

УДК 614.841.415:621.31

УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С. Н. УЛЬЕВА, И. А. БОГДАНОВ, А. Л. НИКИФОРОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: jivotjagina@mail.ru; i.a.bogdanov@bk.ru; anikiforoff@list.ru.

В статье проводится анализ пожарной опасности кабельных изделий, рассматриваются недостатки стандартных методов оценки пожарной опасности кабельных изделий, а также недостатки существующих методов ускоренного термического состаривания изоляции кабельных изделий. Приводятся результаты работы по разработке экспериментальной установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий с целью оценки их пожарной опасности в условиях длительной эксплуатации. Основное внимание уделено кабельным изделиям с ПВХ изоляцией.

Ключевые слова: кабельные изделия, ПВХ, изоляция, эксплуатационное старение, ускоренное состаривание, пожарная опасность, экспериментальная установка.

INSTALLATION FOR MODELING THERMAL AGING OF INSULATING MATERIALS OF CABLE PRODUCTS

S. N. UL'EVA, I. A. BOGDANOV, A. L. NIKIFOROV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: jivotjagina@mail.ru; i.a.bogdanov@bk.ru; anikiforoff@list.ru

The article analyzes the fire hazard of cable products, examines the disadvantages of standard methods for assessing the fire hazard of cable products, as well as the disadvantages of existing methods of accelerated thermal aging of cable insulation. The paper presents the results of work on the development of an experimental installation for accelerated thermal aging of cable products in order to assess their fire hazard in long-term operation. The focus is on PVC insulated cable products.

Keywords: cable products, PVC, insulation, operational aging, accelerated aging, fire hazard, experimental installation.

Одной из основных причин пожаров в Российской Федерации является нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. Основным объектом возникновения пожаров, возникших по этой причине, является кабель или провод¹. Пожарная опасность кабельных изделий обусловлена наличием всего необходимого для возникновения и распространения пожара: источник зажигания (пожароопасные проявления электрического тока), горючая среда (горючие изоляционные материалы) и окислитель (кислород воздуха).

В соответствии с ГОСТ 31565-2012² к кабельным изделиям предъявляются требования по пожарной безопасности, которые характеризуются следующими показателями: предел распространения горения кабельного изделия при одиночной прокладке, предел распространения горения кабельного изделия при групповой прокладке, предел огнестойкости кабельного изделия в условиях воздействия пламени, показатель коррозионной активности продуктов дымогазовыделения при горении и тлении каждого из полимерных материалов кабельного изделия, эквивалентный показатель токсичности

© Ульяева С. Н., Богданов И. А., Никифоров А. Л., 2025

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информ. - аналитич. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. 110 с.

² ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия Требования пожарной безопасности.

продуктов горения кабельного изделия, показатель дымообразования при горении и тлении кабельного изделия. Однако эти требования не являются обязательными для всех кабельных изделий, а применимы только к кабельным изделиям, которые должны соответствовать требованиям пожарной безопасности. Существуют и другие пробелы в нормативном правовом регулировании обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий, которые рассматривались авторами в работе [1].

В процессе эксплуатации кабельных изделий протекает процесс изменения их свойств и характеристик под воздействием различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации. Эксплуатационное старение может привести к снижению надёжности и безопасности работы электропроводок и кабельных линий, а также к сокращению их срока службы. Актуальной задачей является оценка влияния старения кабельных изделий на их пожарную опасность.

Основными негативными эксплуатационными факторами являются: электрические нагрузки (напряжение, ток); температурные воздействия (перегрев, колебания температуры); механические напряжения (изгиб, растяжение, сжатие); воздействие агрессивных сред (влажности, химических веществ, пыли); ультрафиолетовое излучение; вибрация и динамические нагрузки. При прокладке электропроводок внутри отапливаемых помещений основным деструктивным фактором является повышенная температура, возникающая при прохождении электрического тока.

В процессе старения в материалах кабельных изделий происходят различные физико-химические процессы, такие как: окисление изоляционных материалов; термическое старение, связанное с повышением температуры; механические повреждения и усталостные явления в структуре материалов; диффузионные процессы, приводящие к изменению химического состава материалов; электрические пробои и частичные разряды.

Старение кабельных изделий может привести к следующим последствиям: снижению электрической прочности изоляции; ухудшению механических свойств материалов; изменению геометрических параметров кабелей; появлению трещин и дефектов в изоляции; снижению срока службы кабельных изделий; повышению их пожарной опасности [2-4].

Для предотвращения и замедления старения кабельных изделий применяются различные методы: выбор материалов и конструкций кабелей и проводов, устойчивых к воздействию эксплуатационных факторов; оптимизация электрических и температурных режимов эксплуатации; защита кабельных изделий от механических повреждений и воздействия

агрессивных сред; регулярный контроль состояния электропроводок и кабельных линий, а также проведение профилактических мероприятий.

Пластикат на основе поливинилхлорида (ПВХ) является наиболее распространённым материалом, который производители применяют для изготовления изоляции кабельных изделий. Кроме ПВХ в состав пластиката входят пластификаторы, пигменты, стабилизаторы, смазки, а также минеральные наполнители и эластомеры [5]. В качестве пластификаторов используют сложные эфиры. Их доля в составе определяет основные эксплуатационные характеристики изоляции. Однако, несмотря на все разнообразие представленных на рынке марок проводов и кабелей, базовая композиция ПВХ изоляции включает в себя: экструзионный поливинилхлорид, пластификатор, стабилизатор и пигмент.

Старение полимеров представляет собой многофакторный процесс, детерминированный совокупностью физических и химических трансформаций, которые происходят на различных этапах жизненного цикла материалов и изделий. Этот процесс направлен на достижение термодинамического и статистического равновесия в системе. Негативные факторы, способствующие старению, могут действовать как по отдельности, так и в комплексе [6,7]. В связи с этим исследования влияния температурных условий на пожарную опасность изоляционных материалов на основе ПВХ имеют большую научную и практическую значимость.

Одним из методов, позволяющих определить устойчивость материалов и конструкций кабелей к воздействию эксплуатационных факторов, является моделирование условий эксплуатации в лабораторных условиях. Этот метод также известен как ускоренное состаривание. Ускоренное состаривание представляет собой процесс, в ходе которого образцы материалов или изделий подвергаются воздействию факторов, имитирующих эксплуатационные условия с повышенной интенсивностью. Это позволяет сократить время, необходимое для оценки устойчивости образцов, и получить более надёжные результаты.

В процессе ускоренного состаривания могут использоваться различные методы и установки, позволяющие моделировать температурные, влажностные, химические и другие воздействия. Результаты таких испытаний могут быть использованы для прогнозирования срока службы кабельных изделий в реальных условиях эксплуатации и выбора наиболее подходящих материалов и конструкций.

Таким образом, моделирование условий эксплуатации в лабораторных условиях

является эффективным методом, позволяющим обеспечить выбор материалов и конструкций проводов и кабелей, устойчивых к воздействию эксплуатационных факторов. Это способствует повышению надёжности и долговечности кабельных систем в различных отраслях промышленности и народного хозяйства.

На сегодняшний день для прогнозирования процессов теплового старения наиболее распространенных видов композиций для изоляции и оболочек применяются методы, определённые ГОСТ Р МЭК 60811-1-2-2006³, в соответствии с которым старение образцов

материала изоляции производят без токопроводящей жилы и оболочки. Образцы подвешивают вертикально и преимущественно в середине термостата на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Данный стандарт не учитывает влияние токопроводящей жилы и прохождение электрического тока по ней.

Целью работы является разработка экспериментальной установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий с целью оценки их пожарной опасности в условиях длительной эксплуатации.

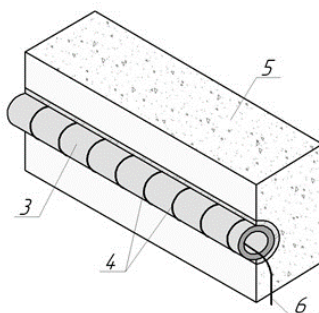
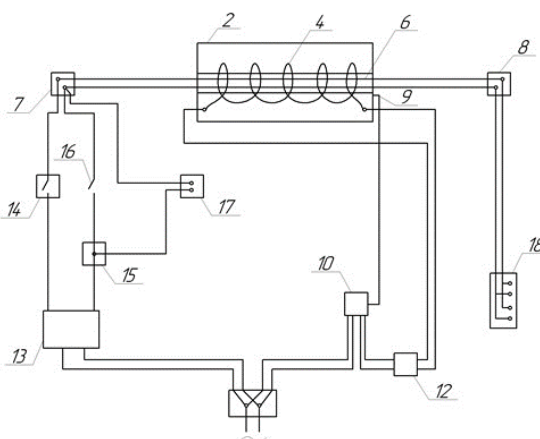
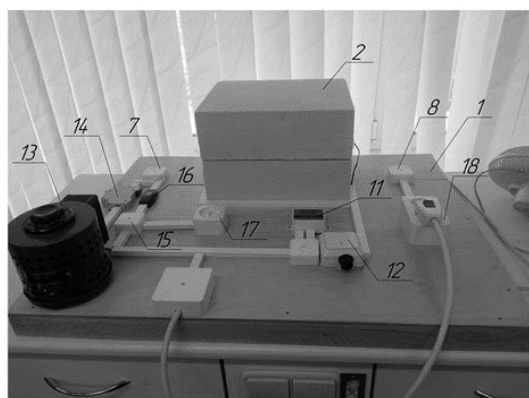


Рисунок. Экспериментальная установка для ускоренного термического состаривания кабельных изделий

- 1 – основание; 2 – камера для термостатирования; 3 – керамическая труба; 4 – нихромовая спираль;
 5 – монолитный термоизолирующий корпус; 6 – образец кабельного изделия;
 7, 8, 15 – распределительные колодки с клеммами; 9 – термодатчик; 10 – термореле;
 11 – устройство вывода показаний термодатчика; 12 – регулятор мощности;
 13 – регулятор напряжения; 14 – автоматический выключатель; 16 – переключатель режимов работы;
 17 – разъем для подключения контрольно-измерительного прибора;
 18 – разъем для подключения потребителей электроэнергии

Для достижения цели исследования была разработана экспериментальная установка для ускоренного термического состаривания кабельных изделий, которая содержит установленную на общем основании термостатирующую камеру с цилиндрической проходной

камерой нагрева для горизонтального размещения образца электрического кабеля в виде отрезка и подключения его к электрической цепи, включающей контур управления термостатирующей камерой, содержащий термодатчик, термореле и регулятор мощности.

³ ГОСТ Р МЭК 60811-1-2-2006. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек

электрических и оптических кабелей. Часть 1-2. Методы общего применения. Методы теплового старения.

Установка имеет контур для подключения испытуемого образца, содержащий регулятор напряжения, а также подсоединенные в параллель автоматический выключатель и переключатель режимов работы (выполненный с возможностью подключения контрольно-измерительного прибора). К контуру возможно подключение потребителей электроэнергии, а экспериментальная установка подключается к источнику напряжения. Термостатирующая камера содержит цилиндрическую проходную камеру в виде керамической трубы с размещенной на её поверхности нихромовой спиралью и помещенную в разъемный монокристаллический термоизолирующий корпус. Термореле снабжено устройством вывода показаний термодатчика. В качестве термодатчика используют термопару. Схема и фото предлагаемой экспериментальной установки приведены на рисунке.

Работает экспериментальная установка следующим образом. Испытуемый образец в виде отрезка кабеля располагают внутри термостатирующей камеры, концы испытуемого образца подключают к клеммам распределительных коробок. К разъемам блока подключают потребителей электроэнергии для создания нагрузки в электрической цепи. Установку подключают к источнику напряжения. Регулятор мощности позволяет изменять напряжение в контуре цепи с подключенным испытуемым образцом. Автоматический выключатель обеспечивает отключение питания электрической

цепи при аварийном режиме работы. Переключатель режимов работы позволяет переключать устройство между режимами «измерение/штатная работа». В режиме «измерение» с подключенным к разъемам блока мультиметром обеспечивается возможность для измерения силы тока в цепи. Мощность нагрева термостатирующей камеры нихромовой спиралью устанавливают регулятором мощности. Температурный режим в термостатирующей камере по показаниям термодатчика поддерживают и регулируют с помощью термореле. Ускоренное состаривание испытуемого образца электрического кабеля осуществляют при заданном нагреве в термостатирующей камере, заданной токовой нагрузке и в течение заданного периода времени, также возможно осуществление указанного процесса при воздействии высоких температур различных значений и вариативной токовой нагрузке. После ускоренного состаривания образцов кабельных изделий предполагается их испытание на пожарную опасность по стандартным, а также по предлагаемым нами методам [8–10].

Изготовленный экспериментальный образец установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий по результатам испытаний показал работоспособность предложенной конструкции. Получен патент на полезную модель [11], результаты испытаний подтвердили эффективность предлагаемого технического решения.

Список литературы

1. Проблемы нормативного регулирования обеспечения пожарной безопасности кабельной продукции / И. А. Богданов, С. Н. Ульяева, С. А. Шабунин [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : сборник материалов X всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 20 апреля 2023 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 73–76.
2. Оценка влияния температурных воздействий на пожарную опасность изоляции на основе ПВХ-диэлектриков / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 64–70.
3. Исследование термического старения ПВХ-изоляции кабельной продукции методом ИК-спектроскопии / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, А. А. Кочетова [и др.] // Полимерные материалы пониженной горючести: сборник материалов XI Международной

конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. С. 36–39.

4. Оценка влияния старения полимеров на изменение их пожароопасных свойств / И. А. Богданов, С. Н. Ульяева, А. Л. Никифоров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 5–11.

5. Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. Вып. № 2, 2002; № 4, 5, 7, 8, 9, 10, 2003

6. Структурные изменения в смесях линейных полимеров в процессе их физического старения / Н. В. Бабкина, Л. Ф. Косянчук, Т. Т. Тодосийчук [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2012. Т. 54. № 2. С. 256.

7. White J.R. Comp. Rend. Chim. 2006. V. 9. P. 1396. Emanuelsson V, Simonson M and Gevert T, Fire Mater 3: 311–326 (2007).

8. Богданов И. А., Никифоров А. Л. Разработка нового подхода к оценке влияния термического старения на пожарную опасность ПВХ-изоляции электрокабельных изделий с целью предупреждения пожаров // Молодежная программа 28-ой Международной специализированной выставки-форума «Безопасность и

охрана труда» БИОТ-2024: сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурс НИР). М.: Ассоциация «СИЗ», 2025. С. 11–14.

9. Разработка научно-обоснованного подхода к оценке влияния термического старения ПВХ-изоляции на пожарную опасность кабельных изделий / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 18–24.

10. К вопросу о разработке нового подхода к оценке влияния термического старения на пожарную опасность ПВХ-изоляции электрокабельных изделий на основе показателя кислородного индекса / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 54–60.

11. Патент на полезную модель № 229217 U1 Российская Федерация, МПК G01N 25/50. Устройство подготовки образцов электрических кабелей к испытаниям на общую горючесть / И. А. Малый, В. В. Булгаков, А. Л. Никифоров [и др.]; опубл. 26.09.2024, Бюл. № 27.

References

1. Problemy` normativnogo regulirovaniya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti kabel`noj produkcii [Problems of regulatory regulation of fire safety of cable products] / I. A. Bogdanov, S. N. Ul`eva, S. A. Shabunin [et al.]. *Aktual`ny`e voprosy` sovershenstvovaniya inzhenerny`x sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob`ektov: sbornik materialov X vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spatatel`naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp. 73–76.

2. Ocenka vliyaniya temperaturny`x vozdeystvij na pozharную opasnost` izolyacii na osnove PVX-die`lektrikov [Assessment of the effect of temperature effects on the fire hazard of PVC dielectric insulation] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2022, vol. 4 (45), pp. 64–70.

3. Issledovanie termicheskogo stareniya PVX-izolyacii kabel`noj produkcii metodom IK-spektroskopii [Investigation of thermal aging of PVC insulation of cable products by IR spectroscopy] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, A. A. Kochetova [et al.]. *Polimerny`e materialy` ponizhennoj goryuchesti: sbornik materialov XI Mezhdunarodnoj konferencii*, Volgograd, 19–22 sentyabrya 2023 goda. Volgograd: Volgogradskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet, 2023, pp. 36–39.

4. Ocenka vliyaniya stareniya polimerov na izmenenie ix pozharоopasny`x svoystv [Assessment of the effect of polymer aging on changes in

their fire-hazardous properties] / I. A. Bogdanov, S. N. Ul`eva, A. L. Nikiforov [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2025, vol. 1 (54), pp. 5–11.

5. *Polimernye materialy. Izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymeric materials. Products, equipment, technologies], 2002, issue 2; 2003, issue 4, 5, 7, 8, 9, 10.

6. Strukturnye izmeneniya v smesyah linejnyh polimerov v processe ih fizicheskogo stareniya [Structural changes in mixtures of linear polymers during their physical aging] / N. V. Babkina, L. F. Kosyanchuk, T. T. Todosi-jchuk [et al.]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, Seriya A, 2012, vol. 54, issue 2, p. 256.

7. White J. R. Comp. Rend. Chim. 2006. V. 9. P. 1396. Emanuelsson V, Simonson M and Gevert T, Fire Mater 3: 311–326 (2007).

8. Bogdanov I. A., Nikiforov A. L. Razrabotka novogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya na pozharную opasnost` PVX-izolyacii e`lektrokabel`ny`x izdelij s cel`yu preduprezhdeniya pozharov [Development of a new approach to assessing the effect of thermal aging on the fire hazard of PVC insulation of electrical cable products in order to prevent fires]. *Molodezhnaya programma 28-oy Mezhdunarodnoj spetsializirovannoy vystavki – foruma «Bez-opasnost` i okhrana truda» BIOT-2024: sbor-nik trudov Konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot (Konkurs NIR)*. Moscow: Associaciya «SIZ», 2025, pp. 11–14.

9. Razrabotka nauchno-obosnovannogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya PVX-izolyacii na pozharную opasnost` kabel`ny`x izdelij [Development of a scientifically based approach to assessing the effect of thermal aging of PVC insulation on the fire hazard of cable products] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 2 (51), pp. 18–24.

10. K voprosu o razrabotke novogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya na pozharную opasnost` PVX-izolyacii e`lektrokabel`ny`x izdelij na osnove pokazatelya kislorodnogo indeksa [On the development of a new approach to assessing the impact of thermal aging on the fire hazard of PVC insulation of electrical cable products based on the oxygen index] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2023, vol. 2 (47), pp. 54–60.

11. Maly`j I. A., Bulgakov V. V., Nikiforov A. L. [et al.]. Ustrojstvo podgotovki obrazczov e`lektricheskix kabelej k ispy`taniyam na obshhuyu goryuchest` [Device for preparing samples of electrical cables for general combustibility tests], Patent na poleznuyu model` 229217 U1 Rossijskaya Federaciya MPK G01N 25/50, opubl. 26.09.2024. Byul. № 27.

Ульева Светлана Николаевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Ulleva Svetlana Nikolaevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Богданов Илья Андреевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры

E-mail: i.a.bogdanov@bk.ru

Bogdanov Ilya Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

postgraduate student

E-mail: i.a.bogdanov@bk.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Alexander Leonidovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, professor

E-mail: anikiforoff@list.ru