

Висновки

Отже, проведене дослідження проблеми оцінки впливу енергетичних забруднень показало необхідність розробки системи оцінювання таких впливів на навколишнє природне середовище. Сформована система індексів оцінювання рівня енергетичного забруднення на основі функції Харінгтона, дозволяє провести комплексне оцінювання такого забруднення. Розроблена методика визначення ризику впливу енергетичних забруднень дає можливість прийняття рішення про прийнятність планованої діяльності щодо впливу енергетичних забруднень.

Література

1. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд [Текст] : Наказом Держбуду України від 15.12.2003 р. № 214 та введені в дію 01.04.2004 р. – К.: Держкомбударх, Мінекобезпеки України, 2003. – 19 с.
2. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвук та інфразвук [Текст]. – Прийнятий. 1999-

12-01. – №37. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 1999.

3. Санітарні норми допустимого шуму в приміщеннях жилих і громадських будівель та на території житлової забудови [Текст]. – Прийнятий 1984-03-08. – № 3077-84. – М. : Главное санитарно-эпидемиологическое управление, Министерство здравоохранения СССР, 1984.
4. Державні санітарні правила і норми при роботі з джерелами електромагнітних полів [Текст] . – Прийнятий. 1999-12-01. – №39. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 1999
5. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Текст] . – Прийнятий. 1999-12-01. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 1999
6. ДБН В.1.4-1.01-97 Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві [Текст] . – Прийнятий. 1997-07-24. – К. : Держкоммістобудування України, 1997.
7. Бойко, Т.В. К вопросу определения рисков при оценке воздействия техногенных объектов на окружающую среду [Текст] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №4/6 (34): Технология неорганических и органических веществ и экология. – С.37–41.

Досліджувалось явище теплопередачі вздовж металевих дротів, які розігріваються електричним струмом. Тепловий потік ініціювався різницею температур. Запропоновано алгоритм розрахунку температури дроту і проведена експериментальна перевірка

Ключові слова: теплопровідність, коефіцієнт теплоїддачі, електричний струм

Исследовалось явление теплопередачи вдоль металлических проволок, разогреваемых электрическим током. Тепловой поток иницировался разностью температур. Предложен алгоритм расчета температуры проволоки и проведена экспериментальная проверка

Ключевые слова: теплопроводность, коэффициент теплоотдачи, электрический ток

The phenomenon of heat conduction along the metal wires heating by electric current is examined. Heat flow was initiated by the difference in temperatures. The algorithm for calculating the temperature of wire is proposed and experimentally tested

Key words: thermal conductivity, heat transfer coefficient, electric current

УДК 536.212

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОЛОКАХ

А. В. Заболотский

Кандидат технических наук, инженер-технолог

ООО «Группа «Магнезит»

ул. Белоостровская 17-504, г. Санкт-Петербург, Россия,

197342

Контактный тел: 07(911) 927-50-30

E-mail: zabolotsky@bk.ru

1. Введение

При прохождении электрического тока в металлических проволоках происходит выделение теплоты,

приводящее к ее разогреву. Данный факт важен для успешного проектирования электрохимической аппаратуры для определения оптимальных геометрических размеров токоподводов или параметров их охлаждения

(для того чтобы обеспечить допустимую температуру проводников). Расчет температуры проводника постоянного сечения находящегося в однородной среде многократно был описан в литературе [1]. В том случае, если сечение проводника переменное, либо разные участки проводника находятся в разных условиях теплообмена с окружающей средой, существенной становится теплопередача внутри самого проводника. Примером проводника, участки которого находятся в разных условиях теплообмена, могут служить вводы проводников внутрь химической или иной аппаратуры (как правило, проводники в таких местах окружены дополнительной изоляцией и крепежом) или границы изолированных и неизолированных участков. В реальных условиях равновесные температуры таких соседних участков могут отличаться на несколько десятков градусов, что, естественно не наблюдается при экспериментальной проверке, вследствие перераспределения тепла внутри самого проводника. В данной работе предлагается методика расчета температуры проводника, исходя из значения электрического тока, сопротивления и температуры окружающей среды.

2. Описание методики расчета

Температура проволоки, по которой проходит электрический ток, в стационарном режиме может быть определена при решении следующего уравнения:

$$Q_{\text{п}} = P, \quad (1)$$

где P – теплота выделяемая в проволоке, а $Q_{\text{п}}$ – тепловые потери с поверхности проволоки.

$$P = R \cdot I^2, \quad (2)$$

где R – электрическое сопротивление проволоки, I – электрический ток, проходящий в проволоке.

$$R = \rho(T) \cdot l / S, \quad (3)$$

где $\rho(T)$ – зависимость удельного электрического сопротивления материала проволоки от температуры, l – длина участка проволоки, S – площадь сечения проволоки.

$$Q_{\text{п}} = \alpha \cdot S_{\text{п}} \cdot (T_{\text{с}} - T_{\text{а}}), \quad (4)$$

где $T_{\text{с}}$ – температура поверхности проволоки (ввиду высокой теплопроводности металлов допустимо считать, что перепад температуры по сечению проволоки невелик и температуры поверхности и внутренних слоев проволоки совпадают), $T_{\text{а}}$ – температура окружающего воздуха, α – коэффициент теплоотдачи от поверхности проволоки в окружающую среду, $S_{\text{п}}$ – площадь поверхности проволоки. После подстановки и преобразований получается следующее выражение для определения температуры проволоки:

$$T_{\text{с}} = T_{\text{а}} + R \cdot I^2 / (\alpha \cdot S_{\text{п}}), \quad (5)$$

Трудность вызывает расчет коэффициента теплоотдачи α , который зависит от многих факторов, в частности от температур поверхности проводника и окружающей среды, геометрических размеров и положения проволоки (горизонтальное или вертикальное) и т. д. [2]. Общий коэффициент теплоотдачи является суммой коэффициентов лучистой ($\alpha_{\text{л}}$) и конвективной теплоотдачи ($\alpha_{\text{к}}$):

$$\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}. \quad (6)$$

В свою очередь коэффициент лучистой теплоотдачи определяется через температуры поверхности проволоки и окружающей среды:

$$\alpha_{\text{л}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_{\text{п}} \cdot (T_{\text{с}}^4 - T_{\text{а}}^4) \cdot (T_{\text{с}} - T_{\text{а}})^{-1}, \quad (7)$$

где $\epsilon_{\text{п}}$ – степень черноты поверхности проводника. Коэффициент конвективной теплоотдачи определяется методами теории теплового подобия:

$$\alpha_{\text{к}} = \text{Nu}_{\text{а}} \lambda_{\text{а}} d^{-1} \quad (8)$$

$$\text{Nu}_{\text{а}} = f(\text{Gr}_{\text{а}}, \text{Pr}_{\text{а}}), \quad (9)$$

$$\text{Gr}_{\text{а}} = g d^3 \beta (T_{\text{с}} - T_{\text{а}}) \mu_{\text{а}}^{-2}, \quad (10)$$

$$\text{Pr}_{\text{а}} = c_{\text{а}} \mu_{\text{а}} \lambda_{\text{а}}^{-1}, \quad (11)$$

где $\text{Nu}_{\text{а}}$, $\text{Gr}_{\text{а}}$, $\text{Pr}_{\text{а}}$ – критерии Нюссельта, Грассгофа и Прандтля для воздуха, $\lambda_{\text{а}}$ – теплопроводность воздуха, d – диаметр проволоки, g – ускорение свободного падения, β – коэффициент объемного расширения воздуха, $\mu_{\text{а}}$ – вязкость воздуха, $c_{\text{а}}$ – теплоемкость воздуха.

Вид функции (9) различен для горизонтальных и вертикальных поверхностей [2, 3] и для различной скорости движения окружающего воздуха. Таким образом, могут быть получены исходные данные для расчета температуры поверхности при наличии продольной теплопередачи – равновесные температуры на участках с постоянным характером теплообмена с окружающей средой.

Алгоритм расчета температуры поверхности проводника следующий:

1. Определяется равновесная температура на всех участках проводника в зависимости от изоляции, геометрии и условий их работы – выражения (5) – (11). Влияние соседних участков проводника не учитывается.

2. На следующем этапе необходимо определить площадь поверхности теплообмена и толщину теплового сопротивления между соседними участками проводника. Предположим, что излучающей тепло поверхностью является граница участков проводника, находящихся в разных условиях теплообмена с окружающей средой. Для простоты рассмотрим проводник круглого сечения и будем пользоваться цилиндрическими координатами. Тепловой поток от каждой точки излучающей поверхности равномерно распределяется ко всем точкам поверхности «холодного» участка проводника. Таким образом, требуется найти среднее расстояние от сечения разделяющего «горячий» и «холодный» участки до наружной поверхности «холодного» участка и среднюю площадь, через которую происходит теплопередача. Средняя площадь теплопередачи может быть определена как среднее геометрическое площади сечения проводника и площади наружной поверхности «холодного» участка:

$$S_{\text{с}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot d^3 \cdot l_{\text{с}}}{4}}, \quad (12)$$

где d – диаметр проводника, $l_{\text{с}}$ – длина «холодного» участка проводника. Расстояние от произвольной точки «теплоизлучающего» сечения до произвольной точки поверхности «холодного» участка рассчитывается по формуле:

$$\delta_i = l^2 + \frac{d^2}{4} + r^2 - d \cdot r \cdot \cos(\beta - \alpha), \quad (13)$$

где r – расстояние от произвольной точки излучающего сечения до его центра, β – угловая координата точки на поверхности «холодного» участка, α – угловая координата точки на излучающем сечении, l – расстояние от точки на «холодной» поверхности до излучающего сечения. Величины, входящие в соотношение (12) показаны на рис. 1 (произвольные точки излучающей поверхности и внешней поверхности «холодного» участка обозначены А и В соответственно).

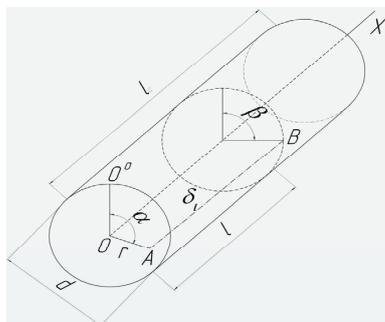


Рис. 1. Схема к расчету расстояния между поверхностями теплообмена

Среднее расстояние между теплоизлучающим сечением и поверхностью холодного участка (рассеивающей поверхностью) может быть рассчитано следующим образом:

3. Полученные из расчета по зависимостям (12) и

$$\delta = \frac{1}{2 \cdot \pi^2 \cdot d \cdot l_c} \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{l_c}{2}} \int_0^{\frac{d}{2}} \left(l^2 + \frac{d^2}{4} + r^2 - d \cdot r \cdot \cos(\beta - \alpha) \right) dr dl d\alpha d\beta, \quad (14)$$

(14) величины и температуры «холодного» и «горячего» участков, рассчитанные по формуле (4) используются для определения теплового потока между этими участками проводника:

$$q = \frac{\Delta T \cdot S_c}{\delta}, \quad (15)$$

Где q – количество теплоты, переходящее от «горячего» участка к «холодному» в единицу времени, ΔT – разность равновесных температур участков.

4. Следующим шагом корректируются равновесные тепловые потери для участков проволоки:

$$Q_n = P \pm q, \quad (16)$$

Знак «плюс» применяется к «холодному» участку, получающему дополнительную теплоту. «Минус» – к «горячему» (теряющему теплоту) участку соответственно. Соответственно, выражение (5) с учетом поправки примет вид:

$$T_s = T_a + (R \cdot I^2 \pm q) / (\alpha \cdot S_n), \quad (17)$$

5. Далее уточняются коэффициенты теплоотдачи, при необходимости электрическое сопротивление по формуле (3) и выделяемая теплота в участках проводника и вновь рассчитываются температуры.

Процедура повторяется до тех пор, пока разность между предыдущим и последующим значением температур не станет меньше заданной точности расчета. Предложенный метод эффективен при отношении длины участка проводника к его диаметру не превышающему 50 [1]. В случае большей длины проводника следует дополнительно разделять «горячую» и «холодную» зоны на участки меньшей длины и аналогичным образом рассматривать их взаимное влияние. Этим же способом, разделяя проводник на участки малой длины и рассматривая их влияние друг на друга, возможно построить поле температур по длине проводника.

3. Результаты и обсуждение

Методика расчета была проверена при исследовании разогрева металлических проволок постоянным

электрическим током с участками, имеющими различную тепло- и электроизоляцию и разную степень черноты поверхности (разный коэффициент теплоотдачи соответственно).

Для эксперимента использовали медный проводник диаметром 1.5 мм и длиной 300 мм. Постоянное значение электрического тока (25 А) поддерживали стабилизатором, при этом измеряли напряжение на концах проводника. Температура воздуха в лаборатории составляла 18–20°C. Локально температуру неизолированных участков проводника измеряли при помощи термометра.

Для создания различных условий теплообмена на участках проводника использовали пластиковую изоляцию и окрашивание части проводника для повышения степени черноты поверхности.

В результате при измерении температуры проволоки без изоляции и окрашивания в условиях проведения эксперимента было получено значение 106°C.

При окрашивании половины длины проводника краской с высокой степенью черноты, температура на неокрашенном участке составила 96°C. Результаты расчетов показали удовлетворительное соответствие измеренным значениям.

Объяснением полученных результатов может служить перераспределение тепла внутри проволоки. При окрашивании участка черной краской существенно увеличивается степень черноты поверхности от 0.12 для чистой меди [4] до 0.95 (для краски) и, как следствие, теплоотдача. Окрашенный участок начинает действовать как холодильник, что приводит к падению температуры на соседнем участке.

4. Заключение

Предложена модель для расчета тепловых полей в проводниках, разогреваемых электрическим током. Аналитически получены формулы для расчета площади теплообмена и среднего расстояния между поверхностями теплообмена для проводника цилиндрической формы. Расчетным путем было показано, что при нахождении участков проводника в условиях различной интенсивности теплообмена с окружающей средой, тепловой эффект за счет теплообмена внутри проводника может быть существенным и может быть зафиксирован имеющимися средствами измерения. Ожидаемый тепловой эффект наблюдался при экспериментальной проверке модели.

Литература

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. : «Химия», 1971.
2. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. М. : Атомиздат, 1979.
3. Фокин В. М., Бойков Г. П., Видин Ю. В. Основы технической теплофизики. М. : Машиностроение-1, 2004.
4. Пелецкий В. Э. Исследование монокроматической излучательной способности жидкой меди. ТВТ. 2000. Т. 38. № 3. С. 424.