

Р.А. АМЕРХАНОВ, А.С. БЕССАРАБ,  
Б.Х. ДРАГАНОВ, С.П. РУДОБАШТА, Г.Г. ШИШКО

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
УСТАНОВКИ И СИСТЕМЫ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

МОСКВА «КОПОС - ПРЕСС» 2002



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



Р. А. АМЕРХАНОВ, А. С. БЕССАРАБ,  
Б. Х. ДРАГАНОВ, С. П. РУДОБАШТА, Г. Г. ШИШКО

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Под редакцией доктора технических наук  
Б. Х. ДРАГАНОВА

Допущено Министерством сельского хозяйства Российской  
Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений  
по агроинженерным специальностям

МОСКВА «КОЛОС-ПРЕСС» 2002

**УДК 631.371:621.07**  
**ББК 31.38**  
**А 61**

Редакторы: *Н. М. Щербакова, Г. А. Гусеева*

Рецензенты: д-р техн. наук *Л. С. Герасимович* (Белорусский аграрный технический университет), д-р техн. наук *Е. Е. Новгородский* (Ростовский государственный строительный университет) и канд. техн. наук *А. А. Гончаров* (Азово-Черноморская агроинженерная академия), кафедра энергетики Кубанского государственного аграрного университета.

Ни одна часть этого издания не может быть воспроизведена любым копировальным способом без письменного согласия авторов.

**Амерханов Р.А., Бессараб А.С., Драганов Б.Х., Рудобашта С.П.,**  
**А 61 Шишко Г.Г.** Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства/Под ред. Б. Х. Драганова. — М.: Колос-Пресс, 2002.— 424 с.: ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений)  
ISBN 5901705 - 17 – 3

Приведены основные сведения об источниках и теплоэнергетических установках, используемых в сельском хозяйстве. Приводятся сведения о топливе, процессе горения и оборудовании систем теплоснабжения (котлы, компрессоры, вентиляторы, резервные дизельные электростанции и др.). Рассмотрены вопросы, относящиеся к тепловым сетям, использованию нетрадиционных и возобновляемых, а также вторичных энергетических ресурсов, газоснабжению, охране окружающей среды от возможных выбросов систем теплоснабжения.

Для студентов высших учебных заведений по агроинженерным специальностям.

**УДК 631.371:621.07**  
**ББК 31.38**

ISBN 5901705 - 17 – 3

© Р. А. Амерханов, А. С. Бессараб,  
Б. Х. Драганов, С. П. Рудобашта,  
Г. Г. Шишко, 2002

## ПРЕДИСЛОВИЕ



Тепловая энергия — основной вид энергии, потребляемый в мире. Она обеспечивает работу и развитие промышленности и транспорта, создает условия для жизни и деятельности людей.

Значительна роль тепловой энергии и в сельском хозяйстве. Ее доля в общем энергетическом балансе сельского энергопотребления — 80 %.

Теплоснабжение является одним из существенных элементов систем инженерного оборудования сельских населенных пунктов и производственных объектов. Развитие теплоснабжения, в том числе за счет нетрадиционных источников энергии, содействует улучшению социально-бытовых условий в сельской местности, повышению продуктивности различных отраслей сельскохозяйственного производства.

Для систем теплоснабжения сельского хозяйства характерны большая разобщенность и разнообразие потребителей теплоты, неравномерные тепловые нагрузки. Эффективное использование теплоты в сельском хозяйстве возможно при учете указанных особенностей теплоснабжения, а также современных достижений в области технологии сельскохозяйственного производства.

Одна из существенных проблем современности — экономия энергетических ресурсов. Наиболее перспективные пути экономии теплоты и топлива основаны на использовании возобновляемых и вторичных источников энергии. Весьма важно, что нетрадиционные источники энергии фактически не загрязняют окружающую среду.

Главы 1, 2, 7, 8, 11, 13 написаны профессором Р. А. Амерхановым, главы 3, 4, 5 — профессором С. П. Рудобаштой, глава 6 — доцентом А.С. Бессарабом совместно с доктором технических наук Б. Х. Драгановым, глава 9 — доцентом А. С. Бессарабом, глава 10 — доктором технических наук Б. Х. Драгановым, глава 12 — профессором Г. Г. Шишко (разделы 12.9, 12.10, 12.11 и 12.12 — совместно с профессором Р. А. Амерхановым).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i> .....	3
<b>Г л а в а 1. ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ. ТОПЛИВО</b> .....	5
1.1. Основные сведения .....	5
1.2. Источники тепловой энергии .....	6
1.3. Энергетические ресурсы .....	6
1.4. Топливо .....	9
1.4.1. Общие сведения .....	9
1.4.2. Состав и характеристика топлива .....	11
1.4.3. Твердое топливо .....	16
1.4.4. Жидкое топливо .....	18
1.4.5. Газообразное топливо .....	19
<b>Г л а в а 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА</b> .....	20
2.1. Общие сведения .....	20
2.2. Кинетические основы процесса горения .....	21
2.3. Физические представления о горении топлива .....	22
2.4. Горение твердого топлива .....	24
2.5. Горение жидкого топлива .....	25
2.6. Способы сжигания жидкого топлива .....	26
2.7. Горение газообразного топлива .....	27
2.8. Расчеты процессов горения топлива .....	30
2.8.1. Расход воздуха, необходимого для горения .....	30
2.8.2. Состав и объем продуктов сгорания .....	31
2.8.3. Энтальпия продуктов сгорания .....	32
<b>Г л а в а 3. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ТЕПЛОВОЙ И ЭКСЭРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНСЫ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА</b> .....	34
3.1. Котельные установки .....	34
3.2. Принципиальная схема котельной установки .....	35
3.3. Тепловой и эксэргетический балансы котла .....	38
3.4. Топочное оборудование. Общие сведения .....	41
3.5. Характеристики топочного оборудования .....	48
3.6. Паровые и водогрейные котлы .....	49
3.6.1. Паровые котлы .....	49
3.6.2. Водогрейные котлы .....	55
<b>Г л а в а 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ</b> .....	64
4.1. Вспомогательные поверхности нагрева котельных агрегатов .....	64
4.1.1. Экономайзеры .....	64
4.1.2. Воздухоподогреватели .....	64
4.1.3. Пароперегреватели .....	67
4.2. Водное хозяйство и водный режим котлов. Внутрикотловые процессы в котельных агрегатах .....	69
4.2.1. Характеристика котловой воды .....	69
4.2.2. Подготовка воды к питанию котла .....	72
4.2.3. Внутрикотловая гидродинамика .....	77
4.3. Тягодутьевое оборудование .....	79
4.4. Устройства питания .....	84
4.5. Шлакозолоудаление .....	87

11.2.1. Схемы систем солнечного теплоснабжения.....	220
11.2.2. Системы солнечного охлаждения .....	222
11.2.3. Фотоэлектрические преобразователи .....	224
11.2.3. Использование солнечной энергии в сельскохозяйственном производстве .....	227
11.2.4. Автоматизация систем солнечного тепло- и хладоснабжения .....	231
11.3. Использование энергии ветра .....	233
11.3.1. Общие сведения. Классификация .....	233
11.3.2. Основные типы ветроэнергетических установок.....	236
11.3.3. Основы теории ветроэнергетических установок .....	237
11.3.4. Схемы подключения ветроустановок к потребителям .....	242
11.4. Геотермальная энергия .....	243
11.4.1. Геотермальные ресурсы и их типы.....	243
11.4.2. Характеристики геотермальных источников .....	244
11.5. Биоэнергетические установки .....	248
11.5.1. Общие сведения.....	248
11.5.2. Методы получения биогаза.....	249
11.5.3. Принципиальные схемы биогазовых установок .....	252
11.6. Теплонасосные установки в сельском хозяйстве .....	256
11.6.1. Общие сведения.....	256
11.6.2. КПД и методика расчета установки с тепловым насосом .....	259
11.7. Аккумуляторы теплоты в системах теплоснабжения сельского хозяйства .....	260
11.7.1. Общие сведения.....	260
11.7.2. Тепловые аккумуляторы с твердым ТММ .....	262
11.7.3. Жидкостные аккумуляторы теплоты .....	264
11.7.4. Тепловые аккумуляторы, использующие теплоту фазового перехода .....	265
11.8. Использование вторичных энергетических ресурсов .....	270
11.8.1. Общие сведения.....	270
11.8.2. Использование теплоты вторичного пара, горячей воды, газов .....	272
11.8.3. Использование теплоты газокompрессорной станции .....	274
11.8.4. Использование теплоты вентиляционного воздуха, удаляемого из животноводческих помещений .....	275
<b>Глава 12. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....</b>	<b>277</b>
12.1. Физические свойства газового топлива.....	277
12.1.1. Разновидности газового топлива .....	277
12.1.2. Теплофизические свойства газов .....	279
12.1.3. Основные физико-химические свойства газов.....	285
12.2. Системы газоснабжения.....	287
12.2.1. Общие сведения.....	287
12.2.2. Источники газоснабжения .....	288
12.2.3. Классификация систем газоснабжения.....	290
12.3. Потребители, нормы расхода и режимы потребления газа .....	292
12.3.1. Нормы расхода газа и режимы его потребления.....	292
12.3.2. Техничко-экономическое обоснование выбора систем газоснабжения .....	295
12.4. Материалы, оборудование и арматура .....	295
12.4.1. Трубы и соединительные детали .....	295
12.4.2. Трубопроводная арматура и оборудование газопроводов.....	296
12.4.3. Вспомогательные материалы .....	304
12.5. Системы снабжения природным газом .....	305
12.5.1. Общие сведения.....	305
12.5.2. Наружные газопроводы и сооружения на них .....	307
12.5.3. Защита газопроводов от коррозии .....	313
12.5.4. Гидравлический расчет газопроводов .....	319
12.5.5. Газификация индивидуальных жилых домов .....	320

12.6. Системы снабжения сжиженным углеводородным газом .....	322
12.6.1. Общие сведения.....	322
12.6.2. Газоснабжение от баллонных установок .....	322
12.6.3. Газоснабжение от резервуарных установок .....	325
12.6.3. Гидравлический расчет систем газоснабжения .....	327
12.6.4. Перспективные системы снабжения СУГ с повышенным содержанием бутана ...	328
12.6.5. Пример решения схемы газоснабжения сжиженным углеводородным газом .....	330
12.7. Внутридомовоегазовоеоборудование .....	331
12.8. Газоснабжение коммунально-бытовых и производственных предприятий .....	344
12.8.1. Общие сведения.....	344
12.8.2. Газоснабжение котельных установок.....	346
12.8.3. Газовые приборы коммунально-бытовых предприятий .....	351
12.8.4. Газоснабжение производственных предприятий .....	353
12.8.5. Применение газа для ремонтных работ в сельском хозяйстве .....	353
12.9. Применение газа в тепличном хозяйстве .....	355
12.9.1. Общие сведения.....	355
12.9.2. Источники теплоснабжения теплиц на газообразном топливе .....	356
12.9.3. Системы углекислотной подкормки растений в теплицах .....	363
12.10. Газовое отопление животноводческих и птицеводческих помещений.....	365
12.10.1. Общие сведения.....	365
12.10.2. Использование газа в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.....	366
12.10.3. Использование горелок инфракрасного излучения.....	367
12.11. Использование газа для переработки и хранения сельскохозяйственной продукции .....	374
12.11.1. Общие сведения.....	374
12.11.2. Применение газа для сушки продуктов сельского хозяйства и кормопроизводства .....	375
12.11.3. Регулируемые газовые среды и способы их получения.....	378
12.11.4. Установки регулирования газовых сред .....	381
12.11.5. Опыт применения установок РГС для хранения сельскохозяйственных продуктов.....	385
12.12. Использование газового топлива для огневой обработки почвы .....	387
12.12.1. Общие сведения.....	387
12.12.2. Термические агрегаты для огневой обработки полей .....	389
12.12.3. Термическая обработка животноводческих помещений и птичников .....	393
12.13. Применение газа в тракторах и автомобилях .....	394
12.13.1. Общие сведения.....	394
12.13.2. Автомобильные и тракторные газобаллонные установки и газовые дизели .....	395
12.13.3. Автомобильные газонаполнительные станции.....	401
12.13.4. Газовый обогрев автотранспортных двигателей в зимнее время.....	402
12.14. Повышение эффективности использования газового топлива .....	403
12.14.1. Общие сведения.....	403
12.14.2. Основные направления повышения эффективности газового топлива.....	403
Г л а в а 13. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	405
13.1. Основные определения.....	405
13.2. Загрязнение окружающей среды и борьба с ним.....	408
13.3. Защита воздушного бассейна от загрязнений .....	413
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>416</i>
<i>Литература.....</i>	<i>419</i>
<i>Оглавление.....</i>	<i>420</i>

Теплотехническая характеристика теплогенераторов отечественного производства дана в табл. 5.1. Буквенное обозначение ТГ в марке теплогенератора обозначает теплогенератор, дополнительная буква Г показывает, что теплогенератор работает на газе, цифры характеризуют тепловую мощность в сотнях мегакалорий в час (1 Мкал = 1,163 кВт).

### 5.1. Характеристика теплогенераторов серии ТГ и ГТГ

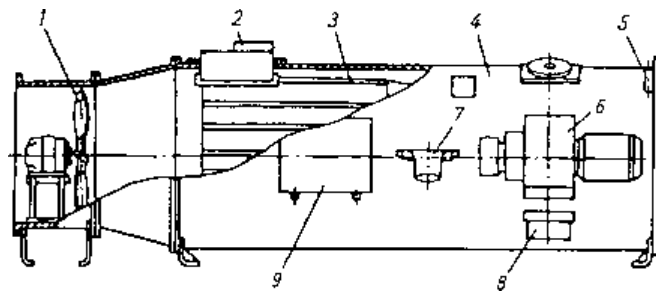
Марка теплогенератора	Тепловая мощность, кВт	Объемный расход нагреваемого воздуха, тыс.м <sup>3</sup> /ч	Температура нагретого воздуха, °С	КПД, %	Вид топлива
ТГ-1,0	116	6-8	48...58	87	Керосин
ТГ-1.5	175	10-14	35...50	89	Печное бытовое
ГТГ-1.5	175	10-14	35...50	90	Природный газ
ТГ-2.5А	290	14-18	50	89	Печное бытовое
ТГ-Ф-2.5Б	290	20	50	91	Печное бытовое
ГТГ-2.5А	290	17	45...55	91	Природный газ
ТГ-3,5А	408	25	53	90	Керосин, дизельное
ТГ-Ф-350	408	22,5	53	91	Печное бытовое

Теплогенератор ТГ-2,5А (рис. 5.1.) работает на жидком топливе. Топливо сгорает в горелке, в которую оно подается с помощью насоса (на рисунке не показан), туда же с помощью вентилятора 6 подается воздух на горение. Образующиеся дымовые газы проходят внутри корпуса теплогенератора и выходят через дымовую трубу 2. Нагреваемый воздух продувается по трубам 3 теплообменника теплогенератора с помощью осевого вентилятора 1. Теплогенератор непрерывного действия (газовоздушный нагреватель) ГВН-450 «Аэротерм» комплектаций К02 и К05, выпускаемый «Энергогазремонт» (г. Екатеринбург) показан на рис. 5.2. Данный теплогенератор имеет следующие теплотехнические характеристики:

#### Технические характеристики теплогенератора (газовоздушного нагревателя) ГВН-450 «Аэротерм»

Номинальная тепловая мощность, кВт	450
Расход газа при нормальных физических условиях, м <sup>3</sup> /ч, не более	58
Давление газа присоединительное, кПа	5
Температура нагреваемого воздуха, °С	50... 100
Объемный расход подогретого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	16000
КПД, %	90

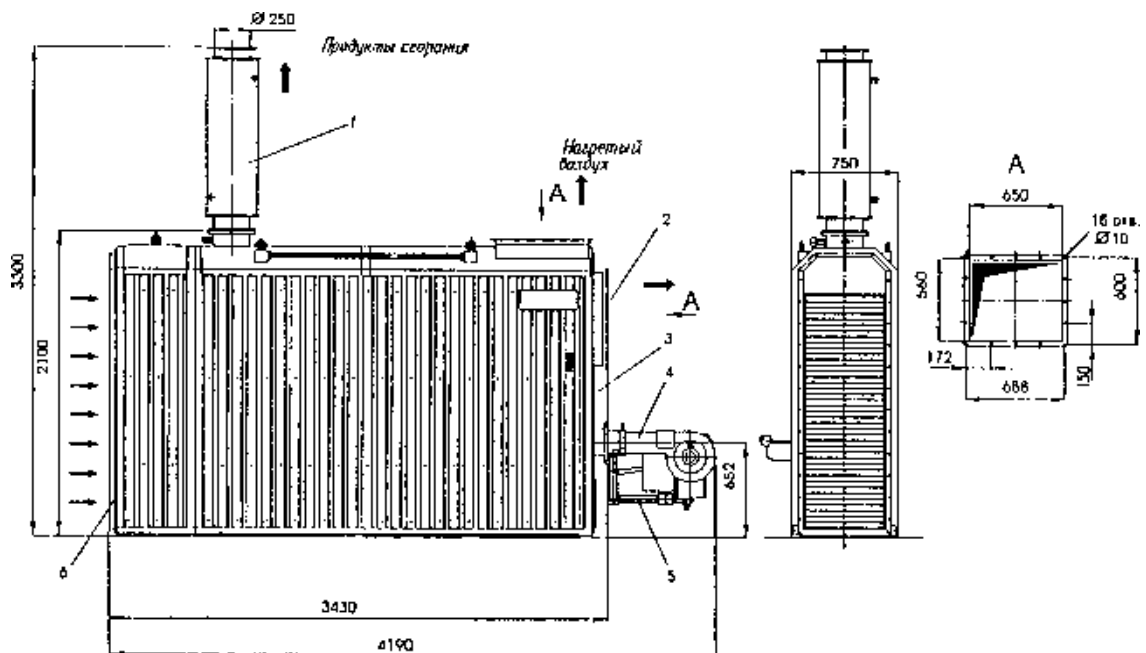
Как видно из рис. 5.2, теплогенератор типа ГВН, в отличие от теплогенераторов ТГ и ГТГ, имеет прямоугольную в поперечном сечении форму конструкции. Кроме того, в большинстве моделей этого теплогенератора (кроме модели комплекта-



**Рис. 5.1. Теплогенератор ТГ-2,5А:**

- 1 — осевой вентилятор; 2 — дымовая труба; 3 — теплообменник;  
 4 — корпус; 5 — датчик системы автоматики; 6 — горелка;  
 7 — топливный отстойник; 8 — трансформатор системы зажигания;  
 9 — пульт управления

ции К02) предусмотрен подогреватель воды, устанавливаемый на выходе продуктов сгорания (чего нет в теплогенераторах типов ТГ и ГТГ). «Энергогазремонт» выпускает также теплогенератор (воздушный нагреватель) ВНС-90 «Самум» смешительного типа, технические характеристики которого приведены ниже.



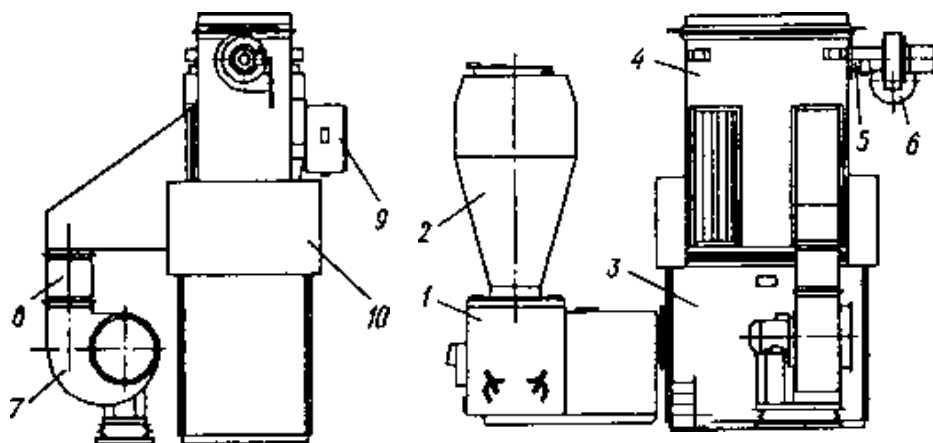
**Рис. 5.2. Теплогенератор (газовоздушный нагреватель) ГВН-450 комплектаций К02 и К05:**

- 1 — подогреватель воды (устанавливается на К05); 2 — заглушка; 3 - корпус; 4— горелка;  
 5— газовая обвязка; 6 — блок вентиляторов

**Технические характеристики теплогенератора (воздушного нагревателя) ВНС-90  
«Самум» смесительного типа**

Номинальная тепловая мощность, кВт	90
Расход газа:	
объемный — природного газа при нормальных физических условиях, м <sup>3</sup> /ч	8,2
массовый — пропана, кг/ч	5,4
Давление газа, присоединительное кПа	2,0
Производительность по воздуху, м <sup>3</sup> /ч	5000
Номинальная потребляемая электрическая мощность, Вт, не более	400
Напряжение питания, переменное (50Гц), В	380
Габаритные размеры (длина x диаметр корпуса)	1562 x 450

Российское предприятие ЗАО «Импет» выпускает теплогенераторы, работающие в комплекте с газогенераторами (рис. 5.3). Главная отличительная особенность их — работа не на высококачественном топливе (газ, жидкое топливо), а на бросовых материалах и низкокачественном топливе (отходы сельскохозяйственного, лесозаготовительного, деревообрабатывающего, гидролизного и др. производств, торф, сланцы и бытовые отходы). В газогенераторе **1**, входящем в теплогенератор, топливо газифицируется, т. е. топливо и кислород воздуха, подаваемого в ограниченном количестве в камеру газообразования, нагреваются раскаленным реактором и вступают между собой в реакцию. В результате нее топливо разлагается на углерод, водяной пар, смолы и масла. Дальнейшая реакция между кислородом и углеродом обеспечивает температуру, достаточную для образования оксида углерода СО — главного горючего компонента вырабатываемого газа. Смолы и масла разлагаются на газы, содержащие водород и



**Рис. 5.3. Теплогенератор типа ТИ, работающий на базе газогенератора:**

- / — газогенератор; 2 — бункер для топлива; 3 — топка; 4 — теплообменник;  
5 — заслонка регулирования тяги; 6 — дымосос; 7 — вентилятор;  
8 — гибкая вставка; 9 — пульт управления; 10 — ограждение

некоторое количество метана. Состав образующегося генераторного газа характеризуется следующими цифрами.

Состав газа	CO	CO <sub>2</sub>	CnO <sub>m</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Объемные доли, %	14...22	8...15	1...4	10...17	<5	50...60

Теплота сгорания генераторного газа равна  $Q_{p,n} = 4000$  кДж/м<sup>3</sup>. Образующийся в газогенераторе 1 генераторный газ поступает в топку теплообменника 3, а появляющиеся в результате его сгорания дымовые газы проходят по трубам теплообменника 4 и далее через коллектор и дымоотводящий патрубок с помощью дымососа 6 выбрасываются в атмосферу. Воздух, подаваемый в теплогенератор вентилятором 7, обдувает трубы теплообменника 4, воспринимая от них теплоту, нагревается и удаляется из теплогенератора через воздухоотводящий патрубок. Как следует из приведенного описания, данные теплогенераторы — непрямого действия, их технические характеристики приведены в табл. 5.2.

**Таблица 5.2. Технические характеристики теплогенераторов типа ТИ, работающих на базе газогенераторов «Импет»**

Параметр	ТИ - 30	ТИ-60	ТИ-100	ТИ-200
Марка газогенератора, входящего в состав теплогенератора	ГГ-30	ГГ-60	ГГ-100	ГГ-200
Номинальная тепловая мощность, кВт	24	48	80	160
Максимальная производительность (подача воздуха), м <sup>3</sup> /ч	2000	3000	5000	6000
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup> , не менее	10,1	10,1	19,8	19,8
Температура нагрева воздуха, °С	40...80	40...80	40...80	40...80
Установленная мощность электродвигателей, кВт				
Вентилятор	1,5	4,0	4,0	5,5
Дымосос	0,55	0,55	0,55	0,55
Напряжение питающей электрической сети, В	380	380	380	380
Коэффициент полезного действия теплогенератора, %, не менее	70	70	70	70
Время выхода на рабочий режим, ч, не более	0,75	0,75	1	1
Основные габаритные размеры, мм, не более				
длина	2630	2730	3270	3270
ширина (с вентилятором)	1600	1800	2200	2520
высота	2350	2530	2620	2680
Масса, кг, не более	1750	1850	3800	4170

Тепловая мощность теплогенератора (кВт)

$$Q_{\text{П}} = V_{\text{Ocp}} (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}}), \quad (5.1)$$

где  $V_0$  — объемный расход нагреваемого воздуха, приведенный к нормальным физическим условиям (0°C и 101325 Па);  $c_p = 1,3$  кДж/(м<sup>3</sup>·К) — объемная изобарная теплоемкость воздуха;  $t_{\text{в.к}}, t_{\text{в.н}}$  — начальная и конечная температура воздуха, °С.

Массовый расход топлива  $B$  (кг/с), если пренебречь физической теплотой топлива и воздуха, подаваемого на горение, можно рассчитать по уравнению

$$B = \frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{ТГ}}} 100, \quad (5.2)$$

где  $Q_{\text{н}}^p$  — низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг (или кДж/м<sup>3</sup>);  $\eta_{\text{ТГ}}$  — КПД теплогенератора, %.

## 5.2. ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ

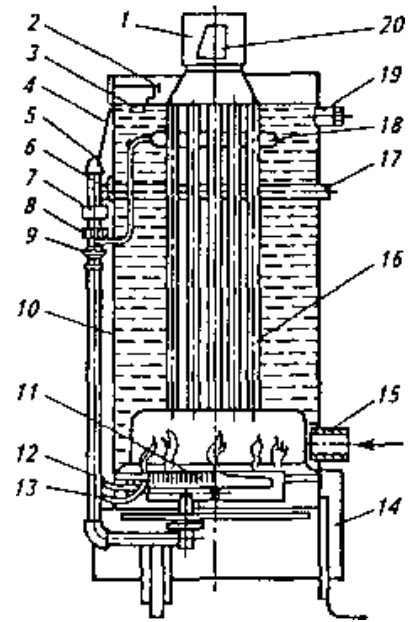
*Водонагреватели* служат для отопительных целей и горячего водоснабжения. В сельском хозяйстве их применяют в индивидуальных домах, на животноводческих фермах (поение животных, приготовление кормов, санитарно-гигиенические нужды), а также в гаражах, мастерских, на предприятиях коммунального и бытового назначения, на малых предприятиях по переработке сельскохозяйственной продукции. Температура нагретой воды в них не превышает 100 °С. Выпускаются водонагреватели периодического действия (накопительные или иначе — емкостные) и непрерывного действия (проточные). По виду используемого источника энергии различают газовые, электрические и электроводяные водонагреватели. В первых из них вода нагревается путем сжигания сжиженного или природного газа, во вторых — в результате электронагрева, в третьих посредством электронагрева и использования теплоты горячей воды с помощью встроенного в аппарат теплообменника.

Отечественной промышленностью выпускаются непрерывно-действующие водонагреватели, работающие на природном газе, типов АОГВ (аппарат отопительный газовый, бытовой с водяным контуром) и АКГВ (аппарат комбинированный газовый с водяным контуром) — следующих марок: АОГВ-11,6-1; АОГВ-1,4-3; АОГВ-23,2-1; АОГВ-29-1; АКГВ-29-1. Цифры 11,6...29 в обозначениях данных нагревателей выражают их максимальную мощность в киловаттах, последняя цифра (1 или 3) — модификацию нагревателя.

Одна из моделей АОГВ показана на рис. 5.4. Внутри цилиндрического резервуара 8 аппарата расположен теплообменник 14, по трубам которого движутся дымовые газы, образующиеся при сжигании газообразного топлива в горелке 9, а межтрубное пространство

**Рис. 5.4. Отопительный газовый аппарат АОГВ-11,6-1:**

1 — тягопрерыватель; 2 — датчик тяги; 3 — патрубок для установки термометра; 4 — провод датчика тяги; 5 — пусковая кнопка; 6 — фильтр; 7 — блок автоматики; 8 — регулировочная гайка; 9 — кран; 10 — резервуар; 11 — горелка; 12 — термопара; 13 — запальник; 14 — кожух; 15 — труба для подвода воды; 16 — теплообменник; 17 — труба для подвода газа; 18 — узел «сиффон — термобаллон»; 19 — труба для отвода воды; 20 — дверца тягопрерывателя

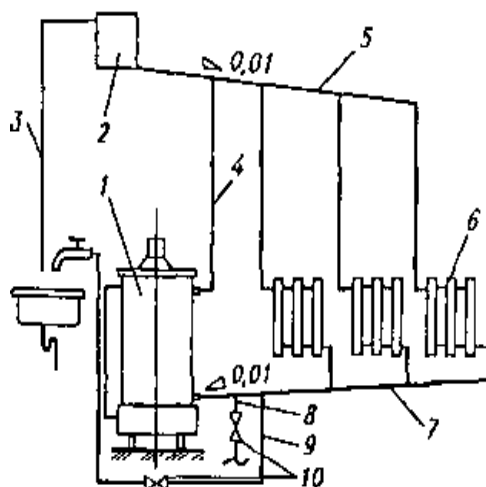


заполнено водой, находящейся в резервуаре. Газ в горелке поджигается с помощью запальника 11, газ в котором горит постоянно. Водонагреватель АОГВ работает в автоматизированном режиме, обеспечиваемом блоком автоматики 5.

Последний представляет собой корпус, внутри которого находятся клапаны, система рычагов, электромагнит. Он служит для подачи газа к запальнику и горелке, регулирования температуры воды и автоматического отключения подачи газа при погасании запальника, падении давления газа в сети ниже допустимого значения или в случае прекращения подачи газа, отсутствии тяги в дымоходе. Водонагреватель АОГВ содержит дополнительно теплообменник, предназначенный для нагрева воды, используемой для горячего водоснабжения. Схема подключения АОГВ к системе отопления показана на рис. 5.5.

Специалисты ЗАО «Импет» на базе газогенератора ГГ-30 разработали периодически действующий газовый нагреватель ВНГ, предназначенный для обеспечения горячей водой молочно-товарных ферм, для заправки автотракторной техники в зимний период, для душевых и прочих бытовых и технических нужд. Нагреватель включает газогенератор, теплообменник и дымо-

вую трубу. Одной заправки бункера нагревателя топливом достаточно для нагрева  $0,3 \text{ м}^3$



**Рис. 5.5. Схема подключения АОГВ к системе отопления:**

1 — АОГВ; 2 — расширительный бачок; 3 — сигнальная труба; 4 — стояк; 5 — магистраль; 6 — нагревательный прибор; 7 — магистраль обратной воды; 8 — сливной трубопровод; 9 — подпиточный водопровод; 10 — вентиль

воды до 75 °С. Работает водонагреватель ВНГ следующим образом. В бак водонагревателя через заливной патрубок заливается 0,3 м<sup>3</sup> воды. О наличии требуемого количества воды можно судить по уровнемеру. После этого запускается газогенератор. Продукты сгорания проходят по трубкам теплообменника, нагревают их и через коллектор и дымовую трубу уходят в атмосферу. Вода, залитая в бак водонагревателя, омывает нагретые поверхности топки и труб теплообменника и достигает определенной температуры. Контроль температуры осуществляется по термометру, установленному на теплообменнике. После выработки топлива и нагрева воды можно производить ее забор через кран, установленный в нижней части водонагревателя. Перед следующим пуском необходимо полностью заполнить бак водой.

Тепловая мощность (Вт), потребляемая водонагревателем, работающим в непрерывном режиме

$$Q_B = G_w c_w (t_G - t_X), \quad (5.3)$$

где  $Q_B$  — массовый расход воды, кг/с;  $c_w$  — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  $t_G, t_X$  — температура горячей и холодной воды соответственно, °С.

Объемный расход топлива (м<sup>3</sup>/с) в газовом нагревателе

$$B = \frac{Q_B}{Q_H^p \eta_B} \quad (5.4)$$

где  $Q_H^p$  — низшая теплота сгорания топлива, Дж/м<sup>3</sup>;  $\eta_B$  — КПД водонагревателя, равный 0,7...0,75.

Представителем электрических водонагревателей периодического действия (емкостного типа) отечественного типа является аппарат АОС, широко применяемый на животноводческих фермах. Выпускают аппараты вместимостью 0,4; 0,8; и 1,6 м<sup>3</sup> с установленной мощностью электронагревателей соответственно 12; 18 и 30 кВт. Вода в нем нагревается до 90 °С — с помощью трубчатых электронагревателей (ТЭНов). К электрическим водонагревателям накопительного типа относятся аппараты компании ISEA, предназначенные для получения горячей воды, используемой на бытовые, коммунальные, технологические и другие нужды. Водонагреватели ISEA — аппараты закрытого типа, работающие под давлением, т.е. выход воды закрыт и внутренняя емкость воды находится под давлением воды в подводящем трубопроводе. Рабочее давление аппарата 0,6 МПа. Регулятор температуры обеспечивает поддержание температуры в нем от 8 до 85 °С, оптимальный температурный режим 65 °С. Накопительные водонагреватели ISEA представлены модульным рядом с объемом воды в нем  $V_6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ : 10; 15; 30; 50; 80; 120; 150; 200; 300, причем аппараты

емкостью  $V_B=(10...80) \cdot 10^3 \text{ м}^3$  укомплектованы электронагревателем (ТЭНом) мощностью 1,2 кВт, а аппараты емкостью  $V_B=(100...150) \cdot 10^3 \text{ м}^3$  — электронагревателями мощностью 1,5 кВт.

Напольный электроводяной нагреватель фирмы «Аустрия эмэйл» («Austria Email») марки «Вакутерм» («Vacutherm») накопительного типа имеет комбинированный нагрев: путем электронагрева и нагрева с помощью циркулирующей через встроенный теплообменник 6 (рис. 5.6) горячей воды, поступающей из системы отопления. Основным электронагрев осуществляется с помощью ТЭНов, закрепленных на фланце 11, дополнительно к нему предусмотрен электронагрев с помощью ТЭНа, вставляемого в гнездо 5. Последний применяют после окончания отопительного периода, когда не функционирует водяной подогрев с помощью теплообменника 6. Магниевый анод 1 служит для антикоррозийной защиты внутреннего эмалированного покрытия емкости водонагревателя. Эта фирма выпускает различные модификации водонагревателя (без встроенного теплообменника 6, с одним и с двумя встроенными теплообменниками — модель в которой вместо ТЭНов на фланце 11 используют теплообменник, смонтированный на этом фланце). Температура нагретой воды в этих аппаратах с помощью терморегулятора может поддерживаться на уровне от 8 до +85 °С; аппарат рассчитан на внутреннее давление 0,6 МПа. Электроводяные нагреватели марки «Вакутерм» выпускают внутренним объемом от  $V_B = 0,14$  до  $1 \text{ м}^3$ .

Количество теплоты  $Q$  (кДж), затрачиваемой на нагрев воды объемом  $V_B$  ( $\text{м}^3$ ), находящейся в водонагревателе емкостного типа, определяется соотношением:

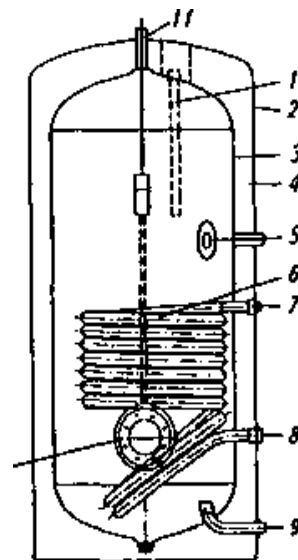
$$Q = V_B \rho_B c_w (t_k - t_n), \quad (5.5)$$

где  $\rho_B$  — плотность воды;  $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_w$  — удельная теплоемкость воды,  $c_w = 4,19 \text{ кДж/(Дкг} \cdot \text{К)}$ ;  $t_k, t_n$  — начальная и конечная температуры воды в водонагревателе, °С.

При установленной мощности электроводонагревателя  $N$  (кВт) время нагрева воды  $\tau$  (ч) с учетом теплопотерь в окружающую среду составляет:

**Рис. 5.6. Напольный водонагреватель фирмы «Аустрия эмэйл» (Austria Email):**

1 — анод; 2—внешний кожух; 3— эмалированный резервуар; 4—теплоизоляция; 5—гнездо для дополнительного электронагревателя; 6—теплообменник; 7—вход горячей воды; 8— выход горячей воды; 9—вход холодной воды; 10— фланец с ТЭНами; 11 — выход нагретой воды



$$\tau = \frac{Q}{3600 N \eta}, \quad (5.6)$$

где  $\eta$  — коэффициент, учитывающий теплотери в окружающую среду;  $\eta = 0,95$ .

Для снижения теплотерь в окружающую среду электрические и электроводяные водонагреватели ISEA и «Вакутерм» имеют высокоэффективную теплоизоляцию из пенополиуретана с низким коэффициентом теплопроводности.

### 5.3. КАЛОРИФЕРЫ

*Калориферы* — это устройства, предназначенные для нагрева воздуха с помощью пара, горячей воды или электричества. Соответственно различают калориферы паровые, водяные и электрические. Выпускают также пароводяные калориферы, в которых теплоносителем может служить и вода, и пар. Калориферы применяют для воздушного отопления и вентиляции различных производственных помещений: теплиц, животноводческих ферм, птичников, ремонтных мастерских, ангаров, для подогрева воздуха в сушильных установках, в установках кондиционирования воздуха и для других технологических целей.

**Паровые и водяные калориферы.** В паровых и водяных калориферах теплоноситель движется по трубкам, а нагреваемый воздух омывает эти трубки снаружи в поперечном направлении. При этом для интенсификации теплообмена трубки калорифера имеют наружное (со стороны воздуха) оребрение — в виде навитой стальной ленты или плотно насаженных на трубки тонких пластин (в последнем случае калориферы называют пластинчатыми).

Трубки калорифера могут быть биметаллическими с накатанным алюминиевым оребрением.

Пластинчатый калорифер (рис. 5.7) содержит входной 1 и выходной 4 коллекторы для воздуха, трубки 2 с насаженными на них пластинами 3. К линиям воды или пара калорифер присоединяют с помощью штуцеров, имеющих резьбу. По ходу движения воздуха калорифер содержит три (малая модель) или четыре (большая модель) ряда трубок.

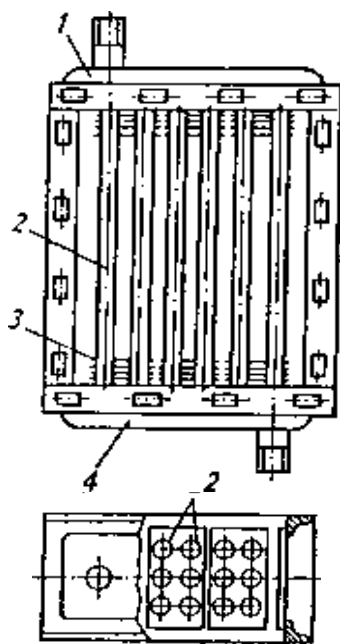


Рис. 5.7. Пластинчатый калорифер:

1, 4 — коллекторы; 2 — трубки; 3 — пластины

По схеме движения теплоносителя калориферы бывают одноходовыми и многоходовыми, в которых с помощью установки специальных перегородок теплоноситель изменяет направление своего движения в трубках. Паровые калориферы одноходовые, водяные калориферы делают и одноходовыми, и многоходовыми для увеличения скорости движения воды в трубках, что интенсифицирует теплообмен. В качестве примера можно привести следующие типы калориферов:

паровые КПЗ-СК и КП4-СК — с биметаллическим накатным теплообменным элементом и соответственно с тремя и четырьмя рядами труб;

водяные, пластинчатые КВС-П, КВБ-П — соответственно средней модели (3 ряда труб) и большой модели (4 ряда труб);

Калориферы всех типов и моделей подразделяют по номерам в зависимости от размеров (основной размер — площадь поверхности нагрева). Технические характеристики ряда пластинчатых водяных и паровых калориферов приведены в табл. 5.3.

### 5.3. Технические характеристики пластинчатых водяных и паровых калориферов

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>		Площадь живого сечения, м <sup>2</sup>				
			по воздуху		по теплоносителю		
	КВБ, КЗПП, КЗВП	К4ПП, К4ВП	КВБ, КЗПП, КЗВП, К4ПП, К4ВП	КВБ, КЗПП	КЗПП	К4ПП	К4ВП
2	9,9	12,7	0,115	0,0046	0,00076	0,0061	0,00102
3	13,2	16,9	0,154	0,0061	0,00076	0,0082	0,00102
4	16,7	21,4	0,195	0,0061	0,00076	0,0082	0,00102
5	20,9	26,8	0,244	0,0076	0,00096	0,0102	0,00127
6	25,3	32,4	0,295	0,0076	0,00096	0,0102	0,00127
7	30,4	38,9	0,354	0,0092	0,00114	0,0122	0,00153
8	35,7	45,7	0,416	0,0092	0,00114	0,0122	0,00153
9	41,6	53,3	0,486	0,0107	0,00178	0,0143	0,00237
10	47,8	61,2	0,558	0,0107	0,00178	0,0143	0,00237
11	54,6	69,9	0,638	0,0122	0,00203	0,0163	0,02271

Подбор калориферов осуществляют в такой последовательности. Вначале находят тепловую мощность калориферной установки (Вт)

$$Q = Lc_p(t_k - t_n), \quad (5.7)$$

где  $L$  — массовый расход воздуха, кг/с;  $c_p$  — массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении;  $c_p=1000$  Дж/(кг·К);  $t_k, t_n$  — температура воздуха на входе в калорифер и на выходе из него, °С.

Затем задаются массовой скоростью воздуха в живом сечении калорифера  $v_p$  [для водяных калориферов в пределах 7...10кг/(м<sup>2</sup> · с)], для паровых — в пределах 3...7 кг/(м<sup>2</sup> · с), и определяют требуемую площадь живого сечения калорифера (м<sup>2</sup>) по воздушному потоку

$$f = L/(vp), \quad (5.8)$$

По каталогу выбирают марку и номер калорифера. По действительному живому сечению выбранного калорифера уточняют массовую скорость в нем

$$(vp)_{\text{Д}} = L / f_{\text{Д}} \quad (5.9)$$

Для водяного калорифера находят скорость (м/с) в трубках

$$w = \frac{Q_{\kappa}}{c_w \rho_w (t_{\Gamma} - t_0) f_{TP}}, \quad (5.10)$$

где  $c_w$  — теплоемкость воды;  $c_w = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\rho_w$  — плотность воды;  $\rho_w = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $t_{\Gamma}, t_0$  — температура горячей и обратной воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $f_{TP}$  — площадь живого сечения труб в одном ходе теплоносителя,  $\text{м}^2$ .

Определяют коэффициент теплопередачи  $k$  [ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ] — в зависимости от выбранных типа и модели калорифера и массовой скорости воздуха, а если теплоноситель вода, то и от скорости ее движения в трубках калорифера.

Формулы для расчета коэффициента теплопередачи [ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ] калориферов:

для паровых калориферов

$$k = A(v\rho)^n, \quad (5.11)$$

для водяных калориферов

$$k = A(v\rho)^n \cdot w^m, \quad (5.12)$$

где  $A, n, m$  — опытные константы, значения которых для некоторых моделей калориферов приведены в табл. 5.4 и 5.5.

#### 5.4. Значения констант $A$ и $n$ в формуле (5.11)

Калорифер	$A$	$n$
КВБ	17,79	0,351
КЗПП, КЗВП	14,07	0,366
К4ПП, К4ВП	11,63	0,42

#### 5.5. Значения констант $A, n, m$ в формуле (5.12)

Калорифер	$w = 0,02 \dots 0,25 \text{ м/с}$			$w = 0,02 \dots 1 \text{ м/с}$		
	$A$	$n$	$m$	$A$	$n$	$m$
КВБ	21,52	0,257	0,192	17,79	0,34	0,144
КЗПП, КЗВП	16,40	0,289	0,158	12,90	0,393	0,106
К4ПП, К4ВП	14,42	0,331	0,140	11,05	0,448	0,034

Находят требуемую площадь поверхности калориферной установки

$$A_{к.у} = \frac{Q_k}{k\Delta t_{cp}}, \quad (5.13)$$

где  $\Delta t_{cp}$  — средняя разность температур теплоносителя и воздуха в помещении, которую определяют следующим образом:

для воды

$$\Delta t_{cp} = (t_G - t_0) / 2 - t_B, \quad (5.14)$$

для пара

$$\Delta t_{cp} = t_{нас} - t_B, \quad (5.15)$$

где  $t_G, t_0$  — температура горячей и обратной воды, °С;  $t_{нас}$  — температура насыщенного пара;  $t_B$  — температура воздуха в помещении, °С.

Находят число последовательно соединенных калориферов в калориферной установке

$$n = \frac{A_{к.у}}{A_k}, \quad (5.16)$$

где  $A_k$  — площадь поверхности теплообмена калорифера выбранного типоразмера, м<sup>2</sup>.

Число последовательно соединенных калориферов  $n$  не должно превышать шести, во избежание чрезмерно большого аэродинамического сопротивления калориферной установки (Па), которое рассчитывают по формуле

$$\Delta p_{к.у} = C(v\rho)^6 n \quad (5.17)$$

где  $C, v$  — опытные константы, зависящие от марки калорифера; их значения для некоторых моделей калориферов приведены в табл. 5.6.

#### 5.6. Значения констант $C$ и $v$ в формуле (5.17)

Калорифер	$C$	$v$
КВБ	1,5	1,69
кзпп, кзвп	1,2	1,76
к4пп, к4вп	1,72	1,72

Паровые и водяные калориферы нередко комплектуют с осевыми или радиальными вентиляторами в единую воздухонагревательную установку. Эти установки выпускаются различными предприятиями под разными названиями.

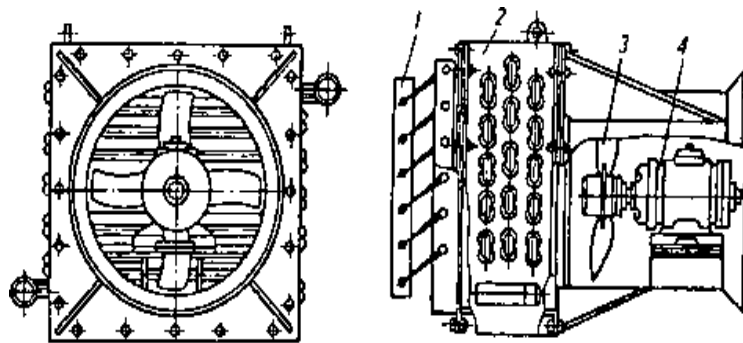


Рис. 5.8. Отопительно-вентиляционный агрегат АПВС:

1 — жалюзи; 2 — пароводяной калорифер; 3 — осевой вентилятор;  
4 — электродвигатель

Один из нагревателей этого типа — отопительно-вентиляционный агрегат АПВС, широко применяемый в теплицах, показан на рис. 5.8.

Он включает пароводяной калорифер (теплоноситель — вода или пар) и осевой вентилятор. Агрегаты АПВС имеют тепловую мощность при обогреве паром — 58,2...128 кВт, а при обогреве водой (с начальной температурой 135 °С и конечной 70 °С) — 35...93,2 кВт. Объемный расход воздуха в них составляет 3,3...6,9 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Поскольку осевой вентилятор создает небольшое давление, то укомплектованные им нагреватели воздуха не могут транспортировать последний на большое расстояние. Такую возможность имеют нагреватели, оснащенные радиальными вентиляторами, например воздушно-тепловая установка ВТУ. Установка ВТУ укомплектована водяным калорифером; в зависимости от типоразмеров она имеет тепловую мощность 169...462 кВт и производительность по воздуху 11...30 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Она предназначена для нагрева производственных и бытовых помещений (нагрев и перемещение воздуха в приточных камерах, рециркуляционных установках, организация воздушно-тепловых завес). В установках ВТУ температура воздуха повышается на 40 °С.

**Электрокалориферы.** В электрических калориферах температура воздуха повышается в результате выделения теплоты электронагревательными элементами, в качестве которых используют чаще всего трубчатые электронагревательные элементы — ТЭНы (гладкие или оребренные). Эти устройства используют для подогрева приточного воздуха и его подачи в системы вентиляции сельскохозяйственных помещений, для электровоздушного обогрева локальных рабочих мест, производственных, подсобных и складских помещений, ангаров, для нагрева воздуха в сушильных установках, для создания воздушных тепловых завес в помещениях. В табл. 5.7 в качестве примера приведены технические характеристики электрокалориферов типа ЭКО.

### 5.7. Технические характеристики электрокалориферов типа ЭКО

Показатель	ЭКО-5	ЭКО-10	ЭКО-15	ЭКО-25	ЭКО-40	ЭКО-60	ЭКО-100	ЭКО-160
Мощность, кВт	4,8	9,6	15	22,5	45	67,5	90	157,5
Размеры $L \times B \times H$ , мм	$367 \times 174 \times 204$	$734 \times 179 \times 250$	$734 \times 179 \times 250$	$734 \times 240 \times 250$	$734 \times 240 \times 385$	$734 \times 244 \times 520$	$734 \times 244 \times 655$	$734 \times 244 \times 1060$

### 5.8. Технические характеристики электрокалориферных установок типа ЭКОЦ

Показатель	ЭКОЦ-3/0,5	ЭКОЦ-10/0,5	ЭКОЦ-16/0,5	ЭКОЦ-25/0,5	ЭКОЦ-40/0,5	ЭКОЦ-60/0,5	ЭКОЦ-100/0,5	ЭКОЦ-160/0,5
Установленная мощность, кВт	5,05	10	16,1	23,6	47,2	69,7	97	163
В том числе нагревателей, кВт	4,8	9,6	15	22,5	45	67,5	90	157,5
Объемный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не менее	500	800	1900	2500	3500	4000	5000	7500
Перепад температур входящего и выходящего воздуха, °С, не более	35	35	35	35	50	65	70	85
Температура °С, не более	50	50	50	50	50	50	50	50
выходящего воздуха на поверхности нагревателей	190	190	190	190	190	190	190	190
Давление, развиваемое вентилятором, Па	180	350	500	500	900	1000	1000	1000
Напряжение в сети, В	380	380	380	380	380	380	380	380

Калорифер представляет собой каркас прямоугольного сечения, внутри которого в три ряда расположены оребренные трубчатые нагреватели (ТЭНы). Каждый ряд представляет собой автономную электрическую секцию, в которой нагреватели соединены в звезду.

На базе электрокалориферов и вентиляторов (осевых или радиальных) выпускают электрокалориферные установки различного типа. Установка состоит из смонтированных на общей раме электрокалорифера, радиального (центробежного) вентилятора с электродвигателем и мягкой вставкой. Переходник представляет собой сварную металлоконструкцию, с помощью которой осуществляется переход с прямоугольного сечения электрокалорифера на круглое сечение всасывающего патрубка вентилятора. Технические характеристики электрокалориферных установок типа ЭКОЦ приведены в табл. 5.8.

К числу электрокалориферных установок относятся также выпускаемые отечественной промышленностью воздухонагревательные установки типа УВЭ (установки воздухонагревательные электрические), характеристики которых приведены в табл. 5.9.

#### **5.9. Технические характеристики воздухонагревательных электрических установок типа УВЭ**

Показатель	УВЭ-15	УВЭ-30	УВЭ-45	УВЭ-65	УВЭ-90
Установленная мощность, кВт	15,9	30,3	47,2	71,5	97,5
Объемный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	2000	2500	3000	5000	7500
Перепад температур выходящего и входящего воздуха при минимальном расходе, °С	40	50	55	55	55
Давление, развиваемое вентилятором, Па	500	500	800	1400	1500