

УДК 614.841/621.3.048

Нагревостойкость изоляции электроустановок

© А. С. Харламенков

Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

РЕЗЮМЕ

Указаны основные классы нагревостойкости изоляции. Рассмотрены основные требования нормативных документов к порядку выбора и эксплуатации различных изоляционных материалов. Отмечены особенности оценки степени разрушения изоляции под воздействием повышенных температур. Выполнено сопоставление классов изоляции, приведенных в различных действующих нормах. Представлены основные закономерности и примеры расчета времени старения изоляции.

Ключевые слова: пожарная безопасность; двигатели; электропроводка; температура; надежность.

Для цитирования: Харламенков А. С. Нагревостойкость изоляции электроустановок // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 77–79.

Heat resistance of electrical installations

© A. S. Kharlamenkov

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The main classes of insulation resistance are indicated. The basic requirements of normative documents on the procedure for the selection and operation of a variety of insulating materials are considered. The features of the assessment of the degree of destruction of insulation from exposure to elevated temperatures are noted. Comparison of insulation classes according to active norms is carried out. The main regularities and examples of calculations of the insulation aging time are presented.

Keywords: fire safety; engines; wiring; temperature; reliability.

For citation: A. S. Kharlamenkov. Heat resistance of electrical installations. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 77–79 (in Russian).



ВОПРОС:

Согласно Прогнозу обстановки с пожарами в Российской Федерации на 2018 г. [1] отмечено снижение общего числа пожаров. В то же время прогнозируется рост числа пожаров вследствие нарушений устройства и эксплуатации электрооборудования. В первую очередь это касается проводов и кабелей, эксплуатационные показатели которых являются важной составляющей их безопасного использования. Среди них следует выделить срок службы электрической изоляции, который зависит не только от негативного влияния на покрытие проводников извне в виде воды, пыли или более агрессивных сред, но и от температурных режимов работы электропроводки.

Каким образом повышенная температура проводника и окружающей среды влияет на состояние изоляции и ее срок службы?

ОТВЕТ:

Достаточно давно известно негативное влияние высоких температур на состояние изоляции. Ее главным параметром является сопротивление, от которого зависит как срок службы самой электропроводки, так и вероятность возникновения пожароопасной ситуации.

Еще в 30-х годах XX века с появлением новых изоляционных материалов на основе силиконовой смолы была отмечена необходимость оценки скорости разрушения (старения) покрытий токоведущих жил проводов и кабелей. Для определения максимальных температурных режимов работы электропроводки и электрических машин в международных стандартах был введен термин “температурный (термический, тепловой) класс изоляции”, а в национальных стандартах — “класс нагревостойкости”. Под нагревостойкостью понимают способность электрического изоляционного материала (ЭИМ) длительно выдерживать определенные температуры без сокращения срока его службы. Для каждого вида ЭИМ определен термический класс, который обозначается буквами латинского алфавита или числовым значением, и соответствующая ему максимальная температура. Помимо ЭИМ, в стандартах используется другой термин — “электрическая изоляционная система” (ЭИС). Этот термин распространяется на электрические машины и аппараты, в состав которых входит несколько ЭИМ.

Существует несколько стандартов со схожей классификацией изоляции по термическим признакам. К ним относятся ГОСТ 8865–93 (МЭК 85-84) [2], международный стандарт IEC 60085:2007 (идентичный

Таблица 1. Температурные классы изоляционных материалов и систем

ГОСТ 8865–93 [2]	IEC 60085 [3]	NEMA MG-1 [4]	Максимально допустимая температура горящей точки (поверхности) $T_{\max}$, °C	Относительный температурный индекс ³ , °C
Класс нагревостойкости изоляции	Термический (температурный) класс ¹	Класс системы изоляции ²		
Y	Y	—	90	90–105
A	A	A	105	105–120
E	E	—	120	120–130
B	B	B	130	130–155
F	F	F	155	155–180
H	H	H	180	180–200
200	N	—	200	200–220
220	R	—	220	220–250
250	—	—	250 ⁴	> 250

¹ Буквенное обозначение класса может не указываться или добавляться в круглых скобках, например 180 (H) [3].

² Данная классификация распространяется на ЭИС электрических двигателей, работающих при температуре окружающей среды в диапазоне 0–40 °C.

³ Относительный температурный индекс (ОТИ) определяет температурные пределы, в которых не снижается изначально заложенный эксплуатационный показатель (срок службы) испытываемых образцов ЭИМ и ЭИС относительно эталонного. Как правило, за эталонный температурный индекс (ТИ) принимается срок службы изоляции 20 000 ч.

⁴ Для последующих классов температура $T_{\max}$, превышающая 250 °C, должна повышаться на 25 °C с присвоением соответствующего класса [2].

ГОСТ Р МЭК 60085–2011 [3]) и стандарт Национальной ассоциации производителей электрооборудования США (NEMA MG-1) [4]. Обобщенные сведения по температурным классам изоляции сведены в табл. 1.

При работе электроустановки в нормальном режиме, для которого рабочая температура ниже $T_{\max}$, срок службы ее изоляции может достигать 15–20 лет. Электропроводка и электрические машины не должны работать при температурах выше $T_{\max}$, так как каждое повышение температуры в среднем на 8 °C относительно $T_{\max}$ сокращает срок службы ЭИМ и ЭИС вдвое. Данное правило “восьми градусов” (формула Монтзингера) применяется для ЭИМ класса А (бумага, пряжа, шелк). Для класса В ближе значение 10 °C, а для класса Н — 12 °C [5]. Существует универсальное правило “пятнадцати градусов”, согласно которому при превышении температуры сверх допустимой на 15 °C срок службы изоляции любого класса уменьшается в $e = 2,72$ раза (основание натурального логарифма) [6].

Таблица 2. Коэффициент С для различных классов нагревостойкости

Класс нагревостойкости	A	E	B	F	H
Коэффициент С	25,1	25,1	25,3	29,7	34,2

Для оценки срока службы изоляции также используется формула Вант-Гоффа–Аррениуса, с помощью которой можно оценить время старения изоляции (скорость химической реакции) при различных температурных режимах. В общем виде зависимость выглядит следующим образом [5]:

$$\ln k = A + B/T,$$

где k — константа скорости химической реакции;

A, B — постоянные коэффициенты, характеризующие химический состав и структуру вещества, участвующего в реакции (табличные значения для каждого класса изоляции имеются в справочниках);

T — абсолютная температура.

После необходимых преобразований можно получить аналогичное уравнение, позволяющее определить срок службы изоляции τ_2 (ч) для требуемого превышения температуры над максимально допустимой $T_{\max}$ ($\Delta T = T - T_{\max}$) при известном сроке службы изоляции τ_1 конкретного класса:

$$\tau_2 = \tau_1 e^{\left(-C \frac{\Delta T}{T+273}\right)},$$

где C — безразмерный коэффициент, постоянный для каждого температурного класса изоляции (см. табл. 2 [6]).

Из вышесказанного следует, что температурные классы изоляции напрямую связаны со сроком службы электроустановок. Например, двигатель, работающий при $T = 185$ °C, будет иметь ориентировочный срок службы при $\tau_1 = 20\,000$ ч и классе изоляции:

- А — 250 ч;
- В — 950 ч;
- F — 2 850 ч;
- Н — 13 800 ч.

При оценке надежности работы электроустановок не всегда можно учесть все негативные факторы воздействия на изоляционный материал. Помимо термического разложения (пиролиза), к ним относятся гидролиз (обменные реакции с водой) и окисление под действием кислорода и других кислот. Следовательно, старение изоляции следует рассматривать как комплексный процесс, при котором важно опираться не только на расчеты, но и на опыт эксплуатации подобного рода изделий. Для новых видов ЭИМ и ЭИС следует пользоваться результатами испытаний отдельных образцов и расчетными оценками. Для экспресс-оценки времени “жизни” изоляции разработаны

специальные ускоренные испытания. Методы таких испытаний изложены в серии ГОСТ IEC 60034 [7] (отдельные части), международных стандартах серии IEC 60216 (ГОСТ 10518–88 [8], ГОСТ 27710–88 [9]) и IEC 60505 (ГОСТ 27905.1–88 [10]). Существует множество различных моделей старения изоляции (трех- и четырехпараметрические, модель “слабейшего звена” и др. [11]). Они позволяют оценить надежность и техническое состояние изоляции на протяжении всего времени эксплуатации оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз обстановки с пожарами в Российской Федерации на 2018 г., анализ обстановки с пожарами, предложения по улучшению обстановки с пожарами в Российской Федерации : информационно-аналитический материал. URL: <https://sites.google.com/site/statistika-pozaro/prognoz-obstanovki-s> (дата обращения: 05.01.2019).
2. ГОСТ 8865–93 (МЭК 85-84). Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. — Введ. 01.01.1995. — М. : Издательство стандартов, 1995.
3. ГОСТ Р МЭК 60085–2011. Электрическая изоляция. Классификация и обозначение по термическим свойствам. — Введ. 01.06.2012. — М. : Стандартинформ, 2012.
4. ANSI/NEMA MG 1-2016. Motors and generators. — Virginia, Rosslyn : National Electrical Manufacturers Association, 2016.

5. Ермолин Н. П., Жерихин И. П. Надежность электрических машин. — Л. : Энергия, 1976. — 248 с.

6. Федотов М. М., Лужнев А. И., Боев А. Е. Оценка сроков службы изоляции электрических машин // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. — 2011. — № 10(180). — С. 200–203.

7. ГОСТ IEC 60034-18-1–2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 18-1. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Общие требования. — Введ. 01.03.2016. — М. : Стандартинформ, 2015.

8. ГОСТ 10518–88. Системы электрической изоляции и другие полимерные системы. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость (ред. от 27.11.2012). — Введ. 01.01.1990. — М. : Издательство стандартов, 1988.

9. ГОСТ 27710–88 (СТ СЭВ 4127–83). Материалы электроизоляционные. Общие требования к методу испытания на нагревостойкость (ред. от 01.02.1989). — Введ. 01.01.1989. — М. : Издательство стандартов, 1989.

10. ГОСТ 27905.1–88 (МЭК 505–75). Системы электрической изоляции электрооборудования. Оценка и классификация. — Введ. 01.01.1990. — М. : Издательство стандартов, 1989.

11. Мартко Е. О. Модели надежности и технического состояния изоляции электродвигателей, используемые для прогнозирования выхода их из строя // *Ползуновский вестник*. — 2013. — № 4-2. — С. 138–142.

Материал поступил в редакцию 14 января 2019 г.

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru