

УДК 372.862

Леонов Андрей Петрович

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск¹
Доцент, кандидат технических наук
E-Mail: leonov_ap@elti.tpu.ru

Болгова Вероника Андреевна

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск
Магистрант
E-Mail: bolgova_va@live.com

Визуализация мест локального перегрева изоляции кабелей

Аннотация: Значительное количество отказов электрооборудования происходит из-за скрытых дефектов и ослаблений изоляции. В большинстве случаев причиной этого является критическое превышение температуры. Перегревы опасны для изоляции кабелей, так как это ускоряет процессы теплового старения, ухудшает электрические и механические свойства, приводит к снижению срока службы и может послужить причиной пожара. В настоящее время затруднено обнаружение мест недопустимого перегрева изоляции даже в местах открытой прокладки кабелей, в электрических щитах. В работе приведена разработка нового технического решения, обеспечивающего простой и наглядный метод контроля критического превышения температуры электрической изоляции. Описана разработанная авторами конструкция кабельного изделия с использованием термоиндикаторов. Это позволит визуально контролировать наличие критического нагрева и своевременно заменить ослабленный кабель или провод, что предотвратит аварийную ситуацию и отказ всего оборудования. Авторы предлагают добавлять в поверхностный слой полимерной изоляции специальные термоиндикаторные добавки, изменяющие свой цвет при определенной температуре. При этом обеспечивается наглядность перегретых участков. Иными словами, вся поверхность изоляции становится температурным датчиком. Проведенный тепловой расчет с учетом токовых нагрузок подтверждает реальность достижения отмеченных температур во время эксплуатации кабельного изделия. Отмечено: реализация предлагаемой в работе конструкции не требует значительных изменений технологического процесса, существующего на большинстве кабельных заводов, осуществляющих выпуск кабелей с пластмассовой изоляцией. Разработка авторов защищена патентом РФ.

Ключевые слова: Провод; кабель; изоляция; перегрев; термоиндикатор; надежность.

Идентификационный номер статьи в журнале 118TVN214

¹ 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ, Отдел Интернет-коммуникаций

Качество изоляции кабельного изделия определяет надежность самого кабеля, систем энергообеспечения, а также работоспособность всего электрооборудования. Значительное количество отказов электрооборудования происходит из-за скрытых дефектов и ослаблений изоляции. Это возникает, в большинстве случаев, вследствие критического превышения температуры. Появление перегревов носит случайный характер, их причинами могут быть электрические нагрузки, открытые источники тепла или огня [1].

Опасность перегревов для изоляции кабельных изделий заключается в необратимом тепловом старении, ускоряющем процессы деструкции структуры полимерной изоляции, что в свою очередь приводит к ухудшению электрических и механических свойств, снижению срока службы. Особенно опасны перегревы для гибких и особо гибких кабелей, так как из-за снижения эластичности изоляции в местах постоянных перегибов растут внутренние механические напряжения. В результате появляются трещины, что может в конечном итоге привести к отказу [2].

Негативное влияние перегревов кабельной изоляции заключается не только в нарушении функционирования систем энергообеспечения и электрооборудования. В связи с постоянным возрастанием мощностей энергетического и электротехнического оборудования значительно увеличивается концентрация кабелей в единице объема кабельных сооружений. Однако это снижает надежность систем управления и энергоснабжения в случае пожара и повышает пожарную опасность. Пожары в кабельных сооружениях сопровождаются большими материальными потерями в виде стоимости сгорающих кабелей и проводов и косвенных убытков из-за остановки производства, нарушения энергоснабжения и недовыработки электрической энергии [3]. Причиной возникновения аварийной ситуации является критический перегрев, сопровождающийся тепловым старением, разрушением изоляции и возникновением короткого замыкания с характерными пожароопасными факторами.

Согласно статистическим данным, до 90% пожаров возникают по причине возгорания электрической проводки [3, 4]. При электрической перегрузке изолированного провода происходит сильный перегрев изоляции. В этом случае каждая, даже кратковременная перегрузка приближает изоляцию к разрушению. При длительном недопустимом превышении рабочей температуры может произойти возгорание на одном или даже нескольких наиболее перегретых участках кабеля. После этого огонь может распространяться по горючей изоляции кабеля и внешней оболочке, а также по оболочкам других кабелей, когда они находятся в непосредственном контакте или недалеко от места возгорания.

В настоящее время обнаружение мест недопустимого перегрева изоляции даже в местах открытой прокладки кабелей и в электрических щитах затруднено, так как это не предусмотрено конструкцией кабельных изделий.

В связи с этим разработка простого технического (инновационного) решения контроля критического превышения температуры электрической изоляции задача актуальная и востребованная, соответствует целевым государственным программам в области обеспечения пожарной безопасности и повышения энергоэффективности [5, 6].

Конструкция кабельного изделия с использованием термоиндикаторов позволит визуально контролировать наличие критического нагрева, а значит своевременно заменить ослабленный кабель или провод. Как следствие, можно предотвратить аварийную ситуацию и отказ всего оборудования.

В настоящее время существуют различные методы контроля теплового состояния электрооборудования и электрической изоляции. Каждый из них обладает рядом уникальных свойств, позволяющих наилучшим образом решить задачу по измерению температуры.

Измерение температур нагрева оболочек кабелей или окружающей среды может производиться с помощью термопар, термосопротивлений или термометров. Однако такие термодатчики не пригодны, когда необходимо определить температуру не в отдельной точке, а ее распределение по поверхности для установления участков с большим градиентом температуры [7]. Измерение температуры электрических кабелей также производится посредством волоконно-оптических датчиков, позволяющих осуществлять температурный мониторинг кабельной линии. К недостаткам представленных методов относятся трудности быстрого и точного определения мест перегрева изоляции кабелей, высокая стоимость и сложность реализации.

Цветовые термоиндикаторы являются одним из перспективных средств не только регистрации, но и измерения температуры. К таким термоиндикаторам относятся вещества, обладающие способностью резко изменять свой цвет при определенной температуре, называемой критической или температурой перехода [8].

Термоиндикаторы нашли широкое применение для исследования тепловых процессов электро-, радио- и электронного оборудования, индикации нагрева режущего инструмента, исследования поверхностных температурных полей летательных аппаратов, вследствие простоты, рентабельности и широты возможностей при измерении температуры. Используя этот метод для контроля состояния изоляции можно обеспечить наглядность перегретых участков [9, 10, 11].

Температурный диапазон и разнообразие современных термоиндикаторов делает их перспективными для осуществления контроля предаварийного состояния изоляции кабельных изделий. Наиболее важно обеспечить указанные свойства для тех кабелей, монтаж и эксплуатация которых осуществляется путем открытой прокладки, а также расположенных в пределах легкого доступа (не скрытых в кожухе, кабель-канале, под штукатуркой, размещенных в распределительном щите, шкафах управления, и т.д.).

Предлагаемое новое техническое решение для контроля температуры изоляции кабеля заключается в добавлении в поверхностный слой полимерной изоляции специальных термоиндикаторных добавок, изменяющих свой цвет при определенной температуре. При этом обеспечивается наглядность перегретых участков, иными словами, вся поверхность изоляции становится температурным датчиком.

Выбор термоиндикаторного материала должен осуществляться в зависимости от температуры технологической обработки изоляционного материала, соответствия пороговой температуры термоиндикатора контролируемой предельной температуре изоляции, а также применимостью для конкретного типа изоляционного материала.

Вводимые в состав изоляции термоиндикаторные добавки должны соответствовать следующим требованиям:

- изменение цвета при нагреве в зависимости от заданной температуры,
- совместимость с основным изоляционным материалом (не изменяется рабочая температура, не ухудшаются механические и электрические свойства, химостойкость, не уменьшается срок службы),
- технологичность для существующего технологического процесса (не требуется специального оборудования),
- экологичность и относительная дешевизна [12].

Авторами была разработана новая конструкция монтажного провода с использованием термоиндикаторов в составе изоляции (рис.1). Термочувствительные пигменты предложено вводить в поверхностный слой изоляции. Тем самым обеспечивается изменение цвета кабельного изделия при недопустимом перегреве и в то же время практически не окажет влияния на механические и электрические свойства изоляции. Для контроля перегрева выбраны необратимые термоиндикаторы, с температурами перехода 110 и 160 °С [13].

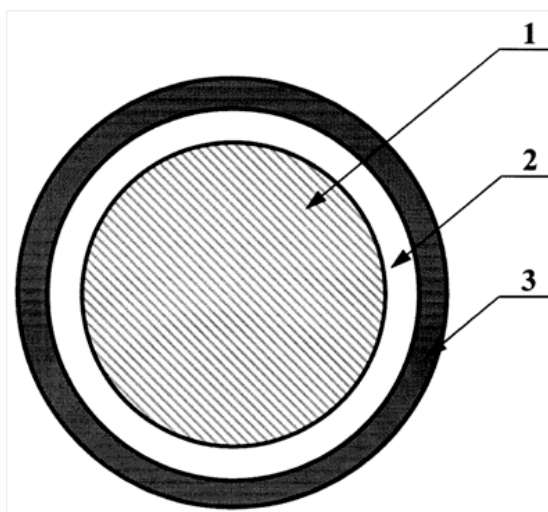


Рис. 1. Перспективная конструкция кабельного изделия:

1- токопроводящая жила, 2 - основной слой изоляции,
3 – поверхностный слой, окрашенный термочувствительным пигментом.

Реальность достижения подобных температур подтверждается проведенным тепловым расчетом с учетом токовых нагрузок. Температура 110 и 160 °С может быть достигнута при нагрузке меньше максимально допустимой согласно ГОСТу на данный тип кабельного изделия [14].

Предлагаемое нами изменение конструкции изоляции может быть реализовано на существующем технологическом оборудовании. Процесс изолирования кабельного изделия осуществляется на экструзионной линии путем наложения двухслойной изоляции с последующим технологическим контролем, маркировкой и упаковкой готового изделия. Материалом для основного и внешнего слоев изоляции служит ПВХ - пластикат. В ПВХ-пластикат для внешнего слоя, накладываемого при помощи соэкструдера, добавляется термочувствительный пигмент, обеспечивающий окраску изоляции и термоидикацию при перегревах во время эксплуатации.

Разработанная конструкция способствует повышению надежности кабельной линии и энергообеспечения благодаря быстрому и точному определению перегрева изоляции и последующей замене кабельного изделия во избежание аварийного отключения кабельной линии или отказа электрооборудования. Таким образом, визуализация критического нагрева даст возможность избежать экономических потерь от остановки и вынужденного простоя электрооборудования и устранения его последствий.

Помимо прочего, своевременное выявление и устранение причин перегрева электропроводки дает возможность снизить опасность возгорания изоляции и возникновения пожара.

Реализация предлагаемой в работе конструкции не требует значительных изменений технологического процесса, существующего на большинстве кабельных заводов, осуществляющих выпуск кабелей с пластмассовой изоляцией.

Предлагаемый усовершенствованный монтажный провод расширяет номенклатуру кабельных изделий и повышает конкурентоспособность кабельно-проводниковой продукции, устраняя недостатки существующих аналогов.

Данное предложение может быть полезным для широкой номенклатуры кабельных изделий подобного типа.

В настоящее время получен патент на полезную модель провода с поливинилхлоридной изоляцией с использованием термоиндикаторов для контроля перегрева [13].

Предложенная конструкция кабельного изделия с использованием термоиндикаторов позволит обеспечить визуализацию наличия критического нагрева, а значит своевременно заменить ослабленный кабель или провод, что предотвратит аварийную ситуацию и отказ всего оборудования. К тому же наличие подобных перегревов может свидетельствовать о неисправностях в электрической цепи. В этом случае необходимо не только заменить ослабленный кабель, но и выяснить причину появления перегрева и устранить ее.

Таким образом, новая конструкция провода с использованием термочувствительных пигментов, является инновационным техническим решением в области обеспечения пожарной безопасности, повышения энергоэффективности и надежности кабельных изделий и электрооборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болгова В. А. Контролирование перегрева изоляции кабелей. Современная техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 14-15.
2. Токовая перегрузка [Электронный ресурс] // Промышленный портал Oborudka.Ru – URL: <http://www.oborudka.ru/favorit15/24.html> (дата обращения 17.02.13)
3. Снижение пожарной опасности кабельных линий. [Электронный ресурс] // Kolbasers.ru. Промышленная база. – URL: <http://www.kolbasers.ru/ct/prom/2940/index.shtml> (дата обращения 17.04.13)
4. О электропроводке. [Электронный ресурс] // Информация по обустройству загородных домов – URL: <http://dachadoma.ru/stroitelstvo-i-remont/o-elektroprovodke.html> (дата обращения 17.04.13)
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. N 1481 О федеральной целевой программе "Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2017 года".
6. Государственная программа Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики". УТВЕРЖДЕНА распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. № 512-р.
7. Датчики температуры. [Электронный ресурс] // Группа проектов КИПИНФО. Измерительные приборы, всё о КИП – URL: <http://kipinfo.ru/info/stati/?id=179> (дата обращения 17.02.13)
8. Абрамович Б. Г. Термоиндикаторы и их применение. М., «Энергия», 1972. 224 с. с ил.
9. Professors Brett Lucht, Bill Euler, and Otto Gregory. Thermochromic Pigments for Rapid Visual Assessment of Temperature. The Sensors and Surface Technology Partnership. An interdisciplinary research and educational collaboration at the University of Rhode Island.
10. Термоиндикаторы и их применение. [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Химия и химики» №5 2008. – URL: <http://chemistry-chemists.com/Contents5.html> (дата обращения 10.03.13)
11. Способ визуального контроля нагрева силового электрооборудования и электрических машин электровоза. Патент РФ № 2411149. Авторы: Степанов Александр Петрович (RU), Милованов Алексей Игоревич (RU), Саломатов Владимир Николаевич (RU), Марютин Константин Александрович (RU), Степанов Максим Александрович (RU). Опубликовано 10.08.2009.
12. Наиболее важные требования [Электронный ресурс] // Mechanician.ru. Производитель ЛКМ, г. Москва – URL: <http://mechanician.ru/content/view/116/36/> (дата обращения 17.04.13)
13. Патент РФ № 135442 U1 МПК H01B7/02 (2006.01), 10.12.2013. Леонов А.П., Болгова В.А. Провод с поливинилхлоридной изоляцией для электрических установок.
14. Провода с поливинилхлоридной изоляцией для электрических установок. Технические условия. ГОСТ 6323-79 (СТ СЭВ 587-87).

Рецензент: Власов Виталий Анатольевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Andrei Leonov

«National Research Tomsk Polytechnic University»
Russia, Tomsk
E-Mail: leonov_ap@elti.tpu.ru

Veronika Bolgova

«National Research Tomsk Polytechnic University»
Russia, Tomsk
E-Mail: bolgova_va@live.com

The visualization of local overheating places in the cable insulation

Abstract: A significant number of electrical equipment failures occurs due to latent defects and weakened insulation. In the majority of cases it's caused by the overheating impact. The risk of cable insulation overheating consists in the thermal aging acceleration, the electrical and mechanical properties deterioration; it leads to service life period reducing and can be a cause of fire hazards. Currently, the detection of inadmissible insulation overheating places is difficult even in areas of exposed wiring and electric service panel. This paper presents a new technical solution elaboration providing a simple and illustrative method for the electrical insulation critical temperature rise control. Developed by the authors cable product design using thermoindicators is described. This cable product design provides the insulation critical overheating visualization and the weakened cable or wire timely replacement for prevent an emergency situation and electrical equipment failure. The special thermoindicators additives inserting in the polymeric insulation outer layer is proposed by the authors. , otherwise stated, it allows to turning into a temperature sensor the entire test surface. The performed thermal design taking into account the current loads confirms the reality of achieving marked temperatures during the cable products operation. It's mentioned, proposed design implementation doesn't require the significant changes of technological process existing on most cable factories producing plastic insulated cables. Authors developed design is protected by patent of Russian Federation.

Keywords: Wire; cable; insulation; overheating; thermoindicator; reliability.

Identification number of article 118TVN214

REFERENCES

1. Bolgova V. A. Kontrolirovanie peregreva izoljacji kabelej. Sovremennye tehnika i tehnologii: sbornik trudov XIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. V 3 t. T. 2 / Tomskij politehnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – S. 14-15.
2. Tokovaja peregruzka [Jelektronnyj resurs] // Promyshlennyj portal Oborudka.Ru – URL: <http://www.oborudka.ru/favorit15/24.html> (data obrashhenija 17.02.13)
3. Snizhenie požarnoj opasnosti kabel'nyh linij. [Jelektronnyj resurs] // Kolbasers.ru. Promyshlennaja baza. – URL: <http://www.kolbasers.ru/ct/prom/2940/index.shtml> (data obrashhenija 17.04.13)
4. O jelektroprovodke. [Jelektronnyj resurs] // Informacija po obustrojstvu zagorodnyh domov – URL: <http://dachadoma.ru/stroitelstvo-i-remont/o-elektroprovodke.html> (data obrashhenija 17.04.13)
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 30 dekabnja 2012 g. N 1481 O federal'noj celevoj programme "Pozharnaja bezopasnost' v Rossijskoj Federacii na peri-od do 2017 goda".
6. Gosudarstvennaja programma Rossijskoj Federacii "Jenergojeffektivnost' i razviti-e jenergetiki". UTVERZhdENA rasporyzheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 3 aprelja 2013 g. № 512-r.
7. Datchiki temperatury. [Jelektronnyj resurs] // Gruppya proektov KIPINFO. Izmeritel'nye pribory, vsjo o KIP – URL: <http://kipinfo.ru/info/stati/?id=179> (data obrashhenija 17.02.13)
8. Abramovich B. G. Termoindikatory i ih primenenie. M., «Jenergija», 1972. 224 s. s il.
9. Professors Brett Lucht, Bill Euler, and Otto Gregory. Thermochromic Pigments for Rapid Visual Assessment of Temperature. The Sensors and Surface Technology Partnership. An interdis-ciplinary research and educational collaboration at the University of Rhode Island.
10. Termoindikatory i ih primenenie. [Jelektronnyj resurs] // Jelektronnyj zhurnal «Himija i himiki» №5 2008. – URL: <http://chemistry-chemists.com/Contents5.html> (data obrashhenija 10.03.13)
11. Sposob vizual'nogo kontrolja nagreva silovogo jelektrooborudovanija i jelektricheskikh mashin jelektrovoza. Patent RF № 2411149. Avtory: Stepanov Aleksandr Petrovich (RU), Milovanov Aleksej Igorevich (RU), Salomatov Vladimir Nikolaevich (RU), Marjutin Konstantin Aleksandrovich (RU), Stepanov Maksim Aleksandrovich (RU). Opublikovano 10.08.2009.
12. Naibolee vazhnye trebovanija [Jelektronnyj resurs] // Mechanician.ru. Proizvoditel' LKM, g. Moskva – URL: <http://mechanician.ru/content/view/116/36/> (data obrashhenija 17.04.13)
13. Patent RF № 135442 U1 MPK H01B7/02 (2006.01), 10.12.2013. Leonov A.P., Bolgova V.A. Provod s polivinilhloridnoj izoljaciej dlja jelektricheskikh ustanovok.
14. Provoda s polivinilhloridnoj izoljaciej dlja jelektricheskikh ustanovok. Tehniche-skie uslovija. GOST 6323-79 (ST SJeV 587-87).