

ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОВОДНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Иванов В.С., Мишенин В.В.

Оренбургский государственный университет

Обустройство электроснабжения загородного дома – задача довольно непростая и многогранная. Чтобы электрическая сеть была надёжной и стабильной, необходимо учесть множество нюансов, как при проектировании, так и при монтаже. Кроме этого нужно помнить, что она должна обладать высоким уровнем безопасности. Большое влияние на проводник оказывает температура, поэтому при проектировании схемы электроснабжения необходимо руководствоваться ПУЭ и разработанному проекту. Рассмотрим влияние температуры на состояние проводника, а также влияние условий в которых проводник проложен.

Протекание электрического тока через проводник вызывает его нагревание. Количество тепла, выделяемое при протекании тока через проводник, будет пропорционально квадрату тока, сопротивлению проводника и времени протекания. В процессе выделения тепла температура провода или кабеля начнет превышать температуру окружающей среды. Соответственно начнется процесс отдачи тепла проводом в окружающую среду. Этот процесс будет продолжаться до наступления теплового равновесия – когда количество отдаваемого кабелем тепла в окружающую среду станет равным количеству получаемого тепла от протекания электрического тока. На практике довольно часто используют понятие температуры перегрева, которая равна разности температур провода и окружающей среды. Чрезмерно высокая температура проводов и кабелей приводит к преждевременному высыханию изоляции, а у проводников без изоляции к ускоренному окислению соединительных контактов и, как следствие, ухудшению проводимости. Кроме того, перегрев сверх допустимых величин может приводить к пожарам. Поэтому в ПУЭ устанавливаются допустимые максимально длительно температуры проводов и кабелей.

На примере однородного проводника рассмотрим основные условия нагрева и охлаждения электрического оборудования. Когда через проводник, температура которого совпадает с температурой окружающей среды, проходит ток, температура проводника с течением времени увеличивается, так как вся энергия потерь при прохождении тока преобразуется в тепло. Скорость повышения температуры проводника при нагреве током зависит от таких параметров как: соотношение между количеством выделяющегося тепла и интенсивностью его отвода, теплопоглощающая способность проводника [2].

Количество тепла, выделенного в проводнике в течение времени dt , будет составлять:

$$\partial Q = P * \partial t = I^2 * R_a * \partial t \quad (1)$$

где I — действующее значение тока, проходящего по проводнику, А;
 R_a — активное сопротивление проводника при переменном токе, Ом;
 P — мощность потерь, переходящих в тепло, Вт.

Часть полученного тепла идет на нагрев проводника и повышение его температуры, а часть отводится с поверхности проводника за счет теплоотдачи.

Энергия, которая за счет процесса теплоотдачи отводится с поверхности проводника в течение времени dt , пропорциональна превышению температуры проводника над температурой окружающей среды:

$$\partial Q_2 = K * F * (v - v_0) * \partial t = K * F * \theta * \partial t \quad (2)$$

где K — общий коэффициент теплоотдачи, учитывающий все виды теплоотдачи, Вт/см² °С;

F — поверхность охлаждения проводника, см²,

$$\theta = (v - v_0) \quad (3)$$

v и v_0 — температуры проводника и окружающей среды, °С.

Уравнение теплового баланса за время неустановившегося теплового процесса можно представить в следующем виде [5]:

$$\partial Q = \partial Q_1 + \partial Q_2$$

$$I^2 * R_a * \partial t = G * c * \partial \theta + K * F * \theta * \partial t \quad (4)$$

$$\frac{I^2 * R_a}{G * c} = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{K * F}{G * c} * \theta$$

В условиях нормального режима, когда изменение температуры проводника происходит в небольшом диапазоне, можно принять, что R , c , K являются постоянными величинами. Так же следует учесть, что до включения тока проводник имел температуру окружающей среды, значит начальное превышение температуры проводника над температурой окружающей среды равно нулю.

Решение данного дифференциального уравнения нагрева проводника будет выглядеть следующим образом:

$$\theta = A * e^{-\frac{K * F}{G * c} * t} + \frac{I^2 * R_a}{K * F} \quad (5)$$

где A — постоянная интегрирования, зависящая от начальных условий.

При $t = 0$ $\Theta = 0$, т. е. в начальный момент нагреваемый проводник имеет температуру окружающей среды.

Тогда для $t = 0$ получаем:

$$\theta = A + \frac{I^2 * R_a}{K * F} \quad \text{и} \quad A = - \frac{I^2 * R_a}{K * F} \quad (6)$$

Подставляя значение постоянной интегрирования A , получаем:

$$\theta = (v - v_0) = \frac{I^2 * R_a}{K * F} * (1 - e^{-\frac{K * F}{G * c} * t}) \quad (7)$$

Процесс перегрева будет в том случае, если выбранные условия прокладки будут обладать низкой теплоотдачей в окружающую среду за время dt . Лучше всех отводят тепло строительный гипс и древесина, но древесина имеет свойство возгораться, в этом случае необходимо строго руководствоваться ПУЭ. Хуже всего отводят тепло цемент и цементная штукатурка. Зачастую именно под цементной штукатуркой, куда доступ ограничен, возникает аварийная ситуация, связанная с перегревом, что приводит к нарушению изоляции проводников, а как следствие – к короткому замыканию. Номинальная нагрузка проводов по току зависит от условий охлаждения проводников. Провода, проложенные в стенах, каналах и трубах, не обдуваются воздухом, поэтому медленнее остывают. Толстые провода отдают тепло хуже, чем тонкие и выдерживают меньшую плотность тока. Плотность тока определяется делением допустимого тока на сечение проводников. Чтобы избежать перегрева проводника и возможных негативных последствий, необходимо правильно выбирать кабель для различных видов подключения, учитывать каждый фактор, влияющий на нагрев электрического кабеля и степень нагрева самого кабеля [7].

Таким образом, анализ литературных источников, а также изучение особенностей нагрева и охлаждения проводника электрическим током позволил сделать вывод о необходимости контроля температуры проводника в период его последующей эксплуатации.

Список литературы

1. Иванов, В.С., Актуальность исследования системы электроснабжения частного дома [Электронный ресурс] / Иванов В.С., Исхаков Т.М.: материалы Всероссийской научно-методической конференции – Оренбург: ОГУ, 2017.

2. Сибикин, Ю.Д., Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. – М.: Высшая школа, 2001. – 336 с.

3. Табунициков Ю.А. Энергоэффективные здания [Электронный ресурс] / Табунициков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. // М. : АВОК-ПРЕСС, 2003.

4. Балаков, Ю.Н., Проектирование схем электроустановок / Ю.А. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. – М.: МЭИ, 2006. – 287 с.
5. Кабышев, А.В., Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие/ А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. - Томск: Том.политехн.ун-т., 2005. – 168 с.
6. Интернет версия журнала Barlette. Строительство – архитектура – дизайн – Режим доступа: <http://barlette.ru/journal/article/568.html>
7. Электроснабжение загородного дома – Режим доступа: <http://elektrik24.net/provodka/v-chastnom-dome/skhema-elektroprovodki.html>