

## МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ И ВЛАЖНЫХ СРЕД

Е.И. Востриков, М.В. Халин, Т.М. Халина

*Сформулированы требования для энергоэффективного функционирования поверхностно-распределенного электрообогревателя при его эксплуатации в агрессивных и влажных средах. Выполнен тепловой расчет электрообогревателя с учетом температуры окружающей среды. Предложена конструкция многоэлектродного композиционного электрообогревателя, обеспечивающая высокую надежность и электробезопасность при работе во влажных и агрессивных средах при наличии механических воздействий.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, поверхностно-распределенный электрообогрев, тепловая проводимость, многоэлектродный композиционный электрообогреватель, влажные и агрессивные среды*

Широкое использование энергоэффективных систем поверхностно-распределенного обогрева в особоопасных, агрессивных и влажных средах предъявляет ряд специальных требований к конструкции первичного преобразователя электрической энергии в тепловую. К ним можно отнести: высокую степень электрической изоляции, стойкость к механическим повреждениям, влагостойкость изоляционного слоя, термостойкость при значительных перепадах температур окружающей среды.

Общим недостатком известных композиционных и других электрообогревателей является то, что в результате нарушения условий эксплуатации и транспортировки происходит механическое повреждение изоляционного слоя и возникает вынос потенциала на поверхность изоляционного слоя, что приводит к поражению электрическим током биологического объекта.

Для энергоэффективного продолжительного функционирования поверхностно-распределенного электрообогревателя необходимы: наиболее точное определение требуемой удельной мощности обогрева при заданном диапазоне температур окружающей среды; высокие показатели сопротивления изоляции при эксплуатации в агрессивной и влажной среде; надежность к механическим повреждениям изоляционного покрытия.

Теплоотдача пола в воздух определяется по [1, 2]:

$$Q_n = \alpha_{пв} \cdot F_n (t_n - t_{oc}) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{пв}$  – коэффициент теплоотдачи поверхности обогреваемого пола в воздух Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$F_n$  – площадь обогреваемых участков пола, м<sup>2</sup>;

$t_n$  – температура поверхности пола, °С;

$t_{oc}$  – температура воздуха окружающей среды, °С;

$$t_n - t_{oc} = \Delta t;$$

$$\alpha_{пв} = \alpha_k + \alpha_{и}$$

где  $\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи пола конвекцией;

$\alpha_{и}$  – коэффициент теплоотдачи излучением.

Для горизонтальной поверхности, обращенной вверх:

$$\alpha_k = 2,15^4 \sqrt{\Delta t};$$

$$\alpha_{и} = B \cdot C$$

где  $B$  – температурный фактор,

$$B = \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{\Delta t},$$

где  $T_1$  – абсолютная температура нагретой поверхности, К;

$T_2$  – абсолютная температура воздуха внутри помещения, К;

$C$  – коэффициент лучеиспускания – определяется, как произведение коэффициента черноты  $\epsilon$  и коэффициента лучеиспускания  $C_0$  для абсолютно черного тела, равного 4,9 [2]:

$$C = \epsilon \cdot C_0.$$

Степень черноты  $\epsilon$  зависит от материала, качества обработки его поверхности и температуры тела. Коэффициент  $\epsilon$  для строи-

тельных материалов определяют из справочных данных [2].

В практических расчетах для резинотехнических изделий принимаем  $\epsilon = 0,92$ , следовательно:

$$C = 0,92 \cdot 4,9 = 4,5.$$

В условиях установившегося теплоперехода температура электронагревательного композиционного элемента и пола с течением времени не меняется. Вследствие этого, тепло, которое отдает электрообогреватель в сторону пола, переходит не изменяя своего количества, т.е.

$$q = \frac{t_3 - t_n}{R_n} \text{ и } q = \frac{t_n - t_{oc}}{R_n} \quad (2)$$

где  $q$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

$t_3$  – температура композиционного электрообогревателя, °С;

$R_n$  – полное термическое сопротивление конструкции пола, м<sup>2</sup>·°С/Вт

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n};$$

$R_{пв}$  – полное термическое сопротивление теплоотдачи поверхности пола в воздух

$$R_{пв} = \frac{1}{\alpha_{пв}}.$$

Приравняв правые части уравнений (2), определим необходимую температуру композиционного электрообогревателя:

$$t_3 = t_n + \alpha_{пв} R_n (t_n - t_{oc}). \quad (3)$$

Для дальнейшего определения полного количества тепла, выделяемого МКЭ, найдем теплоотдачу обогреваемого пола в основание конструкции.

Удельный тепловой поток в сторону слоев конструкции, лежащих ниже композиционных электрообогревателей, равен:

$$q_{низ} = \frac{t_3 - t_{ocн}}{R_{низ}}, \quad (4)$$

где  $t_{ocн}$  – температура основания пола;

$R_{низ}$  – сопротивление теплоотдаче слоев конструкции, лежащих ниже МКЭ:

$$R_{низ} = \frac{1}{\sum \alpha_{низ}}, \quad (5)$$

где  $\sum \alpha_{низ}$  – сумма коэффициентов теплоотдачи слоев конструкции основания пола, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Теплоотдача в основание:

$$Q_{ocн} = q_{низ} \cdot F_{п} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

Структурная схема удельных тепловых потоков композиционного электрообогревателя приведена на рисунке 1.

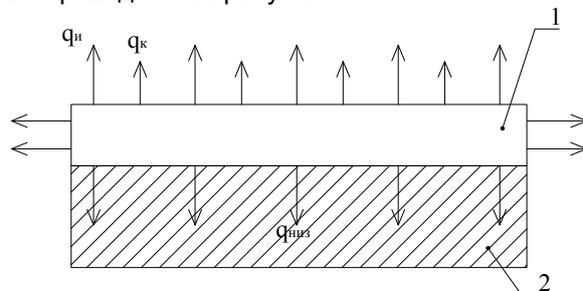


Рисунок 1 – Схема удельных тепловых потоков, где 1 – электрообогреватель МКЭ, 2 – основание конструкции пола

Общую теплоотдачу обогреваемого пола  $Q$  с учетом формул (1), (2) и (4) находим следующим образом:

$$Q = \left[ \bar{\alpha}_{пв} (t_n - t_{oc}) + \frac{t_3 - t_{ocн}}{R_{низ}} \right] \cdot F_{п} \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Многоядерные композиционные электрообогреватели (МКЭ) представляют собой сложную систему, преобразующую в соответствии с электро-, теплофизическими параметрами МКЭ электрическую энергию в тепловую и обеспечивающую заданную температуру на поверхности электрообогревателя.

Уравнение теплового баланса композиционного электрообогревателя с учетом формулы (7) может быть представлено в следующем виде [3]:

$$Q = \left[ \bar{\alpha}_{пв} (t_n - t_{oc}) + \frac{t_3 - t_{ocн}}{R_{низ}} \right] \cdot F_{п} = P = U^2 K_3 \Gamma, \quad (8)$$

где  $P$  – активная мощность МКЭ, Вт;

$K_3$  – коэффициент электропроводности МКЭ, имеющий размерность длины, при этом  $K_3 = G_3 / \gamma$ ;

$\gamma$  – удельная проводимость композиционного материала, См/м;

где  $G_3$  – электрическая проводимость МКЭ, См.

Многоядерный композиционный электрообогреватель (рисунок 2) содержит размещенный внутри изоляционного слоя 1 электропроводящий слой 2, с которым связаны электроды, подключенные к кабелю 4. К верхней поверхности изоляционного слоя 1 привулканизирован дополнительный слой в

## МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ И ВЛАЖНЫХ СРЕД

виде электропроводящей пластины 3, выполненной из бутилкаучука с наполнением техническим углеродом. Электропроводящая пластина 3 выполнена толщиной, равной толщине электропроводящего слоя 2. Между электропроводящей пластиной 3 и изоляционным слоем 1 завулканизирован заземляющий провод 5.

Многоэлектродный композиционный электрообогреватель работает следующим образом. В исходном положении многоэлектродный композиционный электрообогреватель устанавливают в рабочей зоне на нижнюю плоскость изоляционного слоя 1. Привулканизированная к изоляционному слою 1 электропроводящая пластина 4 располагается на верхней плоскости композиционного электрообогревателя и имеет непосредственный контакт с биологическим объектом.

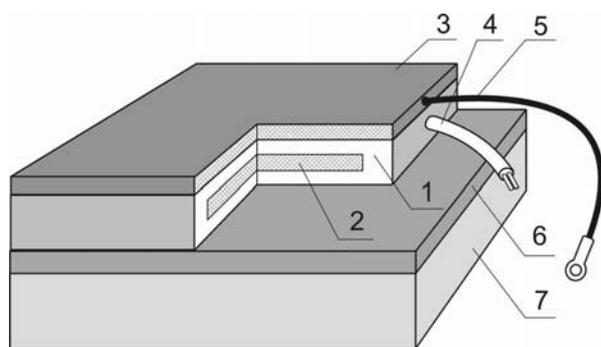


Рисунок 2 – Система локального поверхностно-распределенного электрообогрева с использованием МКЭ, где 1 – изоляционный слой; 2 – электропроводящий слой; 3 – электропроводящий заземляющий слой; 4 – токоподводы; 5 – заземляющий провод; 6 – покрытие (деревянное, бетонное, плиточное); 7 – основание пола

Посредством заземляющего провода 5, закрепленного на электропроводящей пластине 4, осуществляется надежное заземление многоэлектродного композиционного электрообогревателя, так как вся поверхность электропроводящей пластины 4 является заземляющим элементом. Температура нагрева поверхности изоляционного слоя 1 определяется составом компонентов электропроводящего слоя 2 при изготовлении электрообогревателя.

В предлагаемом многоэлектродном композиционном электрообогревателе изоляционные слои 1, электропроводящий слой 2 и электропроводящая заземляющая пластина 4

изготавливаются на основе бутилкаучука БК – 1675, а в качестве электропроводящей фазы используют технический углерод марок N – 330 или N – 245.

Электрообогреватель может использоваться для местного обогрева в технических и бытовых условиях, например: в животноводстве (молодняка птицы, КРС и свиней); в растениеводстве (подогрев грунта); в ЖКХ (предотвращение образования наледей водосточков, карнизов, подходов к зданиям и сооружениям) [4].

Предлагаемый электрообогреватель удобен в эксплуатации, имеет широкие функциональные возможности, обеспечивает высокую надежность и электробезопасность при работе во влажных и агрессивных средах и наличии механических воздействий, что достигается надежным заземлением за счет дополнительного слоя в виде электропроводящей пластины. Выполнение дополнительного слоя из бутилкаучука с наполнением техническим углеродом гарантирует высокую степень электробезопасности при эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев, В.В. Расчет и проектирование низкотемпературных композиционных электрообогревателей/ В.В. Евстигнеев, Г.А.Пугачев, Т.М. Халина, М.В. Халин. СО РАН, Новосибирск: Наука, 2001-168с.
2. Кутателадзе, С.С. Анализ подобия и физические модели / С.С. Кутателадзе / Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986 – 296 с.
3. Марсов, В.Ю. Технологии и технические средства на основе композиционных электрообогревателей в животноводстве: дис... канд. техн. наук / В.Ю. Марсов. - Барнаул, 2006. - 137 с.
4. Халин, М.В., Энергоэффективные композиционные электрообогреватели антиобледенительных систем/ М.В. Халин, Е.И. Востриков. Известия ТПУ, 2012- т.320, № 4. - С. 52-57

**Востриков Евгений Иванович**, аспирант кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, E-mail: [temf@yandex.ru](mailto:temf@yandex.ru)

**Халин Михаил Васильевич**, д.т.н., проф. кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. тел. 8(3852)29-07-88

**Халина Татьяна Михайловна**, д.т.н., проф. зав. каф. «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. тел. 8(3852)29-07-88