

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

С. Г. Рубец, Р. С. Даргель

ТЕПЛОТЕХНИКА

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ ЭКОЦ-5

*Методические указания по выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по специальностям
общего высшего образования
6-05-0812-01 Техническое обеспечение производства
сельскохозяйственной продукции, 6-05-0812-03 Технический
сервис в агропромышленном комплексе*

Горки
БГСХА
2023

УДК 697.94:621.1(072)

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства.
Протокол № 6 от 20 февраля 2023 г.*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *С. Г. Рубец*;
ассистент *Р. С. Даргель*

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *О. В. Гордеенко*

Теплотехника. Испытание воздухонагревательной электрокалориферной установки ЭКОЦ-5 : методические указания по выполнению лабораторной работы / С. Г. Рубец, Р. С. Даргель. – Горки : БГСХА, 2023. – 15 с.

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

Для студентов, обучающихся по специальностям общего высшего образования 6-05-0812-01 Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции, 6-05-0812-03 Технический сервис в агропромышленном комплексе.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2023

ВВЕДЕНИЕ

Электрокалориферные установки на центробежных вентиляторах серии ЭКОЦ 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, мастерских, цехах, складах и в других производственных сооружениях, 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 ЭКОЦ, состоящую из десяти типоразмеров мощностями 5, 10, 16, 25, 40, 60, 100, 160, 250 и 320 кВт, которые работают на ступенях 100; 66,7; 33,3 % и на 50 % установленной мощности.

Установки допускают нормальную работу при температурах окружающего воздуха от -10 до $+40$ °С, относительной влажности воздуха до 100 %, содержании аммиака до $0,09$ г/м³ и сероводорода до $0,08$ г/м³.

Рабочая воздушная среда не должна содержать взрывоопасной или значительное количество токопроводящей пыли. Среднегодовая запыленность воздуха не должна превышать 1 мг/м³. При этом допускается кратковременное повышение концентрации пыли до 10 мг/м³.

Цель работы – определение экспериментальным путем:

- 1) производительности электрокалориферной установки по воздуху;
- 2) тепловой мощности агрегата;
- 3) коэффициента теплоотдачи электрокалорифера;
- 4) удельных потерь давления на трение R (Па/м) при различных скоростях движения потока воздуха.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Объектом испытания является электрокалориферная установка ЭКОЦ-5. Техническая характеристика данной установки приведена ниже.

Номинальная мощность, кВт.....	4,92
В том числе электрокалорифера.....	4,8
Напряжение, В.....	380
Число фаз.....	3
Число нагревательных секций.....	1
Мощность нагревательной секции, кВт.....	7,5
Температура выходящего воздуха (при $t_{вх} = 0$ °С), °С.....	50
Температура на поверхности нагревателя, °С.....	190
Тип вентилятора.....	ВЦ 80-75 № 4

Электрокалориферная установка (рис. 1) состоит из электрокалорифера 1, центробежного вентилятора 2 с электродвигателем 5, переходного патрубка 3 для перехода с прямоугольного на круглый воздуховод, гибкой вставки 4 и рамы 6, а также станции управления 7.

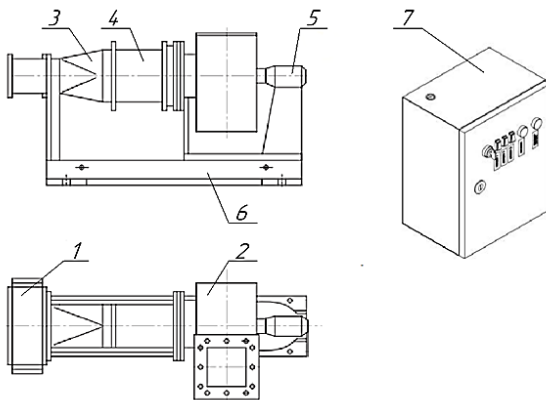


Рис. 1. Электрокалориферная установка типа ЭКОЦ;
1 – электрокалорифер; 2 – центробежный вентилятор;
3 – переходной патрубок; 4 – гибкая вставка; 5 – электродвигатель;
6 – рама; 7 – станция управления

Блоки управления выпускаются с выносным терморегулятором, включающим калорифер, если температура воздуха в помещении, где

он установлен, ниже заданной. При достижении заданной температуры воздуха терморегулятор осуществляет автоматическое отключение электрокалорифера.

Электрокалориферную установку и блок управления необходимо устанавливать в отдельном помещении с ограждающими конструкциями из негорючих материалов или в пристройке с непосредственным выходом на улицу, отделенной от основного здания глухой негорючей стенкой (допускается устройство вентиляционного канала) и перекрытием, предел огнестойкости которых должен быть не менее 0,75 ч.

Для аварийного отключения от сети в калорифере предусмотрено температурное реле типа ТК-20 (с автоматическим возвратом в исходное положение), которое размыкает свои контакты при повышении температуры в корпусе выше 140 °С.

Электрокалорифер состоит из кожуха и трех трубчатых электронагревателей с оребрением (ТЭНР), объединенных в одну секцию. 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). 4 – наполнитель (периклаз); 5 – контактный стержень; 6 – изоляционная втулка; 7 – контактное устройство.

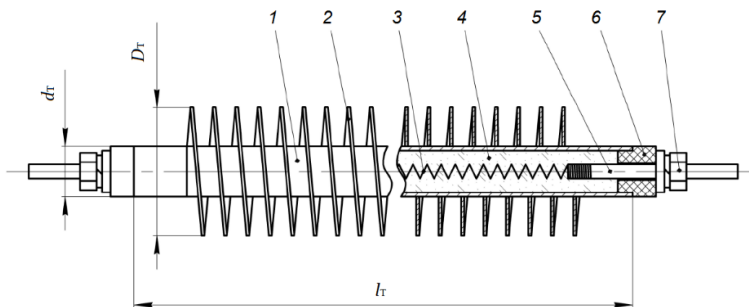


Рис. 2. Трубчатый электронагреватель оребренный: 1 – стальная трубка; 2 – оребрение; 3 – спираль; 4 – наполнитель (периклаз); 5 – контактный стержень; 6 – изоляционная втулка; 7 – контактное устройство

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.

Блок управления (далее БУ) представляет собой металлический бокс, на поддоне которого установлены сетевые автоматические выключатели, магнитные пускатели, электронный блок БУИ, органы управления калориферной установкой, световые индикаторы, блоки зажимов для подключения сетевого кабеля, клеммная колодка. Датчик температуры (ДТ) вынесен из корпуса на 5 м (провод ДТ может быть удлинен до 100 м).

Блок управления обеспечивает защиту электрокалорифера и вентилятора от токов короткого замыкания и перегрузки в фазах, защиту от аварийного перегрева электрокалорифера. Блок управления имеет аварийную световую индикацию.

При подаче напряжения и включения автомата «сеть-вкл.» на блоке загорается индикатор «сеть». Потенциометром « t °С», расположенным на лицевой панели, задается температура воздуха в диапазоне от 10 °С до 40 °С, с температурным гистерезисом ± 1 °С (по заказу может быть установлен диапазон температур от 0 °С до 120 °С и иной температурный гистерезис).

Кнопками выбирается рабочая мощность, т. е. количество подключаемых электронагревателей. В случае если температура поступающего воздуха ниже установленной, электрокалорифер включается. При достижении заданной температуры БУ снимает управляющее напряжение с магнитных пускателей, при этом нагрев калорифера прекращается и одновременно с калорифером выключается вентилятор.

Скорость потока воздуха измеряется чашечным анемометром (рис. 3). 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.

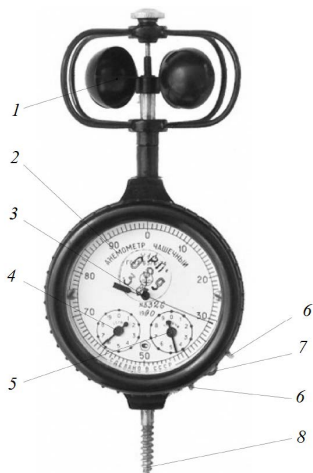


Рис. 3. Анемометр чашечный:
 1 – четырехчашечная вертушка;
 2 – циферблат; 3 – стрелка единиц;
 4 – стрелка сотен; 5 – стрелка тысяч;
 6 – ушки; 7 – арретир; 8 – винт
 для крепления анемометра

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 определяют 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 проводят горизонтальную линию вправо до пересечения с наклонной прямой графика, а из полученной точки пересечения проводят вертикальную линию 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.

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 v , м/с.

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 включенных нагревателей	k	шт.	
Ширина воздуховода	a	м	
Высота воздуховода	h	м	
Скорость потока воздуха на выходе из воздуховода	v	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. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

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

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

где A – площадь поперечного сечения воздуховода, м²;

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

2. Тепловая мощность агрегата, Вт, определяется следующим образом:

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

где ρ – плотность воздуха при температуре t_{cp} , $t_{cp} = 0,5(t_b + t_o)$, кг/м³ (табл. 2);

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

$t_{cp}, ^\circ C$	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, м^2 , опре-
деляется по формуле

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

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, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, определяется по следую-
щей формуле:

$$\alpha = \frac{Q_n}{A_n (t_n - t_o)}, \quad (5)$$

где t_n – температура нагревателя, $^\circ\text{C}$.

5. Эквивалентный диаметр воздуховода, м, рассчитывается по фор-
муле

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

где a – ширина воздуховода,

h – высота воздуховода, м.

6. Коэффициент относительной шероховатости стенок воздуховода определяется по формуле

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

где μ – гидравлическая шероховатость (для воздухопроводов, выполненных из оцинкованной стали, равна 0,00015 м).

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

$$\text{Re} = \frac{v d_3}{\nu}, \quad (8)$$

где ν – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$ (см. табл. 2).

При малых значениях критерия Рейнольдса ($\text{Re} < 67,5\varepsilon$) 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:

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

Для гидравлически шероховатых воздухопроводов ($\text{Re} > 67,5\varepsilon$) 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:

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

Полученные значения требуется 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

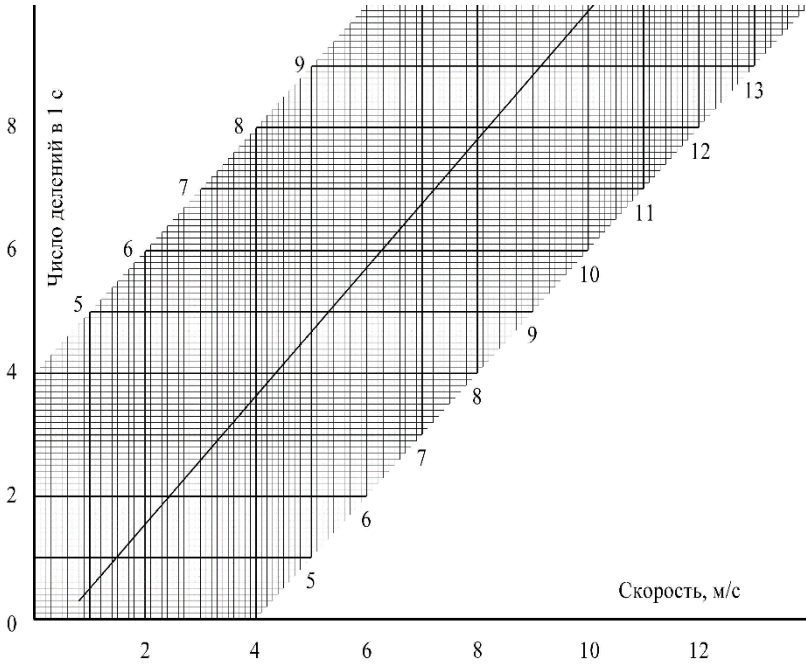
1. Назовите назначение и область применения электрокалориферных установок на центробежных вентиляторах.
2. Что влияет на тепловую мощность агрегата?
3. Какие параметры влияют на коэффициент теплоотдачи?
4. Опишите устройство трубчатого электронагревателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руднева, Л. В. Теплотехника: учеб. пособие / Л. В. Руднева. – Санкт-Петербург: Лань П, 2016. – 208 с.
2. Теплотехника: учеб. / М. Г. Шатров [и др.]; под ред. М. Г. Шатрова. – Москва: ИЦ «Академия», 2013. – 288 с.
3. Теплотехника: учеб. / В. Н. Луканин [и др.]. – Москва: Высш. шк., 2009. – 671 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

График перевода показаний счетчика анемометра
в показания скорости движения потока воздуха



СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Лабораторная установка.....	4
2. Методика выполнения работы.....	8
3. Обработка результатов измерений.....	9
4. Содержание отчета.....	11
5. Вопросы для самопроверки.....	12
Библиографический список.....	13
Приложение.....	14

Учебное издание

Рубец Сергей Григорьевич
Даргель Руслан Сергеевич

ТЕПЛОТЕХНИКА

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ
УСТАНОВКИ ЭКОЦ-5

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Редактор *О. Н. Минакова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор *Н. П. Лаходанова*

Подписано в печать 11.09.2023. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,62.
Тираж 60 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.