

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/19TVN217.pdf>

Статья опубликована 22.03.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Леонов А.П., Матери Т.М. Исследование влияния внешних факторов на полимерные материалы оболочек гибких кабелей, применяемых в системах питания транспортного и горного электротехнического оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/19TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

*Авторы выражают благодарность LAPPGroup (г. Штутгарт, Германия) за предоставленные образцы и ООО «НИИЦ» (Россия, г. Томск) за возможность проведения испытаний*

**УДК 621.315.21**

**Леонов Андрей Петрович**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск<sup>1</sup>  
Доцент кафедры «Электротехнических комплексов и материалов»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [leonov\\_ap@tpu.ru](mailto:leonov_ap@tpu.ru)

**Матери Татьяна Михайловна**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск  
Ассистент кафедры «Электротехнических комплексов и материалов»  
E-mail: [MateriTM@yandex.ru](mailto:MateriTM@yandex.ru)

## **Исследование влияния внешних факторов на полимерные материалы оболочек гибких кабелей, применяемых в системах питания транспортного и горного электротехнического оборудования**

**Аннотация.** В работе проведена оценка стойкости изоляционных материалов, применяемых при производстве гибких кабелей (фторопласт, поливинилхлоридный пластикат, этиленпропиленовая резина) к действию комплекса факторов, характерных для режимов эксплуатации транспортного и горного электрооборудования: механические нагрузки, пониженные температуры, агрессивная среда низкомолекулярных углеводородов. Актуальность работы определяется необходимостью повышения и обеспечения надежности систем электроснабжения транспортного и горного электротехнического оборудования, а также расширения соответствующей номенклатуры кабельных изделий. Отмечено: основным элементом конструкции гибких кабелей, определяющим его надежность и безаварийное функционирование, является оболочка. В качестве критерия стойкости оболочки к эксплуатационным факторам принято изменение предела прочности на разрыв и относительного удлинения, а также стойкость к монтажному изгибу. Показано, что воздействие пониженных температур практически не влияет на изменение физико-механических характеристик исследованных материалов. Изменение предела прочности образцов из фторопласта составило 4,9%, поливинилхлоридного пластиката (ПВХ) около 2,0%, этиленпропиленовой резины 5,8%. Относительное удлинение образцов после выдержки при

---

<sup>1</sup> 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

пониженных температурах изменяется незначительно и не превышает 15%: для этиленпропиленовой резины 9%, ПВХ-пластиката - 14,9%, фторопласта - 1,6%. Установлено, что образцы с изоляцией из фторопласта и этиленпропиленовой резины успешно прошли испытания на монтажный изгиб при температурах включительно до -60°C. Результаты испытаний показали, наиболее устойчивым материалом к воздействию дизельного топлива и трансформаторного масла является фторопласт. Изменение физико-механических параметров не превысило 10%. Стойкость фторопласта к воздействию углеводородных жидкостей объясняется высоким значением энергии связи «углерод-фтор», характером растворения контактируемых материалов с учетом их полярности. Сделаны рекомендации о перспективности применения исследованных материалов в качестве оболочек гибких кабелей, применяемых для питания электротехнических систем транспортного и горного оборудования.

**Ключевые слова:** гибкий кабель; оболочка; полимерная изоляция; морозостойкость; маслостойкость; монтажный изгиб; предел прочности; относительное удлинение

### Введение

Повышение технического уровня и качества продукции, средств автоматизации, приборов, электрооборудования и схем электроснабжения относятся к числу наиболее острых проблем, связанных с развитием современной техники, долговечностью, надежностью. Основные направления развития кабельной промышленности, как в России, так и за рубежом связаны с разработкой новой и расширением существующей номенклатуры кабельных изделий (КИ), а также с усовершенствованием ранее выпускаемой продукции.

Самой распространенной группой на сегодняшний день являются кабели управления, контрольные и силовые. В зависимости от назначения и условий эксплуатации они должны быть устойчивы к воздействию широкого диапазона рабочих температур, минеральным маслам и дизельному топливу, электрическим напряжениям, механическим нагрузкам и т.д. [1]. От качества и надежности конструкции кабелей зависит надежность работы транспортного и горного электротехнического оборудования, средств связи, бытовых электротехнических установок и т.д. Исследование процессов, приводящих к ухудшению эксплуатационных свойств кабелей, позволит повысить надежность их работы, следовательно, и надежность работы оборудования во всех отраслях промышленности.

В связи с тем, что значительно увеличивается география разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, в том числе северных районов РФ, существует острая необходимость в расширении номенклатуры КИ обладающих повышенными эксплуатационными свойствами, адаптированными к условиям Арктики и Крайнего Севера. Прежде всего, разработка новых конструкций связана с выбором и применением материалов, обладающих необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами. В связи с этим выбор полимерных материалов, отвечающих данным условиям эксплуатации, должен решаться, прежде всего, с учетом их масло- и морозостойкости. Особенно актуальна эта проблема для гибких кабелей, питающих подвижные элементы транспортных систем и горного электрооборудования, которые в процессе эксплуатации подвергаются многократным перегибам, изгибающим и торсионным нагрузкам, непосредственному контакту с агрессивными средами. В связи с этим изоляция и оболочка подобных изделий должны обладать повышенной механической прочностью, маслостойкостью в сочетании с достаточной эластичностью в широком диапазоне температур.

Одно из главных требований к гибким кабелям - стойкость оболочки к растрескиванию. Оценка данного параметра, как правило, заключается в определении температуры, при которой происходит разрушение полимера [2]. Согласно ГОСТ 17491-80 «Кабели, провода и шнуры с

резиновой и пластмассовой изоляцией и оболочкой. Методы испытания на холодостойкость», к морозостойким относятся КИ, на поверхности которых после испытаний при визуальном осмотре, не видны трещины.

Маслостойкость определяется в соответствии с ГОСТ ИЕС 60811-2-1-20011 «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». Согласно требованиям данного стандарта, к маслостойким относятся кабели, механические характеристики изоляции и оболочки которого после испытания сохраняются в пределах допустимого значения (предельно допустимые значения устанавливаются в стандартах или технических условиях на конкретный кабель). При разработке новой конструкции КИ, выбор материалов чаще всего основан на результатах испытаний пластмасс на стойкость к агрессивным средам согласно ГОСТ 12020-72 (СТ СЭВ 428-89) «Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред». Стойкость оценивается по изменению механических характеристик материала. Для термопластов, например, регламентируется следующая шкала стойкости: изменение на 0...10% - «хорошая» устойчивость, свыше 10...15% - «удовлетворительно», свыше 15% - «плохо».

Помимо этого, согласно ГОСТ ИЕС 60811-2-1-2011 и ГОСТ 12020-72 устойчивость оболочки к набуханию оценивается опосредованно, через изменение механических характеристик, которые наиболее чувствительны к процессам старения. В то же время, известно: в ряде случаев длительное набухание в конечном итоге всегда приводит к ухудшению механических свойств полимера, пластифицирующий эффект набухания может краткосрочно приводить к временному повышению прочности полимерного материала [3].

На сегодняшний день в технической литературе недостаточно информации о стойкости полимеров к воздействию жидких углеводородов и опыте применения гибких кабелей при температурах ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ .

В настоящее время для производства маслостойких и морозостойких кабелей как в России, так за рубежом широко применяют термопластичные (TPU) и специальные ПВХ - компаунды (PVC), этиленпропиленовую резину (EPDM) и фторполимеры (PTFE) [4]. Представляет практический интерес проведение сравнительного анализа устойчивости данных материалов к воздействию углеводородных жидкостей и пониженных температур, с целью определения возможности их применения в системах электроснабжения транспортного и горного электрооборудования.

### **Подготовка образцов и проведение испытаний**

Количественно морозостойкость полимера определяется температурой, при снижении до которой сохраняется требуемый уровень физико-механических параметров и свойств, например: эластичность, прочность, относительное удлинение, гибкость и т.д. Либо, в качестве критерия оценки принимают расчетный коэффициент отношения показателя физико-механических свойств при пониженной и комнатной температурах [5]. Полимеры являются вязкоупругими материалами, процесс старения которых считается необратимым. Скорость деструкции напрямую зависит от чувствительности полимера к воздействующим нагрузкам, в том числе и к отрицательным температурам. Для полимерных материалов, как известно [6, 7], наиболее показательным является изменение механических характеристик. В работе оценивалось влияние пониженных температур на физико-механические свойства полимеров по изменению предела прочности на разрыв  $\sigma_p$  (МПа), относительного удлинения при разрыве  $\Delta l/l$  (%) [8], а также по результатам испытаний на монтажный изгиб.

Для проведения испытаний были отобраны образцы кабельных изделий без механических повреждений, трещин, загрязнений и дефектов согласно ГОСТ 17491-80. Образцы представляли собой отрезки кабелей и проводов длиной 1,5 м с оболочкой из ПВХ-пластиката, фторопласта и этиленпропиленовой резины. Каждый образец наматывался на металлический стержень при пониженной температуре; число витков выбиралось исходя из диаметра КИ. Образцы выдерживались в диапазоне температур от -30 до -60°C в камере холода в течение 4 часов. Общий вид образца показан на рисунке 1.



*Рисунок 1. Общий вид образца на установке для испытания на монтажный изгиб (разработано автором)*

При оценке  $\sigma_p$  и  $\Delta l/l$  за основу принята методика, рекомендованная ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011 «Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств». Образцы в виде бухт помещались в камеру холода с последующей выдержкой при заданной температуре не менее 4 часов. После этого вынимались и выдерживались при нормальных климатических условиях не менее 16 часов. Определение  $\sigma_p$  и  $\Delta l/l$  проводилось на разрывной машине, общий вид которой показан на рисунке 2; начальные значения физико-механических характеристик представлены в таблице.



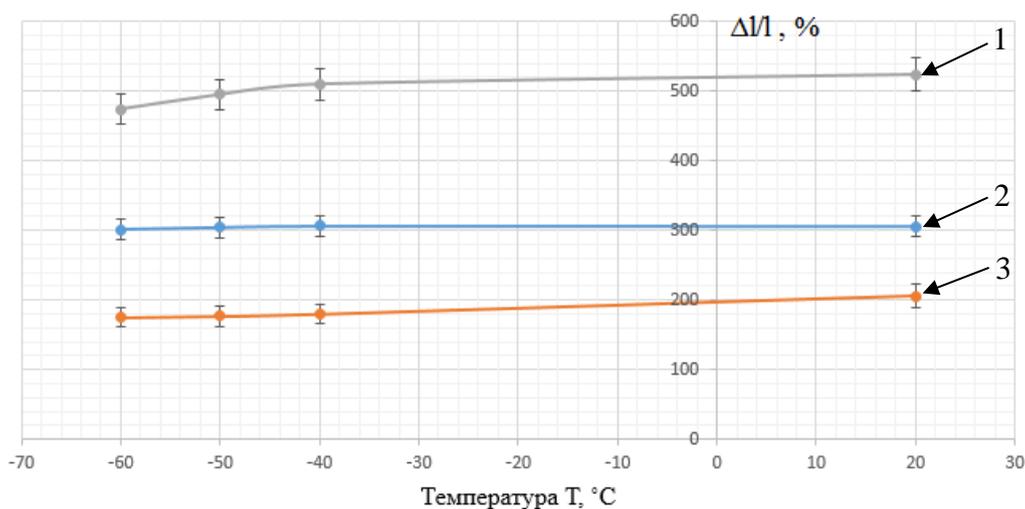
*Рисунок 2. Разрывная машина марки РМИ - для определения изменения физико-механических характеристик (разработано автором)*

Таблица

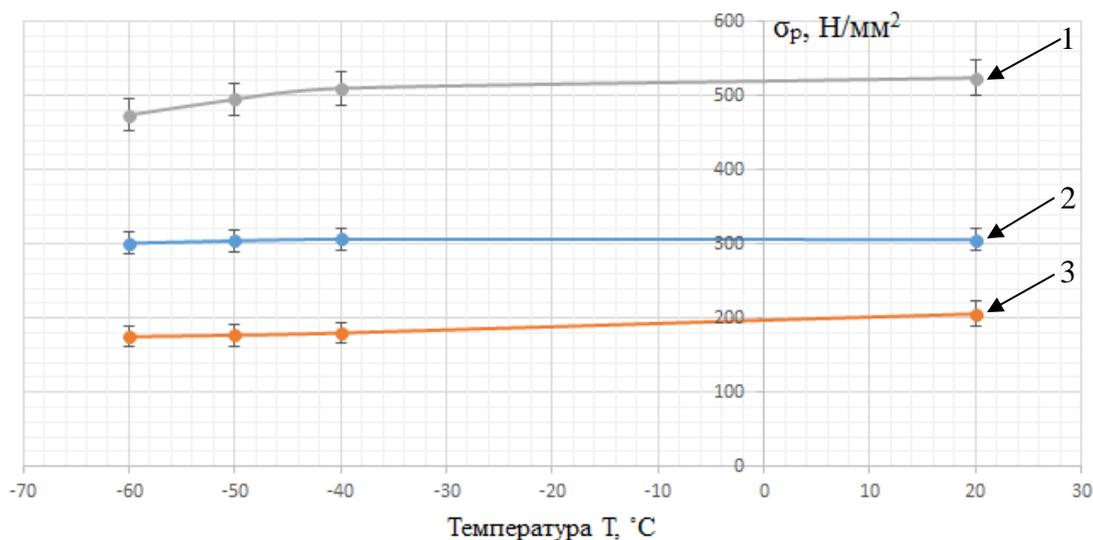
**Прочностные характеристики материала изоляции образцов КИ в исходном состоянии  
 (разработано автором)**

Физико-механический параметр материала	Материал оболочки, диаметр образца		
	Фторполимер, 2,78 мм	ПВХ-пластикат, 2,72 мм	Этиленпропиленовая резина, 3,34 мм
Предел прочности $\sigma_p$ , МПа	27,7	14,3	17,3
Относительное удлинение $\Delta l/l$ , %	305,9	205,8	524,0

Результаты изменения  $\sigma_p$  и  $\Delta l/l$  представлены на рисунке 3.



а



б

**Рисунок 3.** Изменение относительного удлинения (а) и предела прочности (б) образцов после выдержки при отрицательной температуре: 1 - этиленпропиленовая резина; 2 - фторполимер; 3 - ПВХ-пластикат (разработано автором)

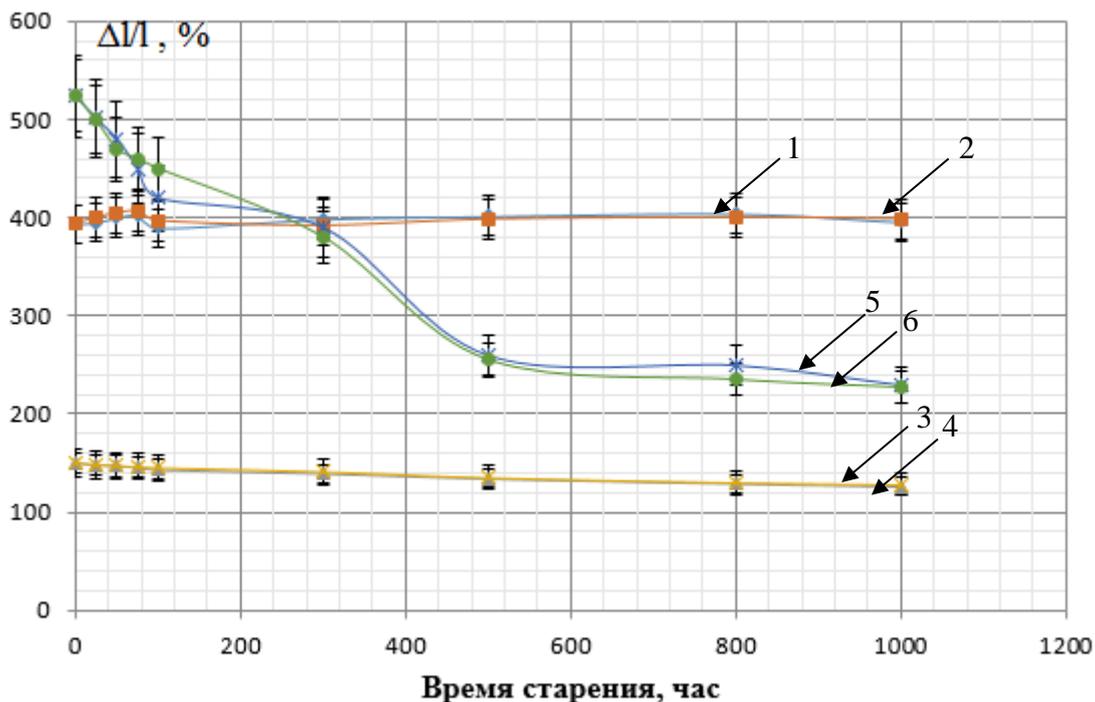


**Рисунок 4.** Общий вид образцов при проведении испытаний на маслостойкость (разработано автором)

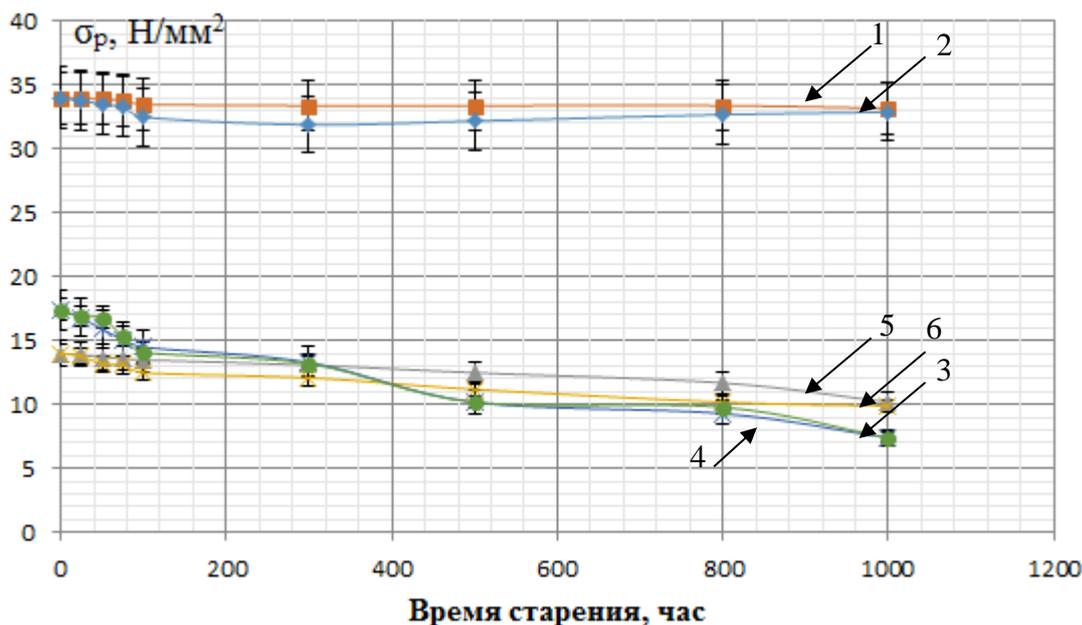
Оценка маслостойкости полимерных материалов проводилась по результатам изменения  $\sigma_p$  и  $\Delta l/l$  после выдержки образцов в дизельном топливе и трансформаторном масле. За основу взята методика рекомендованная ГОСТ ИЕС 60811-2-1-2011.

Образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 1000 часов. Общий вид образцов показан на рисунке 4. Через каждые 50 часов партия образцов вынималась, проводилось определение прочности на разрыв  $\sigma_p$  и  $\Delta l/l$ .

Результаты испытаний представлены на рисунке 5.



а



б

**Рисунок 5.** Изменение относительного удлинения  $\Delta l/l$  (а) и предела прочности  $\sigma_p$  (б) образцов после старения в дизельном топливе (ДТ) и трансформаторном масле (ТМ): 1 - фторполимер (ДТ); 2 - фторполимер (ТМ); 3 - ПВХ-пластикат(ДТ); 4 - ПВХ-пластикат (ТМ); 5 - этиленпропиленовая резина (ДТ); 6 - этиленпропиленовая резина (ТМ) (разработано автором)

### Обсуждение результатов

1. Изменение относительного удлинения  $\Delta l/l$  образцов после выдержки при отрицательной температуре во всех случаях незначительное и не превышает 15%. Это вполне допустимо, так как согласно нормативно-технической документации кабельные изделия с подобными электроизоляционными материалами критическим является превышение величины относительного удлинения более чем на 50%.

2. Изменение предела прочности при разрыве  $\sigma_p$  исследованных образцов составило не более 6%. Согласно нормативно-технической документации изменение предела прочности не должно превышать 50%, следовательно, по данному показателю все материалы успешно прошли испытания.

3. После испытаний на монтажный изгиб трещины на поверхности обнаружены только на образцах с оболочкой их ПВХ-пластиката. Неполярные полимеры (фторопласт, этиленпропиленовая резина) обладают высокой кинетической гибкостью полимерной цепи макромолекул и вследствие малого потенциального барьера гибкость цепи сохраняется до значительно низких температур (ниже  $-70^\circ\text{C}$ ) [9, 10].

4. Образцы из фторполимера показали «хорошую» стойкость к действию как дизельного топлива, так и трансформаторного масла. Как видно из рис. 5 изменение прочности при разрыве  $\sigma_p$  и относительного удлинения  $\Delta l/l$  не превышает 10%. Стойкость фторопласта к воздействию углеводородных жидкостей объясняется высоким значением энергии связи «углерод-фтор», спецификой строения макромолекул полимера, выражающейся в том, что атомы фтора полностью «экранируют» углеродный скелет макромолекул.

5. Для образцов, выполненных из ПВХ-пластиката и этиленпропиленовой резины характерно резкое ухудшение физико-механических параметров (рис.5), что свидетельствует о низкой стойкости к углеводородным жидкостям. Данные материалы относятся к слабополярным. Химическая природа полимеров влияет на скорость диффузии в них физически агрессивной среды. Слабая стойкость образцов к проникновению углеводородных жидкостей означает, что между молекулами полимера и агрессивной среды (дизельное топливо, трансформаторное масло) имеется большое сродство, мерой которого является изменение свободной энергии. Чем значительнее уменьшение свободной энергии при смешении, тем больше углеводородной жидкости проникает в полимер. Интенсивность растворения полярных жидкостей в полярных материалах значительно превышает интенсивность растворения в неполярных [11].

### Заключение

По результатам испытаний можно выделить перспективные материалы для оболочек гибких кабелей систем питания транспорта и горного оборудования:

- этиленпропиленовая резина и фторполимер для применения в гибких кабелях, работающих в условиях пониженных температур;
- фторполимер в качестве материала оболочки гибких кабелей с повышенной стойкостью к жидким углеводородам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимова О.А. Влияние конструкции кабельных изделий на процесс теплового старения полимерных материалов: Дис. ... канд. тех. наук: 05.09.02. - Томск, 2010. - 133 с.
2. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров // М.: КолосС, 2007, 2-ое издание, перераб. и доп., 367 с.
3. Моисеев Ю.В., Заиков Г.Е. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах. - М.: Химия, 1979. - 288 с.
4. Бартнеев Г.М., Френкель С.Я. Физика полимеров / Под ред. Д-ра физ.-мат. Наук Ельяшевича А.М. // Л.: Химия, 1990, 432 с.
5. Bukhina M.F., Kurllyand S.K. Low-temperature Behavior of Elastomers. Lieden-Boston: VSP, 2007. - 187 p.
6. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. - М.: Химия, 1981. - 296 с.
7. Н. Грасси, Дж. Скотт, Деструкция и стабилизация полимеров, Москва, «Мир», 1988, 247 с.
8. Зуев Ю.С., Дегтева Т.Г. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях. - М.: Химия, 1986. - 263 с.
9. Корнев В.А., Рыбаков Ю.Н. Композиционные полимерные материалы для технических средств нефтепродуктообеспечения // European Research, 2015, №8 (9), с. 28-30.
10. Минский К.С., Федосеева Г.Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. - М.: Химия, 1979. - 321 с.
11. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. - М.: Химия. 1972. - 232 с.

**Leonov Andrey Petrovich**

National research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk  
E-mail: [leonov\\_ap@tpu.ru](mailto:leonov_ap@tpu.ru)

**Materi Tatyana Mikhailovna**

National research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk  
E-mail: [MateriTM@yandex.ru](mailto:MateriTM@yandex.ru)

## **Study of factors influencing on polymeric materials of flexible cables sheath for transport and mining electrical equipment power supply applications**

**Abstract.** The resistance to the effect of combined factors typical for transport and mining electrical equipment operational mode: mechanical stresses, low temperatures, and aggressive hydrocarbon liquid media on insulating materials using for the flexible cables production (PTFE, PVC compound, ethylene propylene rubber) is evaluated in this paper. The relevance of the work is determined by the need to improve the reliability of transport and mining equipment electrical power system, and to expand the range of required cable products. It was observed that reliable and failure-free operation mainly depend on flexible cable sheath. The estimation of the tensile strength and relative elongation changing, as well as resistance to mounting bending is adopted as criterion. It is shown that low temperature exposure does not affect the change of physical and mechanical characteristics of studied materials. The samples tensile strength changing equal to 4,9% for PTFE, about 2,0% for PVC compound (PVC), and 5,8% for EPDM is observed. The samples relative elongation after being stored at low temperatures changes slightly and does not exceed 15%: for EPDM it is equal to 9%, for PVC compound - 14,9%, for PTFE - 1,6%. Experimental results show that PTFE is the most resistant to the diesel fuel and transformer oil effect. It allows to select these materials as promising for further testing and application in flexible cables operating at low temperatures. It is shown that PTFE is proved to be a stable material to the diesel fuel and transformer oil effect. The physical and mechanical properties changing haven't exceeded 10%. PTFE high resistance to the effect of hydrocarbon liquids is due to high value of the "carbon-fluorine" binding energy, the dissolving features of contacting materials with regard to their polarity. Recommendations for the prospects of the studied materials use as the oil resistant flexible cables sheath for specific application such as electrical power supply of transport and mining electrical equipment are given in this paper.

**Keywords:** flexible cable; sheath; polymer insulation; frost-resistance; oil-resistance; mounting bending; tensile strength; relative elongation