполярные полимеры, электрический газовый разряд, термостимулированные токи ТСД, электреты, электропроводность, механическая прочность, полиэтилен низкой плотности, радиационная сшивка.

Сшитый кабельный полиэтилен СПЭ низкой плотности ПЭНП, в настоящее время, является основным компонентом изоляции силовых кабелей. Существующие способы получения СПЭ (химический и радиационный) имеют свои достоинства и недостатки, обусловленные технологией процесса сшивания ПЭНП.

К достоинствам химической (пероксидной, озонидной и силановой) сшивки относят независимость сшивки от толщины кабельной изоляции, а к недостаткам – то, что в настоящее время, привитый сшивающийся ПЭ гранулят с импортными ингредиентами вулканизирующей группы имеет более высокую стоимость по сравнению с отечественным ПЭ и поступает в РФ в ограниченном количестве [1].

Впервые, процесс радиационной сшивки ПЭНП кабельной изоляции с помощью электронного пучков был разработан во ВНИИКП РФ и получил практическое применение на кабельном заводе в г. Подольске [2].

К достоинствам способа радиационной сшивки следует отнести возможность его осуществления с использованием отечественного полимерного сырья, а к недостаткам – зависимость сшивки от толщины кабельной изоляции и высокую степень радиационной опасности электроннолучевого технологического процесса для обслуживающего персонала.

В работах [3-8] показано, что рентгеновское излучение ЭГР вызывает в полимерных кабельных диэлектриках

обратимые и необратимые изменения электрофизических и механических свойств аналогичные вызванным действием электронного пучка (обратимая радиационная электропроводность, обратимые радиационные изменения электретной поляризации, спектров токов термостимулированной деполяризации ТСД, механический радиационный эффект памяти формы, адгезионный поверхностный эффект склеивания и т.д.).

До настоящего времени оставался неизученным важнейший вопрос о влиянии радиационной сшивки рентгеновским излучением ЭГР на механическую прочность ПЭНП кабельной изоляции. С учетом всего выше изложенного в Иркутском национальном исследовательском техническом университете (ИрНТУ) и ОАО “Иркутск-кабель” были проведены исследования по изучению изменений механических свойств кабельного ПЭНП, модифицированного рентгеновским излучением ЭГР.

Образцы ПЭНП толщиной 80 мкм, 1,2 мм, 5 мм и 15 мм облучались в реакторе, принципиальная схема которого приведена в [1]. При определении величины $\delta_{1/2}$ использовался сцинтилляционный дозиметр ДРГЗ-04 и тонкопленочные электретные дозиметры [3, 4]. Облучение электронами производилось на ускорителе электронов РТЭ-1 (энергия электронного пучка 900 кэВ). Методика определения глубины полупоглощения $\delta_{1/2}$ рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП с использованием пленочных электретных дозиметров приведена в [1].

Результаты определения $\delta_{1/2}$ для образцов ПЭНП разной толщины, облученных рентгеновским излучением ЭГР различной жесткости, представлены на рис. 1.

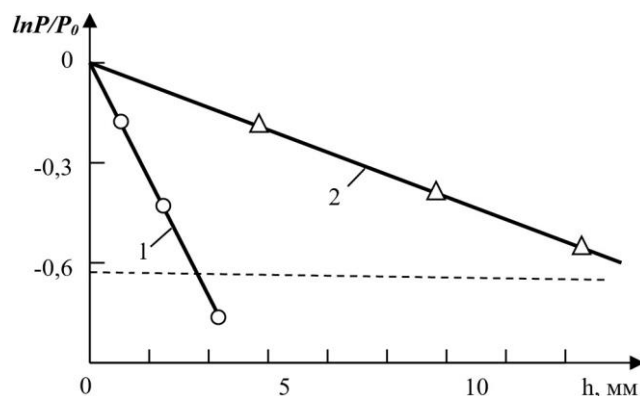


Рис. 1. Определение глубины полупоглощения рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП при разных режимах облучения: 1 – $U_{ЭГР} = 6$ кВ; 2 – $U_{ЭГР} = 50$ кВ

Из рис. 1. видно, что глубина полупоглощения рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП существенно образом зависит от жесткости излучения, от длины волны рентгеновского излучения ЭГР ($\lambda = 1 \dots 10$ нм).

Глубина $\delta_{1/2}$ определяется напряжением питания реактора ЭГР и может составлять в ПЭНП величину более 10 мм.

Согласно существующим ГОСТ на кабельную продукцию [1,4] толщина СПЭ изоляции токопроводящих жил ТПЖ силовых кабелей среднего и высокого напряжения обычно не превышает 12 мм. С учетом этого, следует важный для практики вывод о том, что рентгеновское излучение ЭГР (при определенных режимах генерации) способно производить модификацию радиационного сшивания полимеров на всю толщину изоляции ТПЖ кабелей среднего и высокого напряжения.

Электретная поляриметрия, метод измерения спектров токов термостимулированной деполяризации ТСД и метод измерения температурной зависимости электропроводности $\ln \gamma = f(1/T)$ могут быть использованы для контроля радиационной модификации электрофизических свойств полимерных кабельных диэлектриков [1].

Ионизирующие излучения (электронный пучок и рентгеновское излучение ЭГР) могут вызывать существенные ускорения процессов релаксации электретной поляризации – $\ln U_s = f(t)$, сдвигают пики спектров токов ТСД в область более низких температур, вызывают значительное увеличение объемной электропроводности γ кабельного ПЭНП [8].

На рис. 2-4 представлены экспериментальные результаты исследования изменений электрофизических свойств облученного и необлученного ПЭНП (з-д Полимеров НК Роснефть г. Ангарск) методами электретной поляриметрии, ТСД спектроскопии, и исследования температурных зависимостей электропроводности.

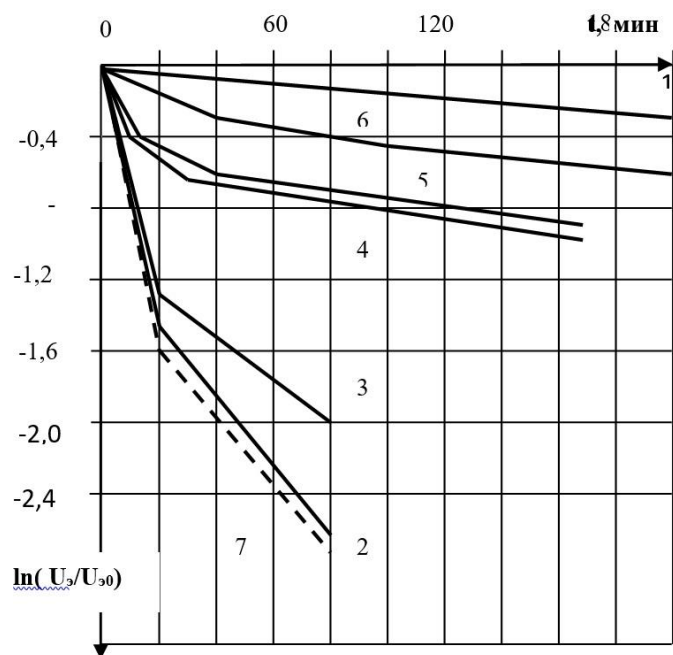


Рис. 2. Зависимости $\ln(U_s/U_{s0}) = f(t)$ для необлученного (1) и облученного рентгеновским излучением ЭГР, $D = 30$ кРад (2-6) и электронами (7) ПЭНП разной толщины: 1 – необлученный ПЭНП ($h = 80$ мкм); 2 – $h = 80$ мкм; 3 – $h = 2,4$ мм; 4 – $h = 5$ мкм; 5 – $h = 12,5$ мм; 6 – $h = 17,5$ мм

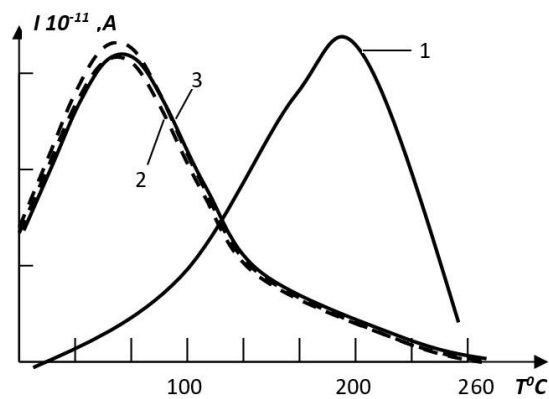


Рис. 3. Сопоставление спектров токов ТСД необлученной пленки ПЭНП (1) и ПЭНП, облученной электронами (2) и рентгеновским излучением ЭГР (3)

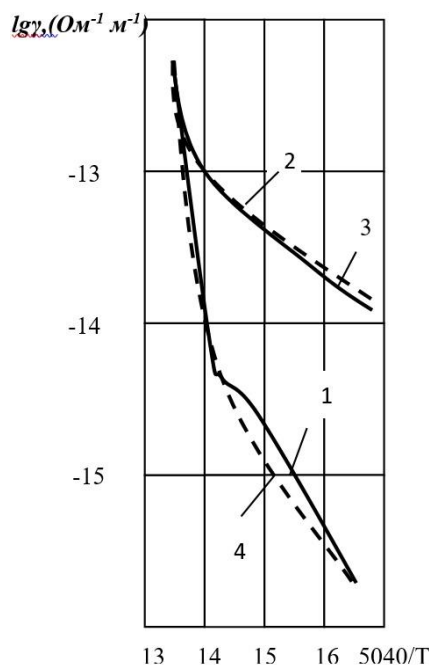


Рис. 4. Сопоставление зависимостей $\ln \gamma = f(1/T)$ необлученной пленки ПЭНП (1), пленки ПЭНП, облученной электронами (2), рентгеновским излучением ЭГР, $D=30$ кРад (3) и прогретой 1 час при $T = 60$ °С (4)

Из результатов экспериментов следует, что все радиационные изменения электрофизических свойств ПЭНП обусловлены радиационным увеличением концентрации электронов и дырок в полимере $N_{e,p}$ за счет разрыва химических связей с атомами водорода полимерной цепи.

В [1, 4] показано, что радиационные изменения электрофизических свойств в ПЭНП в большинстве случаев являются обратимыми. С течением времени после облучения разорванные излучением химические связи в ПЭНП постепенно восстанавливаются (рис. 4, 5), что в свою очередь вызывает обратимое уменьшение концентрации носителей заряда в полимере $N_{e,p}$. Обратимое уменьшение концентрации $N_{e,p}$ сопровождается уменьшением электропроводности γ , восстановлением исходного вида зависимостей $\ln U_s = f(t)$ и формы спектров токов ТСД. В [1] показано, что этот процесс восстановления электрофизических свойств облученного полиэтилена с течением времени значительно ускоряется за счет его нагревания.

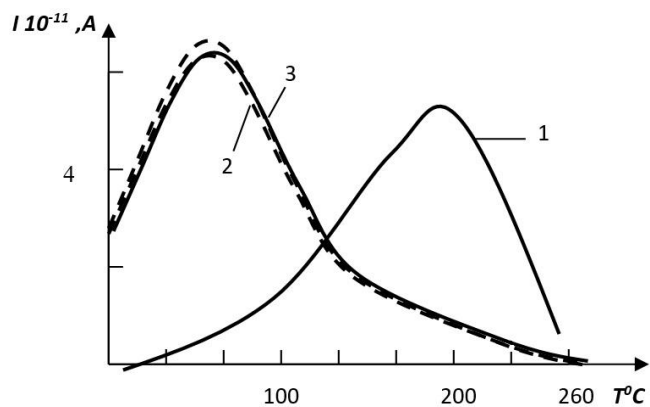


Рис. 5. Сопоставление спектров токов ТСД пленки ПЭНП, облученной излучением ЭГР, $D=30$ кРад и прогретой 1 час при $T = 60$ °С (1) и пленки ПЭНП, облученной электронами (2) и рентгеновским излучением ЭГР (3)

Результаты исследования механической прочности ПЭНП изоляции, сшитой в разных режимах облучения рентгеновским излучением ЭГР, представлены на рис. 6 и 7.

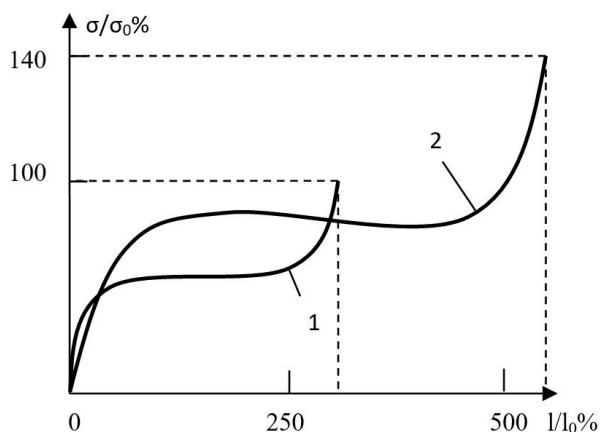


Рис. 6. Зависимость $\sigma/\sigma_0 = f(l/l_0)$ для ПЭНП (з-д Полимеров НК Роснефть г. Ангарск):
1 – необлученный образец;
2 – образец, сшитый рентгеновским излучением ЭГР

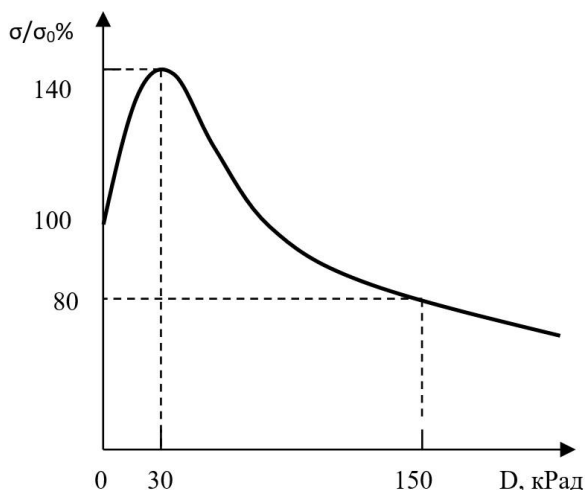


Рис. 7. Зависимость $\sigma/\sigma_0 = f(D)$ для ПЭНП (з-д Полимеров НК Роснефть г. Ангарск), сшитого рентгеновским излучением ЭГР

Из рис. 6 и 7 следует, что рентгеновское излучение ЭГР, при определенных режимах облучения, вызывает увеличение или уменьшение механической прочности ПЭНП изоляции ТПЖ силовых электрических кабелей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы результаты сравнительных исследований механической прочности электрической изоляции ТПЖ для кабелей среднего напряжения на основе сшитого полиэтилена низкой плотности, изготовленных с использованием технологий радиационного сшивания рентгеновским излучением электрического газозового разряда ЭГР. Рассмотрены экспериментальные данные, полученные на образцах в виде разрывных лопаток, вырубленных в соответствии с ГОСТ ИЕС 60811-2-1 из ПЭ пластин и пленок, а также на полномасштабных образцах кабелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы электротехнологии (электросинтез озона, плазменная модификация полимерных кабельных диэлектриков): учеб. пособие. / Г.К. Новиков, В.В. Потапов, К.В. Суслев, В.В. Федчишин. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 208 с.
2. Финкель Э.Э. Нагревостойкие провода и кабели с радиационно-модифицированной изоляцией. / Э.Э. Финкель, Р.П. Брагинский. – Москва: Энергия, 1975. – 193 с.
3. Новиков Г.К. Плазмозофизические электротехнологии модификации полиолефиновой кабельной изоляции: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 104 с.
4. Электротехнологическое и конструкционное материаловедение / Г.К. Новиков, В.В. Потапов, К.В. Суслев, В.В. Федчишин. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 336 с.
5. Новиков Г.К. Электрически активные центры захвата носителей заряда в неполярных и полярных полимерных диэлектриках / Г.К. Новиков, В.В. Федчишин // Электричество. – 2016. – №11. – С. 51-54.
6. Новиков Г.К. Электрически активные центры захвата носителей заряда в диоксиде кремния SiO₂ и слюде / Г.К. Новиков, В.В. Федчишин // Электричество. – 2017. – №5. – С. 57-61.
7. Новиков Г.К., Смирнов А.И., Жданов А.С. Способ получения сшивного кабельного полиэтилена // Патент РФ № 2250912. 2005. Бюл. №12.
8. Новиков Г.К., Смирнов А.И. Устройство для сшивания кабельной изоляции // Патент РФ № 2322716. 2008. Бюл. №11.

Effect of Radiation Cross-Linking in an Electric Gas Discharge on the Mechanical Strength of Polyethylene Cable Insulation

Novikov G.K.

Irkutsk National Research Technical University
Irkutsk, Russian Federation
otep100@mail.ru

Abstract. The article analyzes the results of comparative studies of electrical insulation for medium voltage cables based on cross-linked polyethylene (LDPE) of low density, manufactured using the technology of radiation cross-linking by X-ray radiation of the electric gas discharge of EGR. Experimental data obtained on samples in the form of discontinuous blades, cut according to GOST IEC 60811-2-1 from PE plates and films, as well as on full-scale cable samples, are considered. The penetration depth of X-ray emission of EGR into cable LDPE is estimated. Comparative studies of changes in electrophysical properties and mechanical strength of cable LDPE under the action of X-ray radiation of EGR and under the influence of an electron beam are performed.

Keywords: electrically active centers of charge carrier capture, recombination centers, traps, X-ray radiation, absorption depth, nonpolar polymers, electric gas discharge, thermally stimulated currents of TSD, electrets, electrical conductivity, mechanical strength, low density polyethylene, radiation cross-linking.

REFERENCES

1. Novikov G.K., Potapov V.V., Suslov K.V., Fedchishin V.V. *Osnovy elektrotekhnologii (elektrosintez ozona, plazmennaya modifikatsiya polimernykh kabel'nykh dielektrikov): ucheb. posobie* [Fundamentals of electrotechnology (electrosynthesis of ozone, plasma modification of polymer cable dielectrics): study guide], Irkutsk, Publishing house of the IRNITU, 2017, 208 p. (in Russ.)
2. Finkel E.E., Braginsky R.P. *Nagrevostoykie provoda i kabeli s radiatsionno-modifitsirovannoy izolyatsiey* [Heat-resistant wires and cables with radiation-modified insulation], Moscow, Energy, 1975, 193 p. (in Russ.)

3. Novikov G.K. *Plazmofizicheskie elektrotekhnologii modifikatsii poliiolefinovoy kabel'noy izolyatsii: monografiya* [Plasmophysical electrotechnologies of modification of polyolefin cable insulation: monograph.], Irkutsk, Publishing House of IrSTU, 2007, 104 p. (in Russ.)

4. Novikov G.K., Potapov V.V., Suslov K.V., Fedchishin V.V. *Elektrotekhnologicheskoe i konstruksionnoe materialovedenie* [Electrotechnological and structural materials science], Irkutsk, Publishing House of IrSTU, 2014, 336 p. (in Russ.)

5. Novikov G.K., Fedchishin V.V. Electrically Active Centers Charge Trapping Non-Polar and Polar Polymer Dielectrics [Elektricheski aktivnye tsenry zakhvata nositeley zaryada v nepolyarnykh i polyarnykh polimernykh dielektrikakh], *Elektrichestvo [Electricity]*, 2016, no.11, pp. 51-54. (in Russ.)

6. Novikov G.K., Fedchishin V.V. Electrically Active Charge Trapping Centers in SiO₂ and Mica Crystals [Elektricheski aktivnye tsenry zakhvata nositeley zaryada v dioksidi kremniya SiO₂ i slyude], *Elektrichestvo [Electricity]*, 2017, no.5, pp. 57-61. (in Russ.)

7. Novikov G.K., Smirnov A.I., Zhdanov A.S. *Sposob polucheniya sshivnogo kabel'nogo polietilena* [Method for obtaining cross-linked cable polyethylene] // Patent RU 2250912, 2005. (in Russ.)

8. Novikov G.K., Smirnov A.I. *Ustroystvo dlya sshivaniya kabel'noy izolyatsii* [Device for sewing cable insulation], Patent RU 2322716, 2008. (in Russ.)

Библиографическое описание статьи

Новиков Г.К. Влияние радиационной сшивки в электрическом газовом разряде на механическую прочность полиэтиленовой кабельной изоляции // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2017. – Т.4, №2. – С. 39-42. DOI: 10.24892/RIJEE/20170206

Reference to article

Novikov G.K. Effect of radiation cross-linking in an electric gas discharge on the mechanical strength of polyethylene cable insulation, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2017, vol.4, no.2, pp. 39-42. DOI: 10.24892/RIJEE/20170206