**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И ОЦЕНКА ТЕМПОВ СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ**

***Цицонь Иван Иванович***

*магистрант, кафедра электроснабжение промышленных предприятий*

*Казанский государственный энергетический университет*

*РФ, г.Казань*

*E-mail:* *honey.roditel@mail.ru*

***Грачева Елена Ивановна***

*научный руководитель, док.техн.наук, проф.,*

*Казанский государственный энергетический университет*

*РФ, г.Казань*

**METHOD OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE PARAMETERS OF CABLE LINES AND ASSESSMENT OF INSULATION AGING RATES**

***Tsitson Ivan Ivanovich***

*student, Department of Power supply of industrial enterprises*

*Kazan State Power Engineering University*

*Russia, Kazan*

*E-mail:* *honey.roditel@mail.ru*

***Gracheva Elena Ivanovna***

*Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor,*

*Kazan State Power Engineering University*

*Russia, Kazan*

**АННОТАЦИЯ**

Данная статья содержит методику расчета температуры кабелей и осуществление оценки теплового воздействия на темпы старения изоляции.

**ABSTRACT**

This article contains a methodology for calculating the temperature of cables and the implementation of an assessment of the thermal impact on the rate of aging of insulation.

**Ключевые слова**: кабельные линии, температурные параметры, старение изоляции.

**Keywords**: cable lines, temperature parameters, insulation aging.

Кабельные линии являются одним из ключевых звеньев в электроэнергетической отрасли. Правильный выбор параметров кабеля, способов прокладки и сечения являются одними из самых важных задач при проектировании системы электроснабжения. Но несмотря на это, зачастую, кабельные линии не выдерживают полный срок службы, который заявлен производителем. В данной статье будет представлен расчет температурных параметров кабельных линий, а также определение темпов старения изоляции, которые приводят к локальным повреждениям в следствие температурных перегревов.

Проведение расчетов начинаем с составления тепловой схемы замещения кабеля с обозначением термических сопротивлений. Для того, чтобы после проведения расчетов можно было составить сравнительную характеристику результатов, все кабели будут трехжильными и сечением 70мм2, что позволит нам сделать выводы по поводу способов прокладки и загрузки линий.



***Рисунок 1. Тепловая схема трехжильного кабеля***

P-потери в жилах кабеля;

T1- тепловое сопротивление между одной жилой и оболочкой;

T2-Тепловое сопротивление между оболочкой и броней;

T3-Тепловое сопротивление наружного защитного покрытия;

T4-Тепловое сопротивление среды, окружающей кабелей.

В качестве примера, расчет температур покажем для кабеля марки ААШв-3x-70 с длиной 1000м.

dа – наружный диаметр, мм;

r1 – радиус окружности, описанной вокруг жил, мм;

ρт – удельное тепловое сопротивление, К·м/Вт;

F2-геометрический коэффициент.

T2=0, так как отсутствует броня.

t3 – толщина защитного покрытия, мм;

Для определения T4 будут использованы разные формулы, в зависимости от способа прокладки. При прокладке на воздухе:

Δtп – разность температур поверхности кабеля и окружающей среды, К;

Z, E, g – константы для поверхностей кабелей.

При прокладке в траншее:

L – глубина прокладки, мм.

Для трехжильного кабеля температура жил в градусах определяется как:

tокр.1. – температура окружающей среды, °C.

После проведения расчетов составляем сравнительную таблицу результатов:

***Таблица 1.***

**Сводная таблица по расчетам температурных параметров кабелей**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка кабеля | Способ прокладки | T1К·м/Вт | T2К·м/Вт | T3К·м/Вт | T4К·м/Вт | ТкабПри tокр=25 °C |
| ААШв(БПИ) | Земля | 0,05 | 0 | 0,064 | 0,88 | 69,8 °C |
| Воздух | 0,05 | 0 | 0,064 | 0,8 | 74,7 °C |
| ВВГ(ПВХ) | Воздух | 0,048 | 0 | 0,054 | 0,8 | 52,3 °C |
| Земля | 0,048 | 0 | 0,054 | 0,91 | 55,8 °C |
| АВВГ(ПВХ) | Воздух | 0,048 | 0 | 0,054 | 0,8 | 70,2 °C |
| Земля | 0,048 | 0 | 0,054 | 0,91 | 75,0 °C |
| ПвПг(ПЭ) | Воздух | 0,03 | 0 | 0,036 | 0,79 | 51,2 °C |
| Земля | 0,03 | 0 | 0,036 | 0,89 | 54,5 °C |
| АПвПг(ПЭ) | Воздух | 0,03 | 0 | 0,036 | 0,79 | 68,4 °C |
| Земля | 0,03 | 0 | 0,036 | 0,89 | 73,5 °C |

Примечание: Данные расчеты были проведены с коэффициентами загрузок для алюминиевых кабелей 0,88; для медных 0,7.

Таким образом можно сделать вывод, что температура жил кабелей в большей мере зависит от способа прокладки, коэффициента загрузки кабельной линии и температуры окружающей среды. Геометрия кабеля и тип изоляции жил играют наименьшую роль в термическом процессе.

Для визуализации расчетов и определения теплового распределения внутри кабеля воспользуемся программным комплексом Elcut. Данное программное обеспечение позволит визуально оценить распределение температуры внутри кабеля на основании предыдущих расчетов и оценить степень нагрева оболочки кабельной линии.



***Рисунок 2. Диаграмма термических процессов внутри кабеля при температуре окружающей среды 20-25 °C при прокладке на воздухе***



***Рисунок 3. Диаграмма термических процессов внутри кабеля при температуре окружающей среды 20-25 °C при прокладке в траншее***

Можно сделать вывод, что распределение температуры от жилы к оболочке происходит быстрее при прокладке на воздухе, так как в данном случае не нарушен теплообмен с окружающей средой.

Для расчета темпов старения изоляции воспользуемся законом Аррениуса, где ресурсы tр1 и tр2 при температурах T1 и T2 связаны соответственно:

Для примера рассмотрим старение для кабеля с ПВХ изоляцией для длительно допустимой температуры в нормальном режиме T1=70°C и температуры в процессе эксплуатации T2=75°C:

Таким образом, при длительной работе кабеля (более 4 часов непрерывной работы в сутки) при температуре 75°C реакция термической деструкции в полиэтиленовой изоляции протекает в 1,37 раз быстрее, чем при температуре 70°C.

Нормативный срок службы кабеля составляет 30 лет или 262800 часов. Учитывая, что при перегрузке КЛ изоляция из полиэтилена подвергается воздействию повышенной температуры 75°C, срок службы кабеля снижается на 27%.

Для точности проводимых расчетов составим график и проведем аппроксимацию функции, что позволит получить модель, которая будет математическим языком описывать процесс темпов старения изоляции.

***Рисунок 4. Темпы старения изоляции от повышенных температурных воздействий***

Полиноминальное уравнение, которое описывает процесс:

 y=-0,0286x2+1,6922x-0,6206

Проведем аналогичные расчеты для кабелей с другими типами изоляции и занесем результаты в сводную таблицу. С помощью данного уравнения можно определить срок службы изоляции кабеля зная разницу превышения температуры.

***Таблица 2.***

 **Сводная таблица по расчетам срока службы изоляции кабелей**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка кабеля | Тип изоляции | Допустимая температура, °C | Температура по расчетам,°C | Срок изоляции кабеля по ГОСТ, лет | Срок службы из-за воздействия температурного старения, лет |
| АПвПг | Полиэтилен | 70 | 73,5 | 30 | 23,9 |
| ААШв | БПИ | 65 | 74,7 | 30 | 16,0 |
| АВВГ | ПВХ | 70 | 75,0 | 30 | 21,8 |

Таким образом можно сделать вывод, что при превышении предельно-допустимой температуры изоляции даже на несколько градусов, темпы старения изоляции увеличиваются.

Как итог, в данной статье была приведена методика расчета температурных показателей кабельных линий при различных способах прокладки, а также осуществлен расчет темпов старения изоляции и представлена модель, которая описывается полиномиальным уравнением и позволяет определить срок службы кабеля при различных температурных воздействиях.

**Список литературы:**

1. С.Д. Холодный, Э.Т. Ларина, В.М. Леонов. Конструирование изоляции кабельных изделий. Учебное пособие для вузов. - М.: МЭИ, 1988г., 59с**.**
2. ГОСТ Р МЭК 60287-2009 «Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки».
3. Основы кабельной техники. Под редакцией И.Б.Пашкова. Изд. 3-е, с дополнениями. М.: 2008.
4. Титков В. В. К оценке теплового режима трехфазной линии из СПЭ-кабеля // КАБЕЛЬ-News. № 10.
5. Ковригин Л. А. и др. Расчет температурных полей и токовых нагрузок кабелей в ANSYS // КАБЕЛЬ-News. № 4.