

УДК 621.315

**Ю.С. Жданов, О.А. Попов**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОЙ РЕЗИНЫ В КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

Рассмотрено применение этиленпропиленовой резины в кабельно-проводниковой продукции. Рассмотрены перспективы использования в качестве изоляции кабелей современных сшиваемых материалов. Дана оценка области применения резины для изоляции и защитных оболочек кабелей, приведены свойства резины. Произведено сравнение с другими видами электроизоляционных материалов на примере сшитого полиэтилена и бумажной изоляции, указаны преимущества и недостатки в сравнении с этими видами изоляции. Даны рекомендации по выбору оборудования для производства изделий с этиленпропиленовой резиной: экструзионного агрегата, формующего инструмента и среды вулканизации. Указаны примерные режимы переработки данного вида материала. Даны рекомендации по условиям прессования и вулканизации. Рассмотрены особенности технологического процесса вулканизации, его температурных режимов, а также сопутствующего оборудования для обеспечения и контроля качества получаемого изделия.

**Ключевые слова:** кабель, этиленпропиленовая резина, свойства материала, технологический процесс.

**Y.S. Gdanov, O.A. Popov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **APPLICATION OF ETHYLENE-PROPYLENE RUBBER IN CABLE TECHNOLOGY**

Application of ethylene propylene rubber in cable and wire products is considered. Prospects for use of modern crosslinkable materials as cable insulation is considered. Evaluation scope for rubber insulation and protective cable sheath is given, shows the properties of rubber. Comparison with other types of insulating materials on the example of cross-linked polyethylene insulation and paper is produced, the advantages and the disadvantages in comparison with these types of insulation is indicated. Recommendations for selection of equipment for the production of products with ethylene propylene rubber: the forming tool and pressing aggregate, curing environment are given. Approximate modes of processing this type of material are specified. Recommendations for compaction and curing conditions are given. Features of vulcanization technological process are considered: temperature conditions, related equipment for ensure and control the quality of the product.

**Keywords:** cable, ethylene propylene rubber, material properties, technological process.

Развитие современной техники неразрывно связано с выпуском кабельной продукции. Современная кабельная техника характеризуется применением высоких напряжений и высоких частот, увеличением передаваемых мощностей, созданием кабелей и проводов для работы в условиях высоких и низких температур, высокой влажности окружающей среды, воздействия радиации и химически активных веществ, наличия вибрации т.д. Повышенные требования к свойствам кабелей и проводов невозможно удовлетворить с использованием существующих электроизоляционных материалов, поэтому необходимо создать новые, более совершенные материалы.

Без применения специальных материалов невозможно создание новых типов кабелей и проводов. Широкое применение в промышленности получили гибкие силовые кабели с резиновой изоляцией, основным преимуществом которых является их гибкость, позволяющая при эксплуатации допускать малые радиусы изгибов.

Особенностью кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины является высокая допустимая температура нагрева токопроводящей жилы, что позволяет пропускать большие мощности и обеспечивает высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании, что особенно важно в случае, когда сечение кабеля выбрано только на основании номинального тока короткого замыкания.

Резины типа РТЭПИ и РШН повышенной теплостойкости на основе этиленпропиленовых каучуков для изоляции токопроводящих жил по ТУ16К71.098-90 предназначены для изолирования кабелей до 35 кВ и наложения негорючих масло-бензостойких оболочек [1, 5]. При использовании резины для изоляции кабелей на напряжение свыше 6 кВ по токопроводящей жиле и изоляции должны быть наложены экраны из полупроводящего материала.

Механические свойства резины должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1 [2, 7, 8].

Таблица 1

Механические свойства резины

Тип резины	Прочность при растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	Относительная остаточная деформация, %, не более	Сопrotивление раздиру, кН/м (кгс/см), не менее	Истираемость, м <sup>3</sup> /ТДж (см <sup>3</sup> /кВТ*ч), не более
РТЭПИ-1	3,72 (38)	300	–	–	–
РШН-1	10,78 (110)	310	30	11,8 (12)	139 (500)

Изменение прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве в процессе термического старения резин должно соответствовать нормам, указанным в табл. 2.

Таблица 2

## Показатели старения

Тип резины	Режим старения		Показатели старения	
	Температура, °С	Продолжительность, ч	Снижение прочности при растяжении, %, не более	Снижение относительного удлинения при разрыве, %, не более
РТЭПИ-1	125	168	50	60
РШН-1	100	72	20	35

После выдержки изоляционной резины РТЭПИ-1 в течение 24 ч при температуре  $(20 \pm 5)$  °С ее удельное объемное электрическое сопротивление на длине 1 м должно быть не менее  $1 \cdot 10^{12}$  Ом, а электрическая прочность не менее 25 кВ/м [2, 7].

Морозостойкость резины типа РШН-1 должна соответствовать минус 30 °С [2, 7].

Снижение прочности при разрыве и относительное удлинение при разрыве для резины РШН-1 после 24 ч пребывания в индустриальном масле марки И-40А или И-50А (ГОСТ 20799-88) при температуре  $(100 \pm 1)$  °С должны быть не более 20 % соответственно [7].

Резина типа РШН-1 не должна распространять горение [3].

Сравнительная характеристика кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ), сшитой полимерной изоляцией (СПЭ) и этиленпропиленовой изоляцией (ЭПР) представлена в табл. 3 [2, 4, 6, 9, 10].

Таблица 3

## Сравнительная характеристика кабелей

Характеристики	Кабель с ЭПР изоляцией	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с БПИ изоляцией	Комментарии
1	2	3	4	5
Температура жилы при работе в номинальном режиме, °С	90 (до 105)	90	70	При использовании одинаковых сечений токовая нагрузка кабелей с ЭПР изоляцией выше

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Температура жилы при перегрузке, °С	105–110 (до 140)	105–110	90	–
Температура жилы при коротком замыкании (до 5 с), °С	250 (до 300)	250	200	–
Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева, °С	–15 (до –40)	–15	0	–
Температурный диапазон эксплуатации, °С	От –60 до +50	От –50 до +50	От –50 до +50	–
Термическое сопротивление	Хорошее	Среднее	Удовлетворительное	Высокое термическое сопротивление снижает риск деформации в материале изоляции кабеля
Стойкость к маслам	Хорошая	Средняя	Хорошая	–
Гибкость	Хорошая	Средняя	Плохая	Высокая гибкость кабеля сокращает время установки
Уровни прокладки	Без ограничений	Без ограничений	Не более 15 м	В кабелях с твердой изоляцией отсутствуют ограничения по уровням прокладки
Радиусы изгибов	От 4 Дн	15 Дн	25 Дн	Высокая гибкость упрощает монтаж кабельных линий
Нераспространение горения	Хорошее	Удовлетворительное (*)	Хорошее	(*) в оболочках типа «нг»
Водный триинг (древовидные трещины в структуре изоляции, при попадании воды на ее поверхность)	Хорошая устойчивость	Средняя устойчивость	Очень плохая устойчивость	При использовании изоляции из сшитого полиэтилена необходимы присадки, обеспечивающие устойчивость к водному триингу и герметизация
Применение в сетях с изолированной нейтралью (триингостойкость) – стойкость к разрушению при КЗ – К(1)	Хорошая К(1,1) и К(2)	Плохая	Хорошая	При возникновении К(1) в сети с изолированной нейтралью возможно значительное повреждение изоляции СПЭ, что может привести к возникновению каверн
Применение во взрывоопасных зонах	Да	Нет (п.7.3.102 ПУЭ)	Да	–
Срок службы	Очень хороший	Очень хороший (*)	Очень хороший (**)	(*) при наличии защиты от проникновения воды (***) ограничен высушиванием материалов изоляции

Также этиленпропиленовая изоляция обеспечивает высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании, что особенно важно в случае, когда сечение кабеля выбрано только на основании номинального тока короткого замыкания в связи с отсутствием фазового перехода 2-го рода [3].

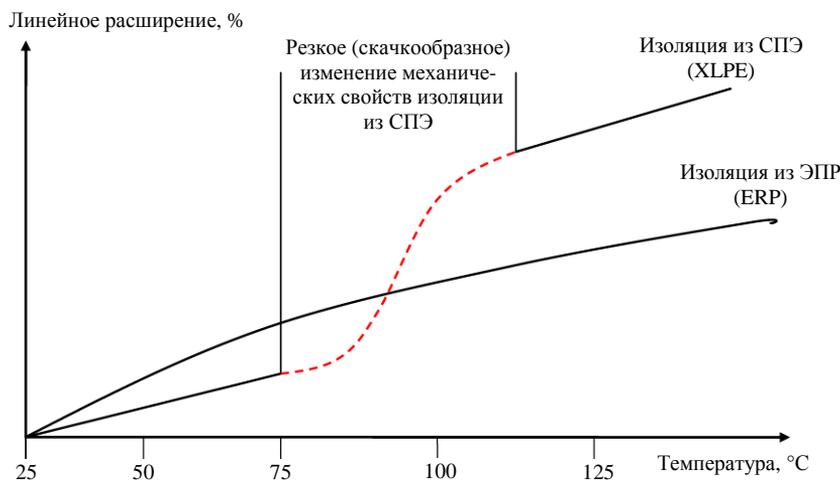


Рис. Зависимость деформации от температуры для СПЭ и ЭПР

Технология наложения этиленпропиленовых изоляции и оболочки схожа с технологией производства обычных резин.

Вулканизирующим агентом может выступать сера, а катализатором перекись дикумила.

Наложение резиновой изоляции производится на агрегатах непрерывной вулканизации.

Формующий инструмент (дорн и матрица) должен быть термообработан и, как правило, хромирован. Параметр шероховатости (Ra) поверхности этих деталей, соприкасающихся с резиной и токопроводящей жилой, равен 0,32–0,25 мкм.

Для обеспечения особой стабильности технологического процесса часто увеличивают число зон обогрева цилиндра до четырех и даже до пяти.

Как правило, фирмы-изготовители представляют свои рекомендации по температурным режимам, однако если они не указаны, то следует руководствоваться данными табл. 4.

Таблица 4

Температурный режим изолирования

Зона	Шнек	Воронка	1	2	Головка
$T, ^\circ\text{C}$	$70\pm 20$	$50\pm 10$	$70\pm 20$	$70\pm 20$	$90\pm 10$

При кратковременных остановках линии шнек экструдера должен вращаться, чтобы избежать подвулканизацию частичек композиции которые могут привести к снижению качества изоляции. Вулканизация должна происходить в среде пара при давлении 15–20 кгс/см<sup>2</sup>. Поверх скрученных изолированных жил должна быть продольно наложена пленка ПЭТ-Э с перекрытием не менее 10 мм. Необходимо использовать экструдеры с длинным шнеком:  $L = (12...18)d$  [1, 3]. Шнек должен быть коническим. Длина трубы вулканизации должна быть как можно длиннее для обеспечения как можно максимальной скорости изолирования.

Жила попадает в вулканизационную трубу, которая состоит из нескольких зон. Температура в трубе составляет 200 °С. Необходимым условием является прогрев изоляции до температуры, близкой к 200 °С, и выдержка в течение времени, которое рассчитывается из условий полураспада пероксида.

Для уменьшения расхода материала и контроля положения ТПЖ в изоляции, а также для отслеживания количества включений и их размера используются рентгеновские установки. Это позволяет постоянно следить за качеством технологического процесса.

Таким образом, можно утверждать, этиленпропиленовая резина для изоляции и оболочки является передовым и перспективным материалом для кабельно-проводниковых изделий.

**Библиографический список**

1. Основы кабельной техники: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Леонов [и др.]. – М.: Академия, 2006. – 347 с.
2. Группа компаний «Севкабель» [Электронный ресурс]. – М., 2014. – URL: <http://sevcable.ru/klientam/otraslevye-resheniya/dobyvayushchaya-i-neftegazovaya-otrasl/etilenpropilenovaya-rezina-preimushchestva-izolyacii>. (дата обращения: 30.06.2014).
3. Раувендаль К. Экструзия полимеров. – СПб.: Профессия, 2008. – 786 с.

4. Кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины // Мир современных материалов [Электронный ресурс]. – М., 2014. – URL: <http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/28-silovye-kabeli/65-kabeli-s-izolyatsiej-iz-etilenpropilenoj-reziny> (дата обращения: 30.06.2014).

5. Кабель для взрывоопасных зон // Энергетика и промышленность России. – 2013. – № 13–14. – С. 225–226.

6. Силовые кабели с пластмассовой изоляцией низких и средних классов напряжения [Электронный ресурс]. – URL: <http://pue8.ru/kabelnye-linii/127-silovye-kabeli-s-plastmassovoy-izolyaciey-nizkih-i-srednih-klassov-napryazheniya.html> (дата обращения: 30.06.2014).

7. Нурмухаметова А.Н. Резины на основе этиленпропиленового каучука, наполненные минеральными наполнителями на основе шунгита: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2012. – 20 с.

8. Производство резинотехнических и асбестотехнических изделий (обзор). – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. – 64 с.

9. Использование кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины CREOLON // Сфера НЕФТЕГАЗ. – 2011. – № 2. – С. 110–111.

10. Таблица. Резины, каучуки и эластомеры, свойства, наименования международные ASTM, ASME, API и SAE, кодировка корпоративная, наименование примерных отечественных аналогов. Химическая стойкость // Инженерный справочник [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMatherials/ResinesElastomersPlasticsPolimers/ResinesElastomersPlasticsPolimersTableNames/> (дата обращения: 03.07.2014).

## References

1. Osnovy kabel'noi tekhniki: ucheb. dlia stud. vyssh. ucheb. zavedenii [Fundamentals cable technology: the textbook. for university students] V.M. Leonov [and others]. Moscow: Izd. tsentr «Akademiia», 2006. p. 347.

2. Gruppa kompanii «Sevkabel'» [Elektronnyi resurs] [Group "Sevkabel" [electronic resource]]. Moscow, 2014. URL: <http://sevcable.ru/klientam/otraslevye-resheniya/dobyvayushchaya-i-neftegazovaya-otrasl/etilenpropileno-vaya-rezina-preimushchestva-izolyacii> (Data obrashcheniia [Date of application]: 30.06.2014).

3. Rauvandal' K. Ekstruziia polimerov. [Polymer Extrusion]. SPb.: Professiia, 2008. p. 786.

4. Kabeli s izoliatsiei iz etilenpropilenovoi reziny. Mir sovremennykh materialov [Elektronnyi resurs] Cables insulated with ethylene propylene rubber. World of modern materials [electronic resource] Moscow., 2014 URL:<http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/28-silovye-kabeli/65-kabeli-s-izolyatsiej-iz-etilenpropilenovoj-reziny> (Data obrashcheniia [Date of application]: 30.06.2014).

5. Kabel' dlia vzryvoopasnykh zon .Energetika i promyshlennost' Rossii [Cable for hazardous areas // Energy and Industry of Russia]. 2013. № 13-14. p 225-226.

6. Silovye kabeli s plastmassovoi izoliatsiei nizkikh i srednikh klassov napriazheniia-pue8.ru Putevoditel' po energetike [Elektronnyi resurs] [Power cables with plastic insulation of low and medium voltage class- [Electronic resource]. URL:<http://pue8.ru/kabelnye-linii/127-silovye-kabeli-s-plastmassovoy-izolyaciey-nizkih-i-srednih-klassov-napriazheniya.html> (Data obrashcheniia [Date of application]: 30.06.2014).

7. Nurmukhametova A.N. Reziny na osnove etilenpropilenovogo kauchuka, napolnennnye mineralnymi napolniteliami na osnove shungita. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Rubber based on EPDM filled mineral fillers based shungit. Avtoreferat thesis for the degree of candidate of technical sciences].Kazan', 2012. p. 20.

8. Obzor. Ser «Proizvodstvo rezino-tekhnicheskikh i asbestotekhnicheskikh izdelii» [Review. Series "Production of rubber technical and asbestos products"], Moscow: TsNIITeneftkhim,1986. - 64 s.

9. Ispol'zovanie kabelei s izoliatsiei iz etilenpropilenovoi reziny CREOLON®. [The use of cables with EPR rubber CREOLON]. Sfera neftegaz. 2011. №2 p.110-111.

10. Inzhenernyi spravochnik. Obzor: Tablitsa. Reziny, kauchuki i elastomery svoictva, naimenovaniia mezhdunarodnye ASTM, ASME, API i SAE, kodirovka korporativnaia, naimenovanie primernykh otechestvennykh analogov. Khimicheskaiia stoikost'. [Elektronnyi resurs] [10. Engineers Handbook. Overview: Table. Rubber and elastomers svoictva, naming international ASTM, ASME, API and SAE, corporate coding, name of exemplary domestic counterparts. Chemical resistance [Electronic resource]] URL: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMatherials/ResinesElastomersPlasticsPolimers/ResinesElastomersPlasticsPolimersTableNames> (Data obrashcheniia [Date of application]: 03.07.2014).

### **Сведения об авторах**

**Жданов Юрий Сергеевич** (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ktei@pstu.ru).

**Попов Олег Александрович** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры конструирования и технологии в электротехнике Пермского национального исследовательского политехнического университета» (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ktei@pstu.ru).

### **About the authors**

**Gdanov Yuriy Sergeevich** (Perm, Russian Federation) – is a student Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: ktei@pstu.ru).

**Popov Oleg Aleksandrovich** (Perm, Russian Federation) – Assistant Lecturer at the Department of Design and Technologies in Electrical Engineering of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: ktei@pstu.ru).

Получено 10.06.2014