**Тема: Электрические станции и подстанции**

**Лекция№9.** **ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКОВ В СХЕМАХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК.**

9.1 Нагрев токоведущих частей и уравнение теплового баланса

При работе токоведущих частей выделяют продолжительный и кратковременный режимы нагрева. Оборудование электростанций и подстанций в нормальных условиях работает в продолжительном режиме, а при коротких замыканиях в кратковременном режиме нагрева.

Процесс нагрева проводников в этих режимах можно описать с помощью уравнения теплового баланса. Составим это уравнение.

Пусть по длинному проводнику, имеющему сопротивление *R*, удельную теплоёмкость *c*, массу *m* и помещённому во внешнюю среду с температурой *θср* протекает ток *I*. Для малого интервала времени *dt* можно составить уравнение теплового баланса:

. (1)

Здесь левая часть уравнения определяет тепло, которое выделилось в проводнике за время *dt*, первый член правой части определяет тепло расходованное на повышение температуры проводника на *dθ* градусов за время *dt*. Второй член правой части определяет тепло выделившееся в окружающую среду за время *dt* при условии, что *k* – коэффициент теплоотдачи, учитывающий все её виды (теплопроводность, конвекция, излучение), *F* – поверхность проводника, а *θ* – температура проводника.

***Продолжительный режим нагрева*** – это режим с постоянной нагрузкой в течение неограниченного времени, когда проводник или аппарат находится в установившемся тепловом состоянии, достигая неизменной температуры.

Каждый проводник и изоляционный материал имеют допустимые температуры в продолжительном режиме *θдоп.дл*. Например, изоляция в зависимости от класса имеет следующие допустимые температуры:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| класс | У | А | Е | В | Р | Н | G |
| *θ*доп.дл ,0С | 90 | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 | >180 |

Для неизолированных медных и алюминиевых проводников длительно допустимая температура 70оС.

Уравнение теплового баланса в продолжительном режиме примет вид:

. (2), т.к. при некоторой установившейся температуре проводника *θуст* его температура не изменяется и, следовательно, *dθ*=0. На основании (2) можно получить связь между током в проводнике *I* в установившемся режиме и его температурой *θуст*:

.(3)

*Номинальным называют длительно допустимый ток проводника, при котором проводник достигает длительно допустимой температуры θдоп.дл при стандартизированной температуре окружающей среды θср.ст.*

|  |  |
| --- | --- |
| Среда | СТАНДАРТИЗИРОВАННАЯ ТЕМПЕРАТУРА θср.ст,оС |
| Воздух для проводников | +25 |
| Воздух для аппаратов | +35 |
| Земля | +15 |
| Вода | +15 |

На основании (3) можно получить выражение для *Iном*:

. (4)

Если температура окружающей среды не равна стандартной, то говорят о допустимом токе проводника при данных условиях:

. (5)

Если взять отношение допустимо длительного и номинального токов, то можно получить связь между этими токами:

. (6)

Из отношения произвольного тока в проводнике *I* и номинального тока можно определить установившуюся температуру проводника *θуст* при произвольной температуре среды *θср,* отличной от стандартной:

**. (7)

***Нагрев проводников в кратковременном режиме.*** Критерием термической стойкости проводника в этом режиме является температура его нагрева токами КЗ. Проводники (и аппараты) считаются термически стойкими, если их конечная температура в процессе КЗ не превышает допустимой величины *θк доп*.

Определить конечную температуру нагрева проводника *θк* в процессе КЗ можно с помощью уравнения теплового баланса, которое из-за краткости режима КЗ, когда можно пренебречь выделением тепла в окружающую среду, примет вид:

. (8)

Здесь *Ikt –* ток КЗ (действующее значение), который с течением времени *t* может изменяться;

 - активное сопротивление проводника при текущей температуре *θ*,

*ρ0* – удельное сопротивление проводника при *θ=00С;*

*l* и *S –* длина и сечение проводника;

*α –* температурный коэффициент сопротивления;

 - теплоёмкость проводника при температуре *θ*,

*c0 –* теплоёмкость при *θ=00*,

*β –* температурный коэффициент теплоёмкости;

*m=γlS –* масса проводника,

*γ –* плотность проводника.

Произведем подстановку в уравнение (8) рассмотренных выражений и проинтегрируем по соответствующим переменным:

. (9)

Здесь *tотк –* время с начала КЗ до отключения,

*θн* – начальная температура проводника (перед КЗ),

*θк* – конечная температура проводника (в момент отключения КЗ).

Величина  пропорциональная количеству тепла, выделенного при КЗ, носит название теплового импульса, а величина  носит название удельного теплового импульса. Значение интеграла в правой части соответствующее начальной температуре *θн* обозначим *Ан*, а конечной *θk* – *Ак*. Теперь можно записать:

 или .

Величина *А* есть сложная функция температуры проводника и приводится в справочниках в виде графиков для проводников из различных материалов.

Рассмотрим, как с помощью этих графических зависимостей (Рис.9.1) определить конечную температуру проводника.

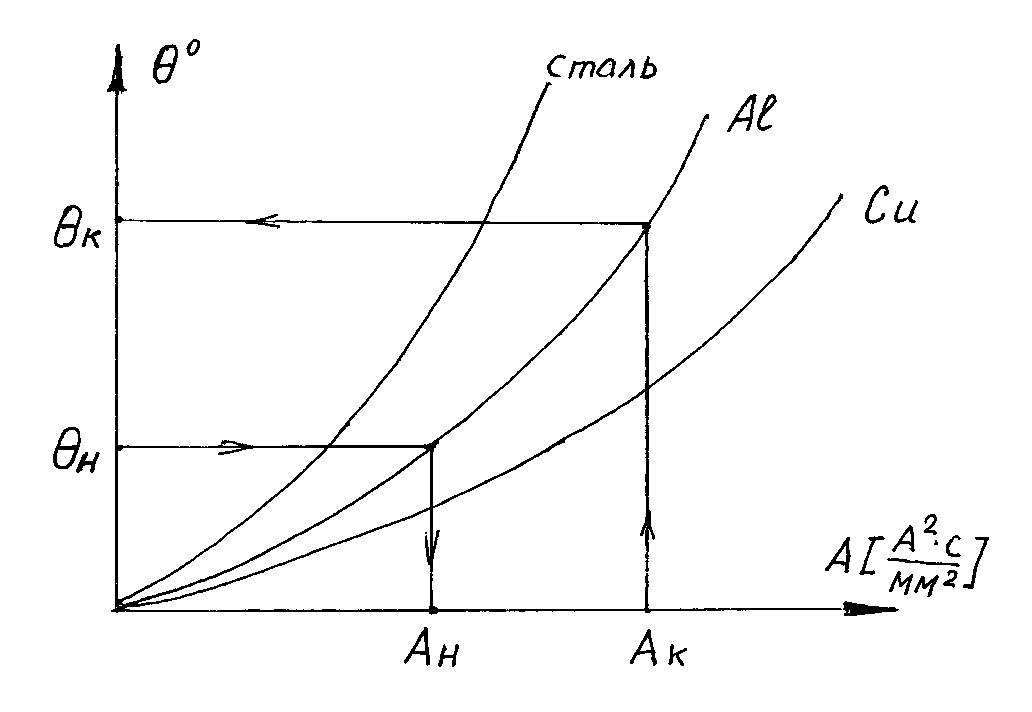


Рис. 9.1 Кривые для определения конечной температуры проводников.

В качестве начальной температуры *θн* принимаемустановившуюся температуру *θуст* проводника перед КЗ, которую вычисляем по ранее приведенной формуле (7), где *I* максимальный ток нагрузки в проводнике.

Зная *θн*, по кривой *A=f(θ)* определим *Ан*. Вычислив *Вк*, определим **, а затем по кривой определим конечную температуру *θк*.Если будет выполняться условие *θк≤θк доп*, то проводник в данных условиях будет термически стоек.

Таким образом, чтобы с помощью кривых *A=f(θ)* определить термическую стойкость проводников необходимо уметь вычислять тепловой импульс тока КЗ *Вк.* Так как ток КЗ в общем случае содержит периодическую и апериодическую составляющие, то и тепловой импульс *Вк* представляют состоящим из двух составляющих: *Вкп* – определяется переменной составляющей тока КЗ и *Вка* – определяется апериодической составляющей тока КЗ. *Вк≈Вк п+Вк а*.

При КЗ недалеко от генераторов (КЗ на выводах генераторов, на сборных шинах распредустройств станций) действующее значение периодической составляющей тока КЗ из-за переходных процессов в генераторах и действия систем возбуждения генераторов изменяется во времени (Рис9.2). Это изменение необходимо учитывать при расчёте теплового импульса от периодической составляющей тока КЗ *Вк п*.

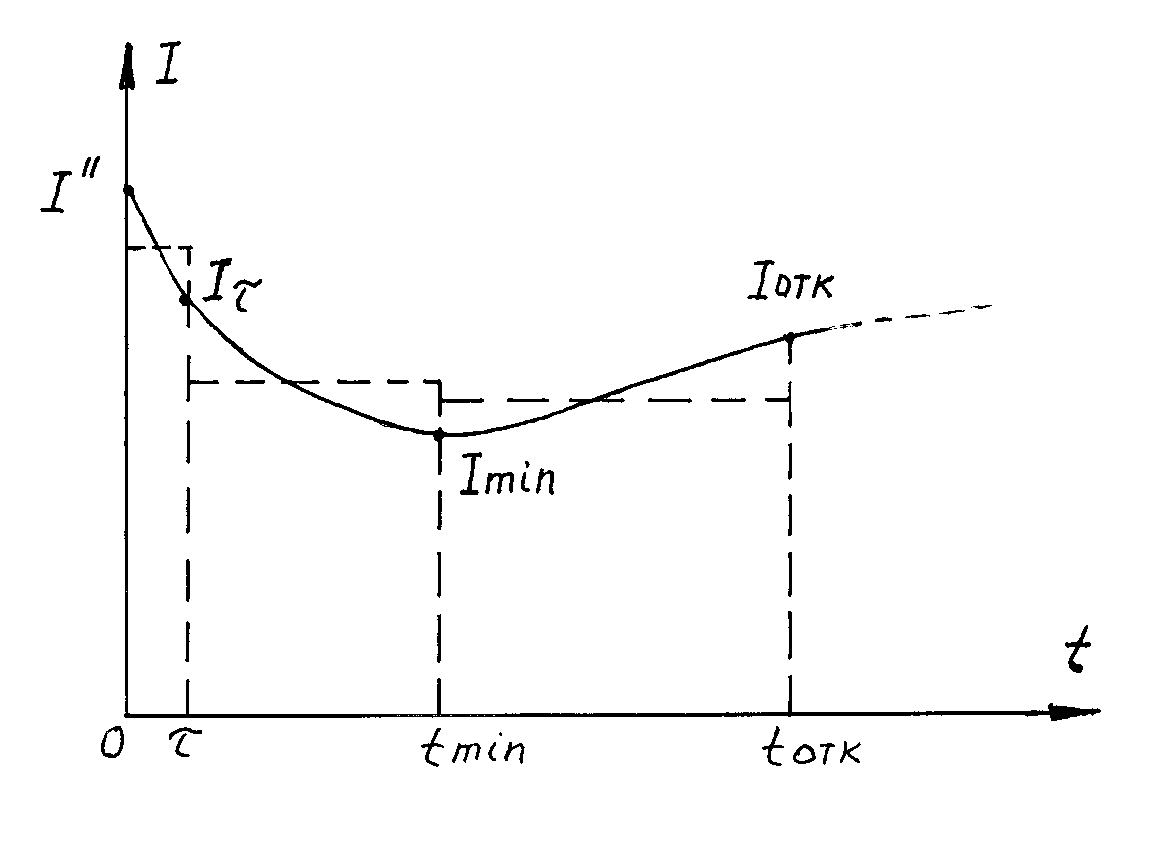


Рис. 9.2 Кривая изменения переменной составляющей тока КЗ для вычисления *Вкп*.

В расчете *Вк п* участвуют в общем случае следующие токи:

*I’’* – сверхпереходный ток КЗ;

*Iτ* – периодический ток КЗ в момент начала расхождения контактов выключателя;

*Imin* – минимальное значение периодического тока КЗ;

*Iотк* – периодический ток КЗ на момент отключения.

Время начала расхождения контактов выключателя *τ=tсв+tрз min*, здесь *tсв –* собственное время выключателя, а *tрз min* – минимальное время срабатывания основных защит в цепи выключателя (при отсутствии данных принимается 0,01 с).

Время отключения КЗ *tотк=tво+tрз max*, здесь *tво* – время отключения выключателя *tрз max –* максимальное время срабатывания резервных защит в цепи выключателя.

Расчет *Вкп* основан на аппроксимации площади под кривой *I2(t)* прямоугольниками. При этом рассматриваются два случая:

1. *tотк>tmin*

;

1. *tотк<tmin*

.

При КЗ в распределительной сети, т.е. вдали от генераторов, можно считать, что переменная составляющая тока КЗ не изменяется во время КЗ и равна сверхпереходному току. В этом случае *Вкп=I’’2tотк*.

Апериодическая составляющая тока КЗ, возникнув в первый момент КЗ, затухает по экспоненциальному закону с постоянной времени петли КЗ *Та*. Можно показать, что при *tотк*>*Та* тепловой импульс от апериодической составляющей можно принять *Вка≈I’’2Та*.

Проверка термической стойкости аппаратов производится не по допустимой температуре, а по допустимому тепловому импульсу. Для этого в справочниках приводится ток термической стойкости *Iтер* и время его протекания *tтер*. По ним можно вычислить допустимый тепловой импульс *Bкдоп=I2 тер tтер*. Условием термической стойкости аппарата будет выполнение соотношения *Вк≤Вк доп*.

Аппараты и токоведущие части в цепях генераторов из-за длительного процесса гашения поля генератора при его отключении проверяют при условии, что *tотк=4с*.