* + 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Нагреватели рассчитывают по удельной поверхностной мощности (удельному поверхностному тепловому потоку) или по рабочему току.

Расчет по удельной поверхностной мощности основан на совместном решении уравнений:

*P* = *p*УД *A* = *p*УД Πl ,

(2.1)

2

*U*

*P* = Φ =

*R*Φ

*U* 2 *S*

ρ*t* l ,

Φ

(2.2)

где Р - мощность нагревателя, Вт;

рУД - удельная поверхностная мощность нагревателя, Вт/м2; A - площадь поверхности нагревателя, м2;

П - периметр сечения нагревателя, м; ι - длина нагревателя, м;

Uф - фазное напряжение, В;

Rф - электрическое сопротивление нагревателя, Ом; S - площадь сечения нагревателя, м2;

ρt - удельное электрическое сопротивление нагревателя, Ом·м при температуре t.

Диаметр и длина нагревателя, м, определяются по формулам

3 Ф

*PU* 2

4πρ *p* 2

*t* УД

*d* = l =

3

4ρ *P* 2

*t*

π 2*U* 2 *p*

Ф УД

,

. (2.3-2.4)

При передачи теплового потока излучением предельно допустимая удельная поверхностная мощность, Вт/м2, определяется по формуле

Т

4 Т

4 

*p* = с 

УД

пр 







ИД 

Н 100 − 

НТ 100



 , (2.5)

где спр - приведенный коэффициент излучения идеального нагревателя, Вт/м2К4;

ТН - температура нагревателя, К;

ТНТ - температура нагреваемого материала, К.

Приведенный коэффициент излучения идеального нагревателя определяется по формуле

с = 5,7 / 1

+ А  1

−1

пр  ε

 НТ  ε 

 НТ А  Н

СТ

 , (2.6)

где εН - относительный коэффициент излучения (степень черноты) нагревателя;

εНТ - относительный коэффициент излучения (степень черноты) нагреваемого материала.

Предельно допустимая удельная поверхностная мощность реального нагревателя определяется по формуле

*p*УД = *p*УДИД α ЭФα Шα Сα Р (2.7)

Коэффициент αЭФ характеризует эффективность излучения системы нагревателя. Для проволочной спирали, размещенной на полочке или керамической трубке αЭФ=0,32. Коэффициент шага αШ учитывает зависимость рУД от относительного виткового расстояния h/d (по графикам). Коэффициент αС определяет влияние на рУД приведенного коэффициента излучения (степень черноты) реального нагревателя (по графикам).

Коэффициент излучения (степень черноты) реального нагревателя определяется по формуле

с = 5,7 / 1

+ А  1

−1

пр  ε

 НТ  ε 

 НТ А  Н

СТ

,

(2.8)

где АНТ - площадь тепловоспринимающей поверхности нагреваемого тела, м2;

АСТ- площадь поверхности стен установки, занятых нагревателями, м2.

Коэффициент αР учитывает влияние относительных размеров нагреваемого тела на рУД и зависит от отношения АНТ/АСТ (принимают по справочным данным; при АНТ/АСТ>0,8αР =1; при АНТ/АСТ<0,3 поправки αР и αС не вводят).

Геометрические размеры спирали: а) шаг витков h=(3,2…4,8)d; б) диаметр спирали D=(6…10)d; в) число витков w=l/(h2+(πD)2)0,5; г) длина спирали L=hw.

Порядок расчета по рабочему току

1. Определяют рабочий ток нагревателя:

*I P* =

*P*

*mnU* Φ , (2.9)

где Р – мощность установки, кВт; m –число фаз; n – число параллельных спиралей на одну фазу.

Установившуюся температуру нагревателя принимают из следующих условий:

*t*УСТ *t*УСТ

≤ *t* ДОП

= *t*РАБ + ∆*t* , (2.10)

где tДОП - допустимая рабочая температура материала нагревателя,

0С,

tРАБ - рабочая температура установки, 0С,

∆t- превышение температуры нагревателя над температурой нагреваемого материала, 0С.

По известным значениям tУСТ и IP определяют из справочных данных диаметр проволоки нагревателя.

Длина проволоки нагревателя определяется по следующему выражению:

l = *RS* = π*d* 2*U* Ф

ρ 4ρ*t I P*

(2.11)

Если конструкция или условия работы нагревателя не соответствуют табличным, то нагревательные элементы рассчитывают по условной (расчетной температуре).

*t*УСЛ = *t*УСТ *k*М *k*С . (2.12)

Геометрические размеры спирали определяются по ранее приведенным отношениям.

Пример**.** Рассчитать нагревательные элементы камеры мощностью 15 кВт для сушки электродвигателей после ремонта. Нагреватели - проволочная спираль из сплава Х20Н80; относительный коэффициент излучения нагревателя еНТ=0,65 , относительный коэффициент излучения нагреваемого тела еН = 0,75,

Отношение площади тепловоспринимающей поверхности электродвигателей к площади поверхности стен камеры, занятой нагревателями, Ант*/*Аст*=* 0,9. Напряжение сети 380/220 В.

Приведенный коэффициент излучения системы нагреватель –

,

нагреваемый материал с

пр

Вт /(м 2 ⋅ К 2 ) определяется по формуле:

 1 А  1 

с = 5,7 / 

пр 

+ н.т 

А е

е

−1,



(2.13)





с = 5,7 /

н.т

1

с.т  н

 1

+ 0,9 −



 = 3,1Вт /(м 2 ⋅ К 4 ).

1

пр  0,65  0,75 





Температура электродвигателей при сушке:

Т

н.т

= 180 + 273 = 453К.

Температуру нагревателей из нихрома Х20Н8О примем 1000° С. Тогда Тн= 1000 + 273 = 1273 К.

Удельная поверхностная мощность идеального нагревателя:

 Т  4  Т

 4 

р уд.ид

= с  н  пр  100 

−  нт  ,

 100  

(2.14)

1273 4  453 4 

р = 3,1  −    = 80104Вт / м2 .

уд.ид

 100 

 100  

Коэффициент эффективности нагревателя, выполненного в виде проволочной спирали, αэф = 0,32.

Коэффициент шага αш = 1,4 при h*/*d = 3

Коэффициент αc = 0,8 при спр

= 3,1

Вт /(м 2 ⋅ К 2 ).

Коэффициент αр = 1 при Ант*/*Аст = 0,9.

Удельная поверхностная мощность реального нагревателя, выполненного в виде спирали из нихромовой проволоки:

р уд = р уд.ид ⋅α эф ⋅αш ⋅αс ⋅α р ,

р = 80,104 ⋅103 ⋅ 0,32 ⋅1,4 ⋅ 0,8 ⋅1 = 28,71Вт / м2.

уд

Мощность одной спирали

(2.15)

где т *–* число фаз;

Рс =

Р

т⋅ *n* ,

(2.16)

п *–* число параллельных спиралей на фазу.

Рс =

25

3⋅ 2

= 4,2кВт.

Удельное сопротивление нихрома при температуре 1000 °С

ρ1000

= ρ 20 [1 + α*R*(1000 − 20)],

ρ = 1,1⋅10−6 [1 + 0,00028*R*(1000 − 20)] = 1,13 ⋅10−6 Ом ⋅ м.

1000

При соединении нагревателей в звезду *U* = 220 В.

ф

Диаметр нихромовой проволоки для нагревателей:

*d* = 3 с ,

4ρθ Р 2

π 2*U* 2 р

ф уд

(2.17)

*d* = = 0,83 ⋅10−3 м.

4 ⋅1,13 ⋅10−6 ⋅ (4,2 ⋅103 )2

3

3,142 ⋅ 2202 ⋅ 28,71⋅103

Длина проволоки одной спирали:

Р *U* 2

*c* ф

3

4

πρ р

2

θ уд

*l* = ,

(2.18)

*l* =

4,2 ⋅103 ⋅ 2202

3

4 ⋅ 3,14 ⋅1,13⋅10 −6 ⋅ (28,71⋅103 ) 2

Шаг спирали

*h* = 4*d*

*h* = 4 ⋅ 0,83 ⋅10−3 = 3,32 ⋅10−3 м.

= 25,9м.

(2.19)

Диаметр спирали

D = 10d,

*D* = 10 ⋅ 0,83⋅10−3 = 8,3⋅10−3 м.

(2.20)

Число витков спирали:

*w* =

*h*2 + (π*D*)2

*w* =

(3,32 ⋅10 −3 )2 + (3,14 ⋅8,3⋅10 −3 )2

*l*

25,9

= 986.

(2.21)

Длина одной спирали:

*L* = *wh*,

(2.22)

*L* = 986 ⋅ 3,32 ⋅10−3 = 3,27м.