



Эксплуатация электрооборудования

А.Н. Козлов

*Нагрев электрооборудования.
Общие вопросы*

НАГРЕВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

- Любое преобразование энергии, ее передача и потребление связаны с определенными потерями:
 - ТОК, протекающий по проводнику, нагревает его - джоулевые потери;
 - МАГНИТНЫЙ ПОТОК в стальных сердечниках трансформаторов и электрических машин вызывает потери на перемагничивание и вихревые;
 - ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ в изоляции - на переменную поляризацию молекул диэлектрика и токи утечки;
 - МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ возникают во вращающихся машинах от трения в подшипниках и трения вращающихся частей об охлаждающую среду.
- В конечном счете, все потери превращаются в тепло и нагревают работающее оборудование.

В первую очередь нагреваются **органическая изоляция** и **переходные контакты** электрических цепей.

Изоляция из бумаги, пропитанной маслом, от нагрева стареет, и тем быстрее, чем выше ее температура.

Нагреваются также электрические аппараты, их механические части, пружины и контакты.

Нагрев контактов обладает свойством «самовозбуждения»: переходное сопротивление нагретого контакта возрастает, что приводит к увеличению в нем выделения тепла, а это в свою очередь увеличивает переходное сопротивление и т.д.

Повышенный нагрев электрических аппаратов приводит к искривлению их, заклиниванию подвижных частей и как следствие - к отказу в работе.

Поскольку нагрев электрооборудования неизбежен, то он должен быть заранее известен и по возможности ограничен допустимыми пределами. Основные средства борьбы с нагревом и его последствиями:

- правильный расчет токоведущих частей и магнитопроводов,
- правильно выполненное охлаждение аппаратуры,
- исправное содержание переходных контактов, - предотвращение возникновения паразитных токов и вредных магнитных полей, вызывающих нагрев аппаратов,
- правильная организация эксплуатации и своевременные профилактические испытания оборудования.

С точки зрения допустимых нагревов изоляция разделена на классы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Класс изоляции	У	А	Е	В	Ф	Н	С
Длительно допустимая максимальная температура, °С	90	105	120	130	155	180	180 и более

Класс **Y** - непропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный состав волокнистые материалы из целлюлозы и шелка. ($\leq 90^\circ$)

Класс **A** - пропитанные и погруженные в жидкий электроизоляционный состав волокнистые материалы из целлюлозы и шелка. ($\leq 105^\circ$)

Класс **E** – некоторые синтетические или органические пленки. ($\leq 120^\circ$)

Класс **B** - материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связывающими и пропитывающими составами. ($\leq 130^\circ$)

Класс **F** - материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связывающими и пропитывающими составами. ($\leq 155^\circ$)

Класс **H** - материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связывающими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры. ($\leq 180^\circ$)

Класс **C** - слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связывающих составов или с неорганическими или кремнийорганическими связывающими составами. ($\geq 180^\circ$)

Нагрев **неизолированных проводников ГОСТом 8024-69 ограничивается максимально допустимыми температурами (для некоторых типов проводников приведенными в табл.2.)**

Наименование частей аппаратов и КРУ	Температуры, °С			
	ϑ_B	ϑ_M	θ_B	θ_M
Токоведущие и нетоковедущие части, кроме контактов:				
Неизолированные	120		85	
В трансформаторном масле		90		55
Жесткие контактные соединения из меди, алюминия и сплавов:				
Без покрытия	80	80	45	45
С покрытием оловом	90	90	55	55
С гальваническим покрытием серебром	105	90	70	55
Подвижные контактные соединения с нажатием пружинами и покрытые серебром	105	90	70	55

ϑ_B - наибольшая температура нагрева, в воздухе;

ϑ_M - то же, в масле;

θ_B - превышение температуры частей аппаратов над температурой окружающего воздуха, в воздухе;

θ_M - то же, в масле;

Температура аппарата в установившемся режиме ϑ складывается из температуры окружающей среды ϑ_0 и превышения температуры аппарата над температурой окружающей среды θ :

$$\vartheta = \vartheta_0 + \theta$$

Нагревание проводников, непосредственно охлаждаемых водой, не допускается выше 90°C , т.к. при 100°C вода вскипает, а теплоемкость водяного пара в два раза меньше теплоемкости воды, что полностью нарушит охлаждение проводника.

Потери энергии в электрическом аппарате превращаются в тепло, одна часть которого нагревает оборудование, а вторая - отдается в окружающее пространство.

Примем следующие обозначения:

ϑ (°C) - температура аппарата;

ϑ_0 (°C) - температура окружающей среды;

θ (°C) - превышение температуры аппарата над температурой окружающей среды (перегрев); ϑ_0

P (Вт) - мощность потерь;

C (Вт_с/°C) - теплоемкость оборудования;

t (с) - время;

K (Вт/°C) - теплоотдача аппарата в окружающую среду.

Примем следующие допущения: отдача тепла в окружающую среду пропорциональна разности температур; теплоемкость окружающей среды не ограничена; условия охлаждения по всей поверхности одинаковы; мощность потерь, коэффициенты теплоемкости и теплоотдачи постоянны и не зависят от температуры.

Процесс нагревания аппарата

$$Pdt = K\theta dt + Cd\theta$$

Pdt - суммарная энергия потерь

$K\theta dt$ - отданная в окружающую среду энергия потерь;

$Cd\theta$ - поглощенная аппаратом энергия потерь, идущая на его нагревание.

В установившемся режиме перегрев неизменен и вся энергия потерь отдается в окружающую среду:

$$\theta_y = \text{const} \quad Cd\theta_y = 0$$

$$P = K\theta_y$$

При быстром нагреве, например при К.З, во внешнюю среду успевает выделиться мало потерь, все тепло идет на нагрев аппарата:

$$K\theta dt = 0$$

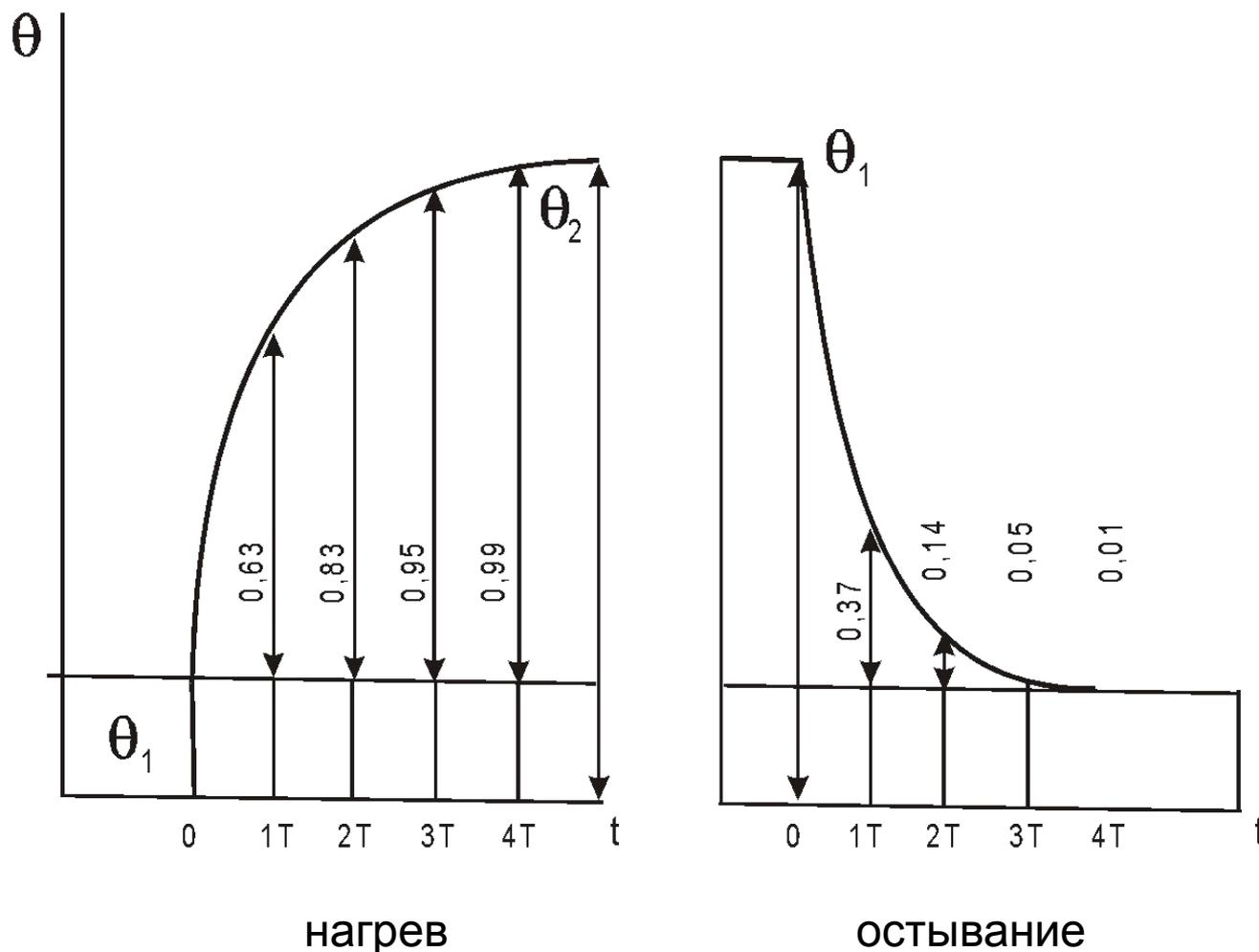
$$Pt = C\theta$$

Постоянная времени нагрева T может быть определена из полученных выше уравнений при подстановке $t=T$:

$$T = \theta_y C / P \qquad \theta_y = P / K$$

$$T = C / K$$

Экспонента показана на рисунке, где нанесены значения перегревов для моментов $1T$, $2T$ и т.д. Приблизительно можно считать, что спустя $4T$ после начала переходного процесса перегрев аппарата установился неизменным с точностью 1%.



Время нагрева t_X до величины перегрева θ_X

$$t_X = -T \ln \left(1 - \frac{\theta_X - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \right).$$

Теплоотдача в окружающую среду:

$$K = k S$$

k (Вт/см² · °С) - коэффициент теплоотдачи

S (см²) - поверхность теплоотдачи

Нагрев (и охлаждение) происходит по экспоненте, которую мы получим, проинтегрировав выражение для процесса нагревания аппарата для начального θ_1 и конечного θ_2 перегревов аппарата:

$$\theta = \theta_1 + (\theta_2 - \theta_1) \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$