# Исходные данные

Объектом расчёта является электрокалориферная установка в помещении свинарника для опоросов на 52 места и поросят отъемышей на 380 мест. Геометрические размеры помещения:

* длина a=78 м;
* ширина b=18 м;
* высота c=3 м.

Тем самым объем помещения V= 4212 м3.

В ходе выполнения курсового проекта пользуемся методикой изложенной в [3].

В соответствии с заданием давление p=370 Па, расчетная зимняя температура наружного воздуха tH= -32 оС.

В соответствии с [4, прил.2] расчетная температура воздуха в помещении свинарника откормочника tВ=20 оС.

# Определение требуемых параметров электрокалориферной установки

Основными параметрами электрокалориферной установки, которые необходимо знать для ее выбора или проектирования, является расчётная мощность электрокалорифера P, Вт, и объемная подача вентиляторной установки Qvt, м3/с.

## Определение объемной подачи вентиляторной установки

При определении объемной подачи вентилятора электрокалориферной установки Qvt учитываем, что в животноводческом помещении обычно имеется просачивание (инфильтрация) воздуха через неплотности наружных ограждений (притворы окон, дверей, ворот). Общее количество инфильтрующегося воздуха ориентировочно принимаем равным 20% от объёмного расхода вентиляционного воздуха Qv . Тогда объемный расход воздуха, который должен обеспечиваться приточными вентиляторами, можно оценить как [3]:

, (1.1)



С учетом этого требуемая объемная подача вентилятора одной калориферной установки равна [3]:

(1.2)



где n – число вентиляционных установок в помещении.

Значение QV определим из расчета воздухообмена в помещении. Расчет проводим по методике, изложенной в литературе [4] по условиям удаления избытков влаги и углекислого газа.

Необходимый воздухообмен при повышенной концентрации углекислого газа в помещении QCO2 определяем по формуле [4, с.26]:

(1.3)



где VCO2 – количество углекислого газа, выделяемого в помещении, м3/ч;

СН=0,3 л/м3  [4, с.29] – концентрация углекислоты в наружном приточном воздухе;

СВ=2,5 л/м3 [4,с.28] – допустимая концентрация углекислого газа в воздухе помещения.

Количество углекислого газа, выделяемого в помещении по формуле [4, с.29]:

(1.4)



где С1Ж=100 л/ч [4, прил.7] – норма выделения углекислоты одним животным

(для опоросов);

где С2Ж=39 л/ч [4, прил.7] – норма выделения углекислоты одним животным

(для отъемышей);

nЖ – количество животных, из исходных данных n1Ж=52, n2Ж=380



Подставив численные значения в формулу (1.3), получим численное значение расчетного воздухообмена по углекислому газу:



Воздухообмен при условии удаления из помещения избыточной влаги QW находим по формуле [4, с.26]:

(1.5)



где W – масса водяных паров, выделяющихся в помещении, г/ч;

dВ=15 г/кг – влагосодержание внутреннего воздуха найденное по H-d-диаграмме [4, прил.11] для температуры воздуха внутри помещения свинарника по исходным данным tВ=20°С и, определяемой по [4, прил.2], влажности воздуха φВ=75 %;

dН=0.5 г/кг – влагосодержание наружного приточного воздуха найденное по H-d-диаграмме [4, прил.11] для расчетной зимней температуры наружного воздуха tН=-32°С и влажности воздуха φН=80 % [3];

ρ – плотность воздуха при температуре помещения, кг/м3 .

Суммарные влаговыделения в помещении для животных рассчитываем по формуле [4, с.148]:

(1.6)



где WЖ – влага, выделяемая животными, г/ч;

WИСП – влага, испаряющаяся с поилок, кормушек, пола и других мокрых поверхностей, г/ч.

Влагу, выделяемую животными, определяем по формуле [4,с.148]:

(1.7)



где n1=52, n2=380 – количество животных;

W1=320 г/ч , W2=124 г/ч [4, прил.7] – норма выделения водяных паров одним животным;

kt=1,5 [4, прил.8] – коэффициент, учитывающий изменение количества выделяемых животным водяных паров в зависимости от температуры воздуха внутри помещения;

Подставив в формулу (1.7) значения величин, масса выделяемой влаги будет равна:



Массу влаги WИСП принимаем равной 10%WЖ [4, с.148]:



Для барометрического давления Р=99,3 кПа, являющегося среднегодовым в Центральном районе России плотность сухого воздуха в зависимости от температуры определяют по формуле [4, с.26]:

(1.8)



где t = tB = 20°C – температура внутреннего воздуха;



Подставив в формулу (1.6) значения величин, станет известно значение воздухообмена по избыточной влажности:



Так как значение воздухообмена по углекислоте больше значения воздухообмена по избыточной влаге, то воздухообмен по углекислоте принимаем за расчетный воздухообмен Qv:



Подставив в формулу (1.2) значение Qv,объемная подача вентилятора одной калориферной установки для двух калориферов в помещении будет равна:



## Определение расчетной мощности электрокалорифера

Расчётная мощность одного калорифера [3]:

(1.9)



где Pp – расчётная мощность калориферов в помещении;

n – число вентиляционных установок в помещении.

Расчётная мощность калориферов в помещении [1]:

(1.10)



где кз=1,05…1,10 [1] – коэффициент запаса, учитывающий возможное снижение питающего напряжения и старение нагревателей, принимаем кз=1,07;

Фп– полезный тепловой поток отопительных установок, Вт;

ηк=0,95…1,00 [1] – тепловой КПД, учитывающий потери от корпуса электрокалорифера и воздуховодов, принимаем ηк =0,96;

β– доля расчётной энергии, которая должна быть обеспечена от калорифера, %, принимаем β=100% [3].

Полезный тепловой поток отопительных установок Фп, Вт определяется из уравнения теплового баланса помещения [3]:

(1.11)



где Фо – тепловой поток через наружные ограждения помещения, Вт;

Фв– тепловой поток, теряемый с вентиляционным воздухом, Вт;

Фисп– тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с мокрых поверхностей животноводческого помещения, Вт;

Фж– тепловой поток, выделяемый животными, Вт.

Тепловой поток Фо определяем приближенно по выражению [3]:

(1.12)



где qот=0,407 Вт/м3\*оС[4,с.124]–удельная отопительная характеристика помещения;

V – объем помещения, м3, из исходных данных =4212 м3;

tв–температура внутреннего воздуха помещения, из исходных данных tв =20 оС;

tн–расчетная зимняя температура наружного воздуха,из исходных данныхtн =-32 оС;

а – поправочный коэффициент, учитывающий влияние разности температур на значение qот [3]:

(1.13)



Подставив численные значения в (1.13) получим значение поправочного коэффициента:



Подставив в формулу (1.12) значения величин, найдем тепловой поток через наружные ограждения:



Тепловой поток, теряемый с вентиляционным воздухом [4, с.149]:

(1.14)



где Qv – объемный расход вентиляционного воздуха из пункта 1.1 Qv=9100 м3/ч ;

ρв – плотность воздуха при температуре  из пункта 1.1

ρв=1,181 кг/м3;

ср=1 кДж/кг\*оС [3] – удельная изобарная теплоемкость воздуха.



Поток теплоты, расходуемый на испарение влаги с мокрых поверхностей животноводческого помещения, находим по формуле[4, с.149]:

(1.15)



где 2,49 – скрытая теплота испарения воды, кДж/г;

Wисп – масса испаряемой влаги из пункта 1.1. Wисп = 9564 г/ч.



Поток свободной теплоты, выделяемой животными, находим по формуле [4, с .149]:

(1.16)



где n1=52 , n2=380 – количество животных;

q –поток свободной теплоты выделяемой одним животным, из [3, прил.7]

q1=558, q1=215 Вт;

kt=1,5 [3, прил.8] – коэффициент, учитывающий изменение количества выделяемых животным водяных паров в зависимости от температуры воздуха внутри помещения;



Подставив в формулу (1.11) значения величин, значение полезного теплового потока отопительных установок будет равно:



Подставив в формулу (1.10) значения величин, расчётная мощность калориферов в помещении будет равна:



Подставив в формулу (1.9) значение РР, расчётная мощность одного калорифера для двух калориферов в помещении будет равна



# Выбор стандартной калориферной установки

По рассчитанному значению Р = Вт выбираем электрокалориферную установку типа ЭКОЦ – 40 мощностью 43.2 кВт. Для установки в помещение принимаем две электрокалориферных установки ЭКОЦ – 40, тем самым соблюдая условия надежности.



Выполним проверку данной электрокалориферной установки на способность обеспечить требуемый расход воздуха Qvt = м3/ч, для этого сравним значение Qvt с номинальной объёмной подачей воздуха Qvн, которая для электрокалорифера СФОЦ – 40 равна 3500 м3/ч [3]. Так как Qvн<Qvt, то к выбранной установке параллельно подключаем дополнительный вентилятор.



Выполним проверку данной электрокалориферной установки по температуре выходящего воздуха. Фактическая температура воздуха, выходящего из электрокалорифера, определяется по формуле [3]:

(2,1)



где РН = 43200 Вт – номинальная мощность калорифера;

Qvн – номинальный объемный расход воздуха через калорифер, м3/с,

Qvн =3500/3640 = 0,972 м3/с.

Предельно допустимая температура на выходе из установок типа ЭКОЦ составляет 50 ОС. Таким образом, должно соблюдаться условие [3]:

(2.2)



Подставив в формулу (2.1) значения величин, температура выходящего воздуха будет равна:



Выполним проверку данной электрокалориферной установки по температуре поверхности оребрения ТЭНов tпов. Предельно допустимая температура поверхности ТЭНа в электрокалориферах типа СФО tпов.пред. = 180 ОС, что связано с необходимостью исключить отрицательное воздействие на животных газообразных продуктов горения мельчайших органических частиц, находящихся в воздухе сельскохозяйственных помещений. Таким образом должно соблюдаться условие [3]:

(2.3)



Значение tпов определяем для ТЭНа из последнего (по ходу движения воздуха) ряда нагревателей, т.к. в этом ряду ТЭНы омываются наиболее нагретым воздухом и, следовательно, имеют наибольшую температуру поверхности. Фактическая температура поверхности ТЭНа, находящегося в последнем ряду, определяется по формуле [3]:

(2.4)



где Р1 = 1600 Вт [1] – мощность одного ТЭНа;

RT – термическое сопротивление теплоотдаче от поверхности ТЭНа к омывающему его воздуху, ОС/Вт, которое находится по формуле [3]:

(2.5)



где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНа к воздуху, Вт/(м2\*ОС);

Ар – площадь поверхности оребрения ТЭНа, м2, согласно [3, табл.1] принимаем Ар = 0,32 м2.

Коэффициент теплоотдачи α для оребрённых ТЭНов при их шахматном расположении и поперечном обдувании воздухом определяем по формуле[3]:

(2.6)



где λв – теплопроводность воздуха, в соответствии с tвых = 5.63 ОС и [3, табл.2] принимаем λв = 0,0248 Вт/м\*ОС;

Рч – число Прандтля, в соответствии с tвых = 5.63 ОС и [3, табл.2] принимаем

Рч = 0,706;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, в соответствии с tвых=5.63 ОС и [3, табл.2] принимаем ν = 0,0000134 м2/с;

sp = 0,0035 м [3, табл.1] – шаг оребрения ТЭНа;

dтр = 0,015 м [3, табл.1] – наружный диаметр несущей трубы ТЭНа;

hр = 0,014 м [3, табл.1] – высота ребра ТЭНа.

V – скорость потока воздуха в электрокалорифере, м/с, которую определяем по формуле [3]:

(2.7)



где АЖ – площадь живого сечения электрокалорифера, м2, если пренебречь оребрением, то АЖ определяется по формуле [3]:

(2.8)



где l – высота окна калорифера, м, из [3, табл.3] l = 0,31 м;

La =0,48 м – длина активной части ТЭНа;

n1 – число ТЭНов в одном вертикальном ряду (одной секции), которое определяется по формуле [3]:

(2.9)



где n2 – число вертикальных рядов ТЭНов в электрокалорифере, в соответствии с [3] принимаем n2 = 3.



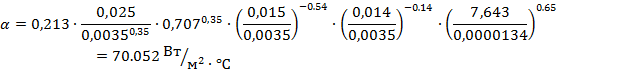
Подставив в формулу (2.8) значение n1, площадь живого сечения электрокалорифера будет равна:



Подставив в формулу (2.7) значение АЖ, скорость потока воздуха в электрокалорифере будет равна:



Подставив в формулу (2.6) значение V, коэффициент теплоотдачи будет равен:



Подставив в формулу (2.5) значение α, термическое сопротивление теплоотдачи будет равно:



Подставив в формулу (2.4) значение RT, фактическая температура поверхности ТЭНа будет равна:



Как видно условие (2.3) выполняется т.к. tпов ≤ 180 ОС, следовательно принимаем к установке электрокалориферную установку типа ЭКОЦ – 40.

# Разработка нестандартной электрокалориферной установки

В этом разделе разработаем электрокалориферную установку. Которая обеспечивала бы конкретные значения расчетной мощности Р=41074,5 Вт и объёмной подачи воздуха Qvt = 3640 м3/ч, определенные ранее в разделе 1.

Основными технологическими частями электрокалориферной установки является вентилятор с электродвигателем и электрокалорифер.

## Выбор вентилятора

Вентилятор подбирают по требуемым значениям давления p=370 Па из исходных данных и объёмной подачи воздуха Qvt. Вентилятор выбираем центробежного типа из серии Ц4-70 по методике изложенной в [4].

Подачу вентиляторов Qв (м3/ч) принимаем по значению расчетного воздухообмена Qvt с учетом подсосов воздуха в воздуховодах [4, с.35]:

(3.1)



где kп – поправочный коэффициент на подсосы воздуха в воздуховодах, принимаем

kп = 1,1 [4, с.35];

t – температура воздуха, проходящего через вентилятор, т. е. t = tн = -32 ОС;

tв = 20 ОС – температура воздуха в рабочей зоне помещения.



Выбор вентилятора производим по номограмме для подбора центробежных вентиляторов серии Ц4-70 [4, с.39]. в результате выбираем вентилятор Ц4-70 №5, частота вращения которого n = 1300 об/мин, КПД η=0,8.

Для привода вентилятора используем асинхронный электродвигатель серии 4А. Необходимая мощность на валу электродвигателя определяется по формуле [3]:

(3.2)



где Qvt – расчетный воздухообмен, м3/с, Qvt = 3640 / 3600 = 1,011 м3/с;

р – необходимое давление вентилятора, из исходных данных р = 370 Па;

ηв =0,8 – КПД вентилятора;

ηпер – КПД передачи, принимаем ηпер = 0,95 для клиноременной передачи [3];

kз – коэффициент запаса, принимаем kз = 1,5 [3].



Из [6] выбираем электродвигатель 4А80А4У3 с мощностью на валу 1,1 кВт, частотой вращения 1500 об/мин, с cosφ = 0.81. Расхождение в частоте вращения учитывают соответствующими диаметрами шкивов клиноременной передачи между электродвигателем и вентилятором.

## Расчет конструктивных параметров нагревательного устройства

Мощность одного ТЭНа Рн определяется, исходя из мощности одного калорифера

Р = 41074 Вт, определенной ранее в разделе 1, и числа ТЭНов в одном калорифере [3]:

(3.3)



где z – число ТЭНов, принимаем z = 15 [1].



Рабочий ток нагревательного элемента с учетом схемы включения Iн, А: Iн =Pн/U, Iн=2738,3/220=12.4 А

(3.4)



где tд – действительная температура нагревателя, принимаем по литературе [3] tд=180+50=230 ОС;

Км – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение охлаждения, по литературе [7] принимаем Км = 1.5;

Кс – коэффициент среды, учитывающий улучшение охлаждения, по литературе [7] принимаем Кс = 0.8 .



По рабочему току и расчетному значению температуры по литературе [7] определяем диаметр (d) и сечение (S) нагревателя:

d = 1,8 мм;

S =2,54 мм2.

Рабочее сопротивление нагревателя – запрессованной нихромовой проволоки Rн, Ом [3]:

(3.5)



где Uн = 220 В – номинальное напряжение нагревателя.



Сопротивление нагревателя до опрессовки Rон, Ом [3]:

(3.6)



где α1 – коэффициент изменения сопротивления в результате опрессовки, по литературе [3] принимаем α1 = 1,3.



Длина проволоки до опрессовки l, м [3]:

(3.7)



где ρд – удельное сопротивление нихромовой проволоки при действительной температуре tд = 230 ОС, которое определяем по формуле [3]:

(3.8)



где ρ20 – удельное сопротивление материала при температуре 20 ОС, для нихрома по литературе [7] ρ20 = 1,17 Ом\*м;

α – температурный коэффициент изменения сопротивления, для нихрома по литературе [7] α = 35\*10-6 .



Подставив в формулу (3.7) значение ρд, длина проволоки до опрессовки будет равна:



Диаметр спирали (dc, мм) равен [3]:

(3.9)



Шаг спирали (h, мм) равен [3]:

(3.10)



Число витков (n) равно [3]:

(3.11)



Внутренний диаметр трубки ТЭНа (dв, мм) равен [3]:

(3.12)



Длина активной части трубки ТЭНа (La, м) после опрессовки равняется длине спирали (Lсп, м) равна [3]:

(3.13)



а до опрессовки (Loa, м) равна [3]:

(3.14)



где γ1 – коэффициент, учитывающий изменение длины трубки при опрессовке, из литературы [3] γ1 = 1,15.



Полная длина ТЭНа L, м равна [3]:

(3.15)



где Ln – длина пассивной части трубки ТЭНа, по литературе [3] принимаем Ln=0,05 м.



Потребное количество проволоки для одного ТЭНа с учётом необходимой навивки на концы контактных стержней из расчета 15 – 20 витков на стержень [3]:

(3.16)



Удельная мощность W, Вт/см2 поверхности активной части трубки ТЭНа определим по формуле [3]:

(3.17)



Удельная мощность по литературе [3] для трубки, выполненной из стали Ст.10, при использовании в качестве наполнителя кварцевого песка или периклаза должна составлять 3 – 5 Вт/см2 при работе ТЭНов в калориферах. Как видно это условие соблюдается, следовательно делаем вывод о том, что расчёты выполнены верно и ТЭН с данной конфигурацией применим в калориферах.

# Расчет силовой сети, выбор аппаратуры управления и защиты

Расчет силовой сети электрокалориферной установки и линии её подключения, а также выбор аппаратуры управления и защиты производится по расчётным токам.

Для линии электрокалорифера величина расчётного тока (Iк, А) определяется по формуле [3]:

(4.1)



где – мощность калорифера, кВт;



UH = 380 В – номинальное напряжение на зажимах калорифера.



Для линии электродвигателя величина расчетного тока (Iд, А) определяется по формуле [3]:

(4.2)



где – мощность электродвигателя, кВт;



UH = 380 В – номинальное напряжение на зажимах электродвигателя;

сosφ – коэффициент мощности электродвигателя, из пункта 3.1. сosφ = 0.81;

Кзд – коэффициент загрузки электродвигателя.

Коэффициент загрузки электродвигателя учитывает несоответствие между значением расчетной мощности и установленной (номинальной) мощностью электродвигателя, характер нагрузки рабочей машины, учитываемый коэффициентом загрузки рабочей машины Кзм. Для вентиляторов по литературе [3] принимаем Кзм = 1.

С учётом этого коэффициент загрузки электродвигателя определяем по формуле [3]:

(4.3)



где Ррасч – необходимая мощность на валу электродвигателя для привода вентилятора, из пункта 3.1. Ррасч = Рдв = 738,3 Вт;

Рном–номинальная мощность выбранного электродвигателя из пункта 3.1 Рном=1100Вт.



Подставив в формулу (4.2) значение Кзд, расчетный ток для линии электродвигателя будет равен:



Расчетный ток магистрали, питающей электрокалориферную установку, определяется суммой расчетных токов калорифера и двигателя [3]:



Сечение проводов и кабелей линий электрокалорифера и вентилятора, а также линии подключения определим по условиям нагревания [1, с.29]:

(4.4)



где Iдоп – длительно допустимый ток нагрева для данного способа прокладки, числа жил и сечения провода, А;

Iрасч – расчетный ток для участка сети, который принимаем равным в зависимости от участка сети Iк, Iд, Iм.

По литературе [1, табл. П.1.19] определяем сечение жил кабеля АВВГ для каждого участка. Выбор этого типа кабеля обусловлен тем, что помещение свинарника особо сырое с химически активной средой, а этот тип кабеля допускается к прокладке в таких помещениях. Кабель принимаем четырехжильный.

Сечение жилы кабеля:

* на магистральном участке: S = 2,5 мм2 , ;



* на участке калорифера: S = 2,5мм2 , ;



* на участке электродвигателя : S = 2,5 мм2 , ;



Как видно условие (4.4) соблюдается для всех участков сети.

Для защиты сети от перегрузок используем автоматический выключатель Е203/80r с номинальным током 80А.