

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ
И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра тракторов, автомобилей и машин
для природообустройства

А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко

ТЕПЛОТЕХНИКА

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ СФОЦ-25/0,5-И4

*Методические указания по выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое
обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ*

Горки
БГСХА
2021

УДК 697.94:621.1(072)

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства.
Протокол № 1 от 28 сентября 2020 г.*

Авторы:

доктор технических наук, профессор *А. Н. Карташевич*;
кандидат технических наук, доцент *О. В. Понталев*;
кандидат технических наук, доцент *А. В. Гордеенко*

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *С. И. Козлов*

Теплотехника. Испытание электрокалориферной установки СФОЦ-25/0,5-И4 : методические указания по выполнению лабораторной работы / А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко. – Горки : БГСХА, 2021. – 16 с.

Приведены общие сведения об электрокалориферных установках, описание лабораторной установки, методика выполнения работы и содержание отчета.

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Электрокалориферные установки серии СФОЦ предназначены для подогрева воздуха в системах воздушной вентиляции, в установках для создания микроклимата на животноводческих и птицеводческих фермах, для подогрева воздуха в зерноочистительно-сушильных пунктах и бункерах активной вентиляции, а также для отопления бытовых помещений на фермах, где отсутствует центральная котельная.

Отсутствие продуктов сгорания, простота монтажа и малые капитальные затраты, значительно меньший расход металла на единицу мощности, постоянная готовность к работе, автоматическое управление тепловым режимом, высокий КПД (вся электроэнергия превращается в тепловую) выгодно отличают электрокалориферные установки от огневых тепловых, работающих на твердом, жидком и газообразном топливах.

Электрокалориферные установки сельскохозяйственного назначения на центробежных вентиляторах представляют собой унифицированную серию СФОЦ, состоящую из семи типоразмеров мощностью 5, 10, 16, 25, 40, 60 и 100 кВт.

Установки допускают нормальную работу при температурах окружающего воздуха от -40 до $+40$ °С, относительной влажности воздуха до 100 %, содержании аммиака до $0,09$ г/м³ и сероводорода до $0,08$ г/м³.

По величине напоров установки делятся на две категории:

- а) длина воздухопроводов не превышает 20 м (СФОЦ-5, -10, -16 и -25/0,5, давление вентилятора – $490 \cdot 10^4$ Па);
- б) длина воздухопроводов – не более 40 м (СФОЦ-40, -60 и -100/0,5, давление вентилятора – около $980 \cdot 10^4$ Па).

Цель работы – экспериментальным путем определить:

- 1) производительность калорифера по воздуху;
- 2) тепловую мощность агрегата;
- 3) коэффициент теплоотдачи электрокалорифера;
- 4) удельные потери давления на трение R (Па/м) при различных скоростях движения потока воздуха.

Сравнить полученные данные с табличными.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Объектом испытания является электрокалориферная установка СФОЦ-25/0,5-И4. Техническая характеристика данной установки приведена ниже.

Номинальная мощность, кВт.....	23,6
В том числе электрокалорифера	22,5
Напряжение, В.....	380
Число фаз	3
Число нагревательных секций	3
Мощность нагревательной секции, кВт.....	7,5
Температура выходящего воздуха (при $t_{вх} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), $^{\circ}\text{C}$	50
Тип вентилятора	Ц 4-70 N 4

Электрокалориферная установка (рис. 1) состоит из электрокалорифера 1, центробежного вентилятора 2 с электродвигателем 3, воздуховода 4, хромель-копелевых термопар 5 в комплекте с прибором МКД-50М 6, а также станции управления 7 и датчика температуры 8.

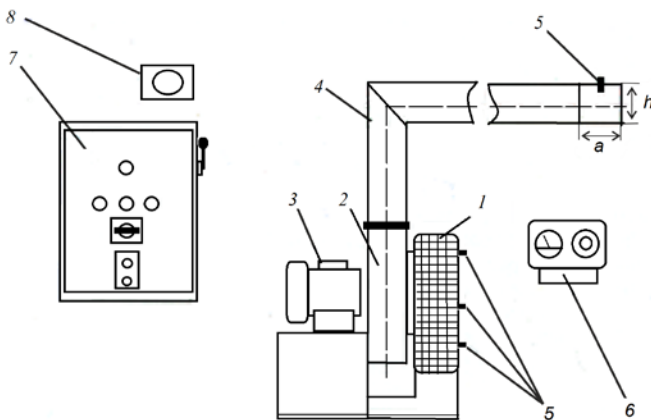


Рис. 1. Электрокалориферная установка типа СФОЦ:
1 – электрокалорифер; 2 – центробежный вентилятор;
3 – электродвигатель; 4 – воздуховод; 5 – термопары;
6 – прибор МКД-50М; 7 – станция управления;
8 – выносной датчик температуры

Электрокалорифер состоит из кожуха и девяти трубчатых электронагревателей с оребрением (ТЭНР), объединенных в три секции. Трубчатые электронагреватели с оребрением применяются в основном для нагрева воздуха и используются в промышленных и бытовых электрокалориферах, конвекторах, тепловых пушках и в других установках.

Трубчатый электронагреватель (рис. 2) состоит из тонкостенной стальной трубки 1 с оребрением 2, которое позволяет увеличить площадь поверхности и снизить ваттную нагрузку электронагревателя в 2–2,5 раза. Внутри трубки по оси расположена спираль 3 из проволоки высокого омического сопротивления (нихром или фехраль).

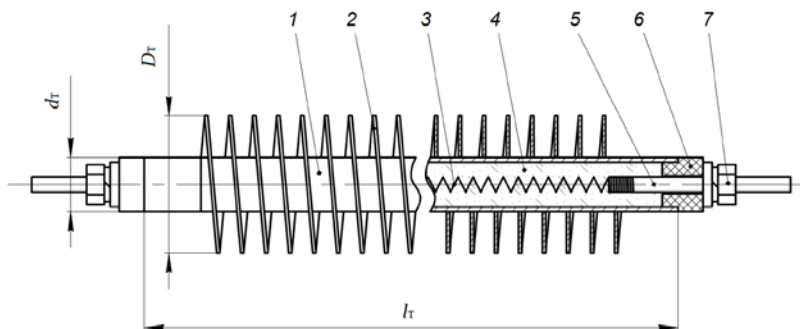


Рис. 2. Трубчатый электронагреватель оребренный: 1 – стальная трубка; 2 – оребрение; 3 – спираль; 4 – наполнитель (периклаз); 5 – контактный стержень; 6 – изоляционная втулка; 7 – контактное устройство

Внутреннее пространство трубки заполнено спрессованной керамической массой 4 – электротехническим периклазом (кристаллический оксид магния, жженая магнезия), который является хорошим электрическим изолятором и проводником тепла от спирали к стенкам трубки. Концы спирали прикреплены к контактным стержням 5, которые изолированы от стальной трубки изоляционными втулками 6 и снабжены контактным устройством 7. Торцы трубки заливают влагонепроницаемым термостойким лаком (герметиком).

Автоматическое управление работой установки осуществляется по температуре в помещении. В начале работы электрокалорифер включается на полную мощность, работают все три секции нагревателей. По мере повышения температуры в помещении он автоматически (по сигналу регулятора температуры) переключается на меньшую мощ-

ность ($2/3$ от полной) за счет отключения одной из секций нагревателей. При дальнейшем повышении температуры по второму сигналу регулятора происходит переключение на мощность, составляющую $1/3$ от полной, отключением второй секции нагревателей. Третья электрическая секция отключается, если температура в помещении продолжает повышаться от заданной регулятором. При понижении температуры ниже заданной автоматическое переключение ступеней мощности происходит в обратной последовательности.

Предусмотрено и ручное управление числом включенных секций при помощи переключателя. Включение нагревателей возможно лишь при работающем вентиляторе.

Температура воздуха на выходе из воздуховода t_b и температура нагревателя t_n измеряется хромель-копелевыми термопарами в комплекте с прибором МКД-50М.

Термопара (термоэлектрический преобразователь температуры) используется в качестве датчика для измерения температуры и представляет собой два различных проводника (термоэлектрода), один конец которых спаян и помещен в место измерения температуры (горячий спай), а свободные концы помещены в термостат (холодный спай). Термоэлектроды термопар, применяемых в данной лабораторной работе, изготовлены из хромеля и копеля.

Хромель – никелевый термоэлектродный сплав, состоящий из 8,7–10 % хрома (Cr), 89–91 % никеля (Ni) и примесей кремния (Si), меди (Cu), марганца (Mn) и кобальта (Co).

Копель – термоэлектродный медно-никелевый сплав, состоящий из 43–44 % никеля (Ni), 2–3 % железа (Fe), остальное – медь (Cu).

Термопара (рис. 3) состоит из головки 1 и прикрепленной к ней защитной стальной трубки 2, внутри которой в керамическом изоляторе 3 расположены термоэлектроды, концы которых и образуют рабочий спай термопары 4. Клеммная колодка 5 служит для соединения термоэлектродов и соединительных проводов, которые выводятся наружу через вывод 6.

Принцип действия термопары основан на эффекте Зеебека (термоэлектрическом эффекте), открытом им в 1821 г. Эффектом Зеебека называют возникновение электродвижущей силы (разности потенциалов) в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах. Появляющаяся разность потенциалов про-

порциональна разности температур, а коэффициент пропорциональности называется коэффициентом термоЭДС.

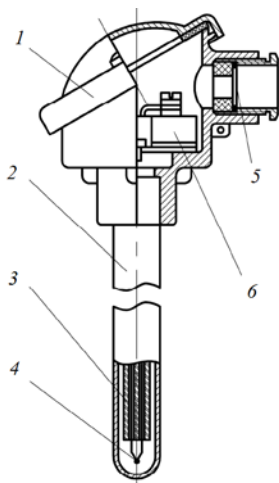


Рис. 3. Устройство термопары:
1 – головка термопары; 2 – защитная стальная трубка; 3 – керамический изолятор термоэлектродов; 4 – рабочий спай термопары; 5 – клеммная колодка; 6 – вывод соединительных проводов

Прибор МКД-50М, используемый для измерения температуры (рис. 4), представляет собой магнитоэлектрический милливольтметр, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия. Прибор позволяет подключать до 11 термопар, показания с которых снимаются поочередно при помощи переключателя.



Рис. 4. Прибор МКД-50М для измерения температуры

Скорость потока воздуха измеряется чашечным анемометром (рис. 5). Анемометр (от греч. *anemos* – ветер и *metron* – измерение) –

измерительный прибор, предназначенный для измерения скорости ветра, а также направленных воздушных и газовых потоков.

Ветроприемником анемометра служит четырехчашечная вертушка 1, насаженная на ось и вращающаяся в опорах. Ось связана с редуктором, передающим движение трем указывающим стрелкам. Циферблат 2 имеет шкалы со стрелками для единиц 3, сотен 4 и тысяч 5. Включение и выключение счетного механизма производится арретиром 7. Для включения механизма арретир поворачивают против часовой стрелки, для выключения – по часовой стрелке.



Рис. 5. Анемометр чашечный:
1 – четырехчашечная вертушка;
2 – циферблат; 3 – стрелка единиц;
4 – стрелка сотен; 5 – стрелка тысяч;
6 – ушки; 7 – арретир; 8 – винт
для крепления анемометра

Механизм анемометра закреплен в корпусе из пластмассы, нижняя часть которого заканчивается винтом 8, служащим для крепления анемометра на стойке или шесте. В корпусе анемометра по обе стороны арретира 7 ввернуты ушки 6, через которые пропускается шнур для включения и выключения прибора, поднятого на стойке (шесте). Шнур привязывается за ушко арретира 7.

Ветроприемник анемометра защищен крестовиной из проволочных дужек, служащей также для крепления верхней опоры его оси.

Перед измерением скорости потока воздуха записывают показания по трем шкалам. В измеряемом воздушном потоке анемометр устанавливают вертикально и через 10–15 с одновременно

включают механизм анемометра и секундомер.

Для получения средней скорости потока воздуха у решетки передней панели кондиционера анемометр необходимо медленно и равномерно перемещать по всей площади выпускного окна.

Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение одной или двух минут. По истечении этого времени механизм и секундомер выключают и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах. Разность между конечным и начальным отсчетом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на 1 с, по формуле

$$n = \frac{n_2 - n_1}{t}, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 – начальное и конечное показания анемометра;

t – время измерения, с.

Скорость воздушного потока определяется по градуировочному графику, прилагаемому к анемометру и приведенному в приложении. На вертикальной оси графика находят число делений шкалы, приходящихся на 1 с. От этой точки проводится горизонтальная линия вправо до пересечения с наклонной прямой графика, а из полученной точки пересечения проводится вертикальная линия вниз до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикали с горизонтальной осью графика дает искомую скорость воздушного потока в метрах в секунду (м/с).

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством электрокалориферной установки.

2. Замерить:

а) температуру окружающего воздуха t_0 , °С;

б) диаметр трубки нагревателя d_T , м;

в) диаметр оребрения нагревателя D_0 , м;

г) длину трубки нагревателя l_T , м;

д) количество ребер нагревателя m ;

е) поперечное сечение воздуховода (a – ширину, h – высоту).

Результаты записать в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Протокол наблюдений за показаниями измерительных приборов и результаты расчетов

Измеряемая или определяемая величина	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
Температура: окружающего воздуха	t_o	°С	
нагревателя	t_n	°С	
воздуха на выходе из воздуховода	t_b	°С	
Диаметр трубки нагревателя	d_T	м	
Длина трубки нагревателя	l_T	м	
Диаметр оребрения нагревателя	D_o	м	
Количество ребер нагревателя	m	шт.	
Количество выключенных нагревателей	k	шт.	
Ширина воздуховода	a	м	
Высота воздуховода	h	м	
Скорость потока воздуха на выходе из воздуховода	w	м/с	
Производительность агрегата по воздуху	V_b	м ³ /ч	
Тепловая мощность	Q_b	Вт	
Коэффициент теплоотдачи	α	Вт/(м ² · К)	
Потери давления на трение на 1 м длины воздуховода	R	Па/м	

3. Включить электрокалорифер рубильником на станции управления и переключателем установить требуемую мощность.

После установления режима приступить к измерениям:

- а) температуры нагревателя t_n , °С;
- б) температуры воздуха на выходе из воздуховода t_b , °С;
- в) скорости движения потока воздуха w , м/с.

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Производительность отопительно-вентиляционного агрегата по воздуху, м³/ч,

$$V_b = 3600Fw, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения воздуховода, м²;

w – средняя скорость движения потока воздуха, м/с.

2. Тепловая мощность агрегата, Вт,

$$Q_b = 0,278 V_b \rho c_p (t_b - t_o), \quad (3)$$

где V_b – производительность агрегата по воздуху, м³/ч;

ρ – плотность воздуха при температуре t_{cp} , $t_{cp} = 0,5(t_b + t_o)$, кг/м³;

c_p – массовая изобарная теплоемкость при t_{cp} , кДж/(кг · К) (табл. 2);

t_o и t_b – температура окружающего воздуха и на выходе из воздухо-вода.

Т а б л и ц а 2. Справочные данные. Плотность сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении (101325 Па) и различной температуре

$t_{cp}, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\rho, \text{кг/м}^3$	1,205	1,165	1,127	1,109	1,067	1,029	1,000	0,972	0,946
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	15,1	16,0	16,6	17,6	18,6	19,7	20,7	22,0	22,9
$c_p, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	1,005	1,005	1,005	1,007	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009

3. Суммарная теплоотдающая поверхность нагревателей, м², определяется по формуле

$$F_n = \left(\frac{\pi(D_o^2 - d_T^2)}{4} m + \pi d_T l_T \right) k, \quad (4)$$

где D_o – диаметр оребрения нагревателя, м;

d_T – диаметр трубки нагревателя, м;

m – количество ребер нагревателя;

l_T – длина трубки нагревателя, м;

k – количество включенных нагревателей.

4. Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К), определяется по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{Q_b}{F_n (t_n - t_o)}, \quad (5)$$

где Q_b – тепловая мощность агрегата, Вт;

F_n – суммарная теплоотдающая поверхность нагревателей, м²;

t_n – температура нагревателя, °С;

t_o – температура окружающего воздуха, °С.

5. Эквивалентный диаметр воздуховода, м,

$$d_3 = \frac{2ah}{a+h}, \quad (6)$$

где a – ширина воздуховода, м;

h – высота воздуховода, м.

6. Коэффициент относительной шероховатости стенок воздуховода определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{k}{d_3}, \quad (7)$$

где k – гидравлическая шероховатость (для воздуховодов, выполненных из оцинкованной стали, равна 0,00015 м);

d_3 – эквивалентный диаметр воздуховода, м.

7. Значение критерия Рейнольдса для потока любого сечения определяется по формуле

$$Re = \frac{wd_3}{\nu}, \quad (8)$$

где ν – кинематическая вязкость, м²/с (см. табл. 2).

При малых значениях критерия Рейнольдса ($Re < 67,5\varepsilon$) воздуховод считается гидравлически гладким, потому что пограничный ламинарный слой потока воздуха покрывает все выступы шероховатости стенок. В этих условиях коэффициент трения можно определить по формуле Блазиуса:

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25}. \quad (9)$$

Для гидравлически шероховатых воздуховодов ($Re > 67,5\varepsilon$) коэффициент трения определяется по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,1\varepsilon^{0,25}. \quad (10)$$

8. Потери давления на трение на 1 м длины воздуховода, Па/м, определяются по следующей формуле:

$$R = \frac{\lambda}{d_3} \frac{w^2}{2} \rho, \quad (11)$$

где λ – коэффициент трения;

$d_э$ – эквивалентный диаметр воздуховода, м;

ρ – плотность воздуха при температуре $t_{ср}$, кг/м³ (см. табл. 2).

Полученные значения записать в табл. 1.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет включает в себя:

- 1) цель работы;
- 2) принципиальную схему лабораторной установки и ее краткое описание;
- 3) протокол наблюдений за показаниями измерительных приборов;
- 4) результаты расчетов.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

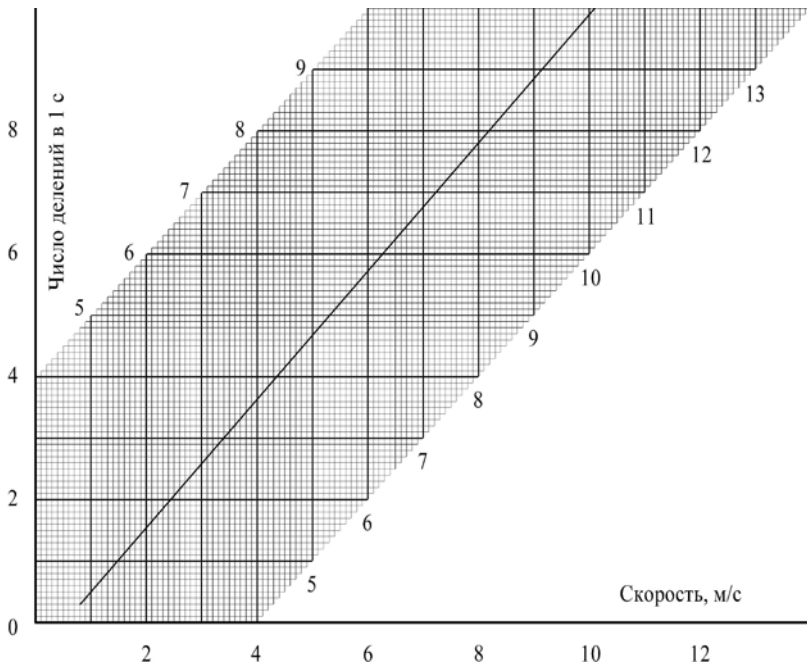
1. Как осуществляется переключение мощности электрокалориферной установки?
2. Что влияет на тепловую мощность агрегата?
3. Какие параметры влияют на коэффициент трения?
4. Как определяется эквивалентный диаметр воздуховода прямоугольного сечения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захаров, А. А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве / А. А. Захаров. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 175 с.
2. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : учебник для вузов / В. М. Гусев [и др.]; под ред. В. М. Гусева. – Ленинград : Стройиздат; Ленингр. отд-ние, 1981. – 343 с.
3. Коляда, В. В. Кондиционеры. Принцип работы, монтаж, установка, эксплуатация. Рекомендации по ремонту / В. В. Коляда. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2002. – 240 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

График перевода показаний счетчика анемометра
в показания скорости движения потока воздуха



СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Лабораторная установка.....	4
2. Методика выполнения работы.....	9
3. Обработка результатов измерений.....	10
4. Содержание отчета.....	13
5. Вопросы для самопроверки.....	13
Библиографический список.....	14
Приложение.....	15