

Механическая прочность и твердость полимерных материалов радиационно сшиваемых рентгеновским излучением электрического газового разряда

Новиков Г.К., Федчишин В.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет
г. Иркутск, Российская Федерация
otep100@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме исследования механических и электрофизических свойств полимерных материалов радиационно сшиваемых рентгеновским излучением электрического газового разряда (ЭГР). Эффект влияния технологии радиационного сшивания на механическую прочность и твердость полимеров представлен на примере образцов различной толщины (от 0,08 мм до 10 мм) полиэтилена (ПЭ) низкой плотности ПЭНП и полиэтилена высокой плотности ПЭВП, изготовленных с использованием технологии радиационного сшивания рентгеновским излучением электрического газового барьерного разряда (ЭГБР), предложенной в [1-10]. Рассмотрены экспериментальные данные, полученные на образцах низкомолекулярного ПЭНП-107-02К и высокомолекулярного ПЭВП-271-82К, изготовленных в виде разрывных лопаток, вырубленных в соответствии с ГОСТ ИЕС 60811-2-1 из ПЭ пластин. Для исследования электрофизических свойств и глубины полупоглощения рентгеновского излучения ЭГР использовались образцы в виде ПЭНП, ПЭВП дисков разной толщины.

Проведена оценка глубины проникновения рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП-107-02К и ПЭВП-271-82К.

Выполнены сравнительные исследования изменений электрофизических свойств механической прочности и твердости кабельного ПЭНП под действием рентгеновского излучения ЭГР и под влиянием электронного пучка.

Показано, что механическая прочность и твердость ПЭНП, ПЭВП при использовании технологии радиационного сшивания рентгеновским излучением ЭГР может быть увеличена не менее чем на 30% и 60%.

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 и твердость, полиэтилен низкой плотности, радиационная сшивка.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение механической прочности кабельного полиэтилена низкой плотности ПЭНП за счет эффекта его химической или радиационной сшивки является основным направлением улучшения термомеханических характеристик силовых кабелей с полиэтиленовой изоляцией. Определенные перспективы увеличения механической прочности кабельного ПЭНП представляет его радиационная сшивка, позволяющая наиболее широко использо-

вать полимерное сырье, производимое на химических предприятиях РФ и снижающая зависимость производителей кабельной продукции в РФ от поставок импортного сырья.

Сшитый кабельный полиэтилен СПЭ низкой плотности, 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 электронных 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 [3-10] 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 изло-

женного в Иркутском национальном исследовательском техническом университете ИРНИТУ и ОАО “Иркутсккабель” были проведены исследования по изучению изменений механических свойств кабельного ПЭНП, модифицированного рентгеновским излучением ЭГР.

Образцы ПЭНП толщиной 80 мк, 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.

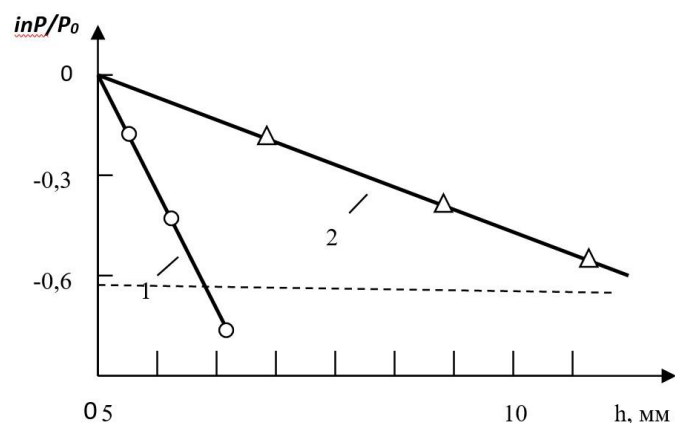


Рис. 1. Определение глубины полупоглощения рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП при разных режимах облучения:
1 – $U_{ЭГР} = 6$ кВ; 2 – $U_{ЭГР} = 50$ кВ

Из рис. 1 видно, что глубина полупоглощения рентгеновского излучения ЭГР в ПЭНП $\delta_{1/2}$ существенным образом зависит от жесткости излучения, от длины волны рентгеновского излучения ЭГР ($\lambda = 1-10$ 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 [1].

На рис. 2, 3 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.

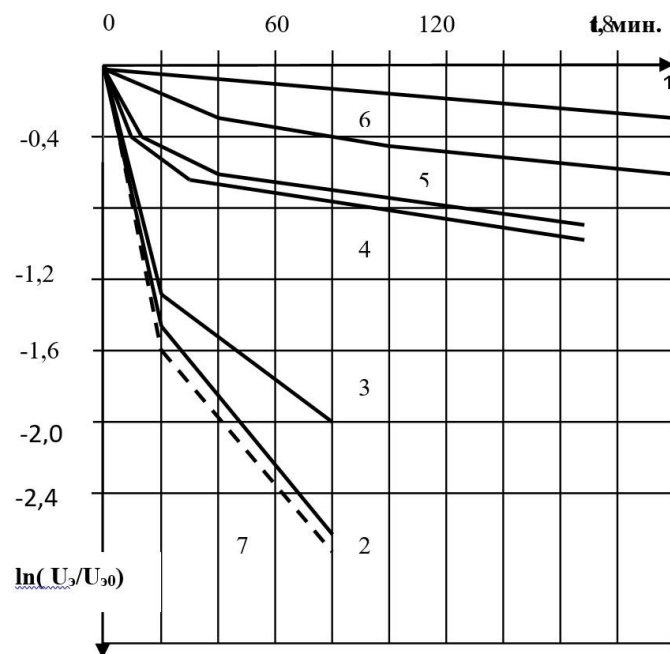


Рис.2. Зависимости $\ln(U_s/U_{s0}) = f(t)$ для необлученного (1) и облученного ($D = 30$ кРад) рентгеновским излучением ЭГР (2-6) и электронами (7) ПЭНП разной толщины:
1 – необлученный ПЭНП ($h = 80$ мкм); 2 – $h = 80$ мкм;
3 – $h = 2,4$ мм; 4 – $h = 5$ мкм; 5 – $h = 12,5$ мм; 6 – $h = 17,5$ мм

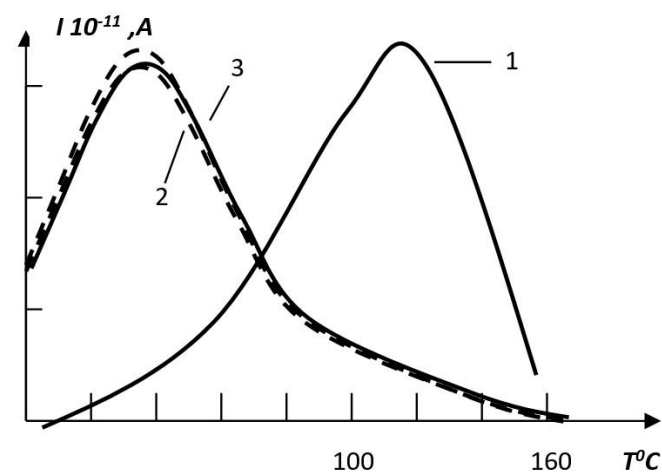


Рис. 3. Сопоставление спектров токов ТСД необлученной пленки ПЭНП (1) и ПЭНП, облученной электронами (2) и рентгеновским излучением ЭГР (3)

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.

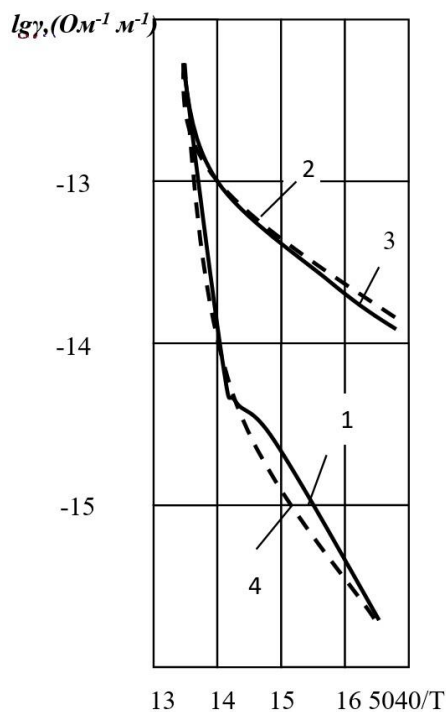


Рис. 4. Сопоставление зависимостей $lg \gamma = f(1/T)$ необлученной пленки ПЭНП (1), пленки ПЭНП, облученной электронами (2), рентгеновским излучением ЭГР, $D = 30$ кРад (3) и прогретой 1 час при $T = 60$ °C (4)

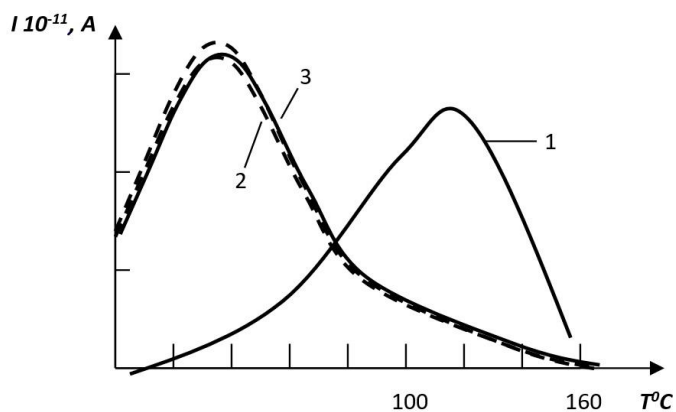


Рис. 5. Сопоставление спектров токов ТСД пленки ПЭНП, облученной излучением ЭГР, $D=30$ кРади прогретой 1 час при $T = 60$ °C (1) и пленки ПЭНП, облученной электронами (2) и рентгеновским излучением ЭГР (3)

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 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.

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

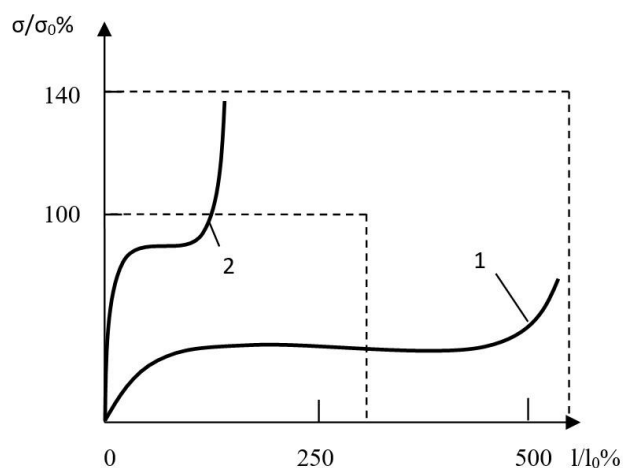


Рис. 6. Зависимость $\sigma/\sigma_0 = f(I/I_0)$ для ПЭВП (з-д. полимеров НК Роснефть, г. Ангарск): 1 – необлученный образец; 2 – образец, сшитый рентгеновским излучением ЭГР

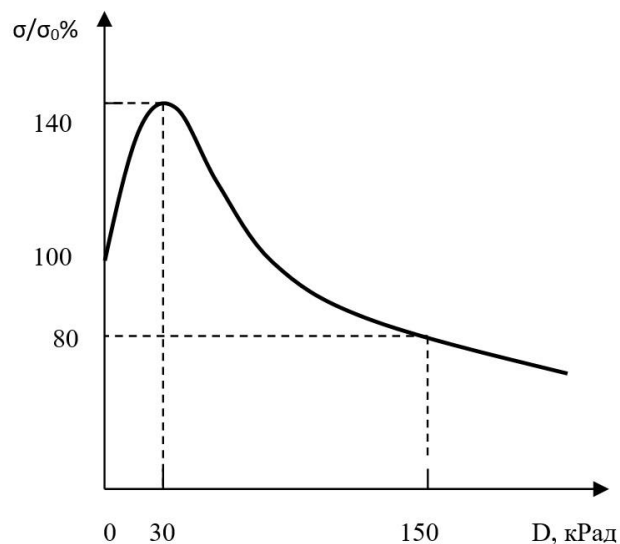


Рис. 7. Зависимость $\sigma/\sigma_0 = f(D)$ для ПЭНП (з-д. полимеров НК Роснефть, г. Ангарск), сшитого рентгеновским излучением ЭГР

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье экспериментально показано, что рентгеновское излучение ЭГР имеет высокую проникающую способность в ПЭНП, ПЭВП, позволяющую производить модификацию радиационного сшивания в слоях изоляции силовых кабелей среднего и высокого напряжения. Впервые также показано, что радиационное сшивание ПЭНП и ПЭВП при определенных режимах облучения рентгеновским излучением ЭГР позволяет увеличить механическую прочность и твердость радиационно сшиваемых полимеров приблизительно на 40-60%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы электротехнологии (электросинтез озона, плазменная модификация полимерных кабельных диэлектриков): учеб. пособие. / Г.К. Новиков, В.В. Потапов, К.В. Суслов, 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. Плазмифизические 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. Суслов,

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 SiO₂и 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.
9. Новиков Г.К., Федчишин В.В., Суслов К.В., Смирнов А.И., Потапов В.В., Новиков В.В., Пушко О.Е. Способ радиационной сшивки полимерной изоляции электрических кабелей и проводов и устройство для его осуществления // Патент РФ 2662532, 2018, Бюл. №21.
10. Новиков Г.К., Потапов В.В., Суслов К.В., Федчишин В.В., Шушпанов И.Н. Современная электротехнология: плазменная модификация полимерных кабельных диэлектриков, электросинтез озона: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 180 с.

DOI: 10.24892/RIJEE/20190109

Mechanical Strength and Hardness of Polymeric Materials Radiation-Crosslinked by X-Rays of an Electric Gas Discharge

Novikov G.K., Fedchishin V.V.

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

Abstract. The article is devoted to the problem of studying the mechanical and electrophysical properties of polymeric materials of radiation-crosslinked X-ray radiation from an electric gas discharge (EGR). The effect of radiation crosslinking technology on the mechanical strength and hardness of polymers is presented on the example of samples of different thickness - (from 0.08 mm to 10 mm) low density polyethylene (LDPE) polyethylene and high density polyethylene (HDPE) crosslinking made using electrical X-ray radiation gas barrier discharge (EGB), proposed in [1]. Experimental data obtained on samples of low molecular weight LDPE-107-02K and high molecular weight HDPE-271-82K made in the form of explosive blades, cut in accordance with GOST IEC 60811-2-1 from PE plates, are considered. To study the electrophysical properties and the depth of the X-ray absorption half of the EGR, samples were used in the form of LDPE, HDPE disks of different thickness.

The estimation of the depth of penetration of X-rays by EGR in LDPE-107-02K and PEVP-271-82K was carried out.

Comparative studies of changes in the electrophysical properties of mechanical strength and hardness of cable LDPE under

the influence of X-ray radiation EHR and under the influence of an electron beam are carried out.

It is shown that the mechanical strength and hardness of LDPE, HDPE using X-ray radiation crosslinking technology, EHR can be increased.

Keywords: electrically active carrier capture centers, recombination centers, traps, X-rays, absorption depth, non-polar polymers, electrical gas discharge, thermally stimulated TSD currents, electrets, electrical conductivity, mechanical strength and hardness, low density polyethylene, radiation crosslinking.

REFERENCES

1. Novikov G.K., Potapov V.V., Suslov K.V., Fedchishin V.V. *Osnovy elektrotekhnologii (elektrosintez ozona, plazmennaya modifikatsiya polimernykh kabel'nykh dielektrikov)* [Basics of Electrotechnology (Electron Synthesis of Ozone, Plasma Modification of Polymeric Cable

Dielectrics)], Irkutsk, Publishing house INRTU, 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 poliolefinovoy kabel'noy izolyatsii: monografiya* [Plasmophysical electrotechnology modification of polyolefin cable insulation: a monograph], Irkutsk, ISTU publishing house, 2007, 104 p. (in Russ.)

4. Novikov G.K., Potapov V.V., Suslov K.V., Fedchishin V.V. *Elektrotekhnologicheskoe i konstruktsionnoe materialovedenie* [Electrotechnological and structural materials science], Irkutsk, ISTU publishing house, 2014, 336 p. (in Russ.)

5. Novikov G.K., Fedchishin V.V. Electrically active carrier-trapping centers in non-polar and polar polymer dielectrics [Elektricheski aktivnye tsentry 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 carrier-trapping centers in silicon dioxide SiO₂ and mica [Elektricheski aktivnye tsentry zakhvata nositeley zaryada v dioksidge 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* [A method of producing cross-linked cable polyethylene], Patent RF 2250912, 2005. Bull. no.12. (in Russ.)

8. Novikov G.K., Smirnov A.I. *Ustroystvo dlya sshivaniya kabel'noy izolyatsii* [A device for stitching cable insulation], Patent RF 2322716, 2008, Byul. no.11. (in Russ.)

9. Novikov G.K., Fedchishin V.V., Suslov K.V., Smirnov A.I., Potapov V.V., Novikov V.V., Pushko O.E. *Sposob radiatsionnoy sshivki polimernoy izolyatsii elektricheskikh kabeley i provodov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The method of radiation stitching polymer insulation of electrical cables and wires and a device for its implementation], Patent RF 2662532, 2018, Byul. no.21. (in Russ.)

10. Novikov G.K., Potapov V.V., Suslov K.V., Fedchishin V.V., Shushpanov I.N. *Sposob radiatsionnoy sshivki polimernoy izolyatsii elektricheskikh kabeley i provodov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Modern electrotechnology: plasma modification of polymer cable dielectrics, ozone electrosynthesis: monograph], Irkutsk, Publishing house INRTU, 2018, 180 p. (in Russ.)

Библиографическое описание статьи

Новиков Г.К. Механическая прочность и твердость полимерных материалов радиационно сшиваемых рентгеновским излучением электрического газового разряда / Г.К. Новиков, В.В. Федчишин // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2019. – Т.6, №1. – С. 57-61. DOI: 10.24892/RIJEE/20190109

Reference to article

Novikov G.K., Fedchishin V.V. Mechanical strength and hardness of polymeric materials radiation-crosslinked by x-rays of an electric gas discharge, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2019, vol.6, no.1, pp. 57-61. DOI: 10.24892/RIJEE/20190109