



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2018

УДК 658.26(075.8)
ББК 31.19я73
С40

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 28.02.2017 г.)*

Составители: *Н. В. Широглазова, Н. М. Кидун*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Алферова*

Системы производства и распределения энергоносителей : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Н. В. Широглазова, Н. М. Кидун. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 44 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-360-8.

Рассмотрены назначение, устройство и принцип действия газорегуляторного пункта, системы обратного водоснабжения, системы производства холода и продуктов разделения воздуха. Представлены методики расчетов основных и вспомогательных элементов систем производства и распределения энергоносителей.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 658.26(075.8)
ББК 31.19я73

ISBN 978-985-535-360-8

© Широглазова Н. В., Кидун Н. М.,
составление, 2018

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий» является одной из базовых дисциплин для специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», который изучает назначение, устройство и принцип действия газораспределительной сети, газорегуляторного пункта, газорегуляторной установки, производственное и обратное водоснабжение, системы производства холода и продуктов разделения воздуха.

В процессе изучения дисциплины студенты приобретают навыки в расчетах основных и вспомогательных элементов систем производства и распределения энергоносителей (предохранительно-сбросной клапан, предохранительно-запорный клапан, регуляторы давления, фильтры, градирни, компрессоры, ректификационные колонны и т. д.), осваивают основные вопросы эксплуатации энергооборудования (различные режимы входных и выходных параметров энергоносителей и т. д.).

На основании исходных данных, получаемых в результате эксплуатации оборудования котельных Гомельских тепловых сетей и углекислотной станции РУП «Гомсельмаш», студент должен осуществить оформление требуемых отчетов с выполнением необходимых расчетов и построением графических зависимостей.

Лабораторная работа № 1

НАСТРОЙКА ОБОРУДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЕ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНОГО ПУНКТА

Цель работы: изучить основное оборудование ГРП; научиться проводить расчет параметров оборудования ГРП.

1. Теоретическая часть

Система газоснабжения – организованная подача и распределение газового топлива для нужд народного хозяйства. Надежное и устойчивое функционирование систем газоснабжения населенных пунктов, промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных предприятий невозможно без устройства газорегуляторных пунктов (ГРП) и установок (ГРУ), определяющих режимы давления в газопроводах.

В зависимости от давления газа на входном газопроводе ГРП бывают высокого (свыше 0,3 до 1,2 МПа) и среднего (свыше 0,005 до 0,3 МПа) давления.

Основным назначением ГРП и ГРУ промышленного предприятия является:

- прием поступающего газа;
- снижение давления газа до требуемого значения и поддержание его при изменении давления в магистральном газопроводе или городских сетях, а также при изменении потребления газа объектами газоснабжения;
- очистка природного газа от механических примесей;
- учет расхода природного газа;
- отсечка газа (срабатывание предохранительно-запорного клапана (ПЗК) и его сброс в атмосферу при кратковременном повышении давления газа за регулятором давления (РД), срабатывание предохранительно-сбросного клапана (ПСК)).

Газорегуляторные пункты размещают:

- в отдельно стоящих зданиях;
- встроенными в одноэтажные производственные здания или котельные;
- в шкафах на наружных стенах или отдельно стоящих опорах;
- на покрытиях производственных зданий I и II степени огнестойкости с негорючим утеплителем;
- на открытых огражденных площадках под навесом.

Газорегуляторные установки размещают:

- в газифицированных зданиях, как правило, вблизи от входа;
- непосредственно в помещениях котельных или цехов, где находятся

газоиспользующие агрегаты, или в смежных помещениях, соединенных с ними открытыми проемами и имеющими не менее чем трехкратный воздухообмен в час.

Принципиальная схема газорегуляторного пункта представлена на рис. 1.

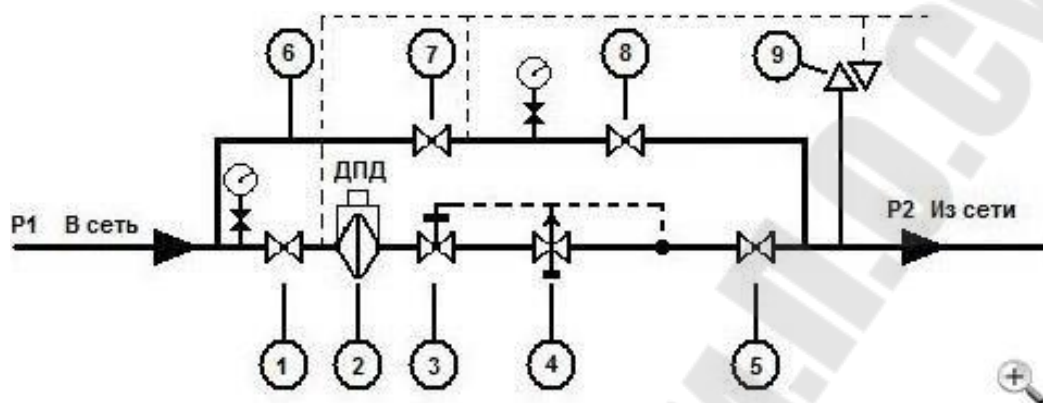


Рис. 1. Принципиальная схема газорегуляторного пункта

Газ с давлением P_1 из сети через открытый кран 1 (задвижку и т. д.) проходит и очищается от механических примесей с помощью фильтра 2. Затем он проходит через ПЗК 3 (если он открыт) и попадает в регулятор давления 4, который понижает давление газа до заданного и поддерживает в настроечных значениях, независимо от входного давления и расхода. После регулятора давления организована точка отбора газа и установлена импульсная линия, которая позволяет получать сигнал (в виде давления) регулятору 4 и ПЗК 3. Регулятор при помощи сигнала регулирует положение дросселя, тем самым уменьшается/увеличивается проходное сечение регулятора и давление остается в настроечном диапазоне. А ПЗК прекратит поступление газа, если давление выйдет из заданного диапазона более чем на 25 %. Далее газ с давлением P_2 , через открытый кран 5 попадает в сеть. Если давление газа возрастет более чем на 15 %, сработает ПСК 9 и выбросит излишки газа в атмосферу. Байпасная линия 6 служит для ремонтных работ на основной линии, с помощью крана 8 регулируется подача газа, кран 7 является запорным. Байпасная линия может заменяться резервной, в этом случае в ней будет присутствовать тот же набор оборудования, что и на основной. Также в схеме должны присутствовать показывающие приборы для видимости значений P_1 , P_2 и перепада давления на фильтре дифманометра перепада давлений (ДПД). Также должны быть организованы продувочно-сбросные тру-

бопроводы на основной и резервной линиях для сброса излишков давления и продувки газопровода при пуске установки (обозначены пунктиром).

2. Элементы оборудования газорегуляторного пункта

Оборудование и устройство ГРП включает в себя:

1. Фильтр газовый

Предназначен для очистки газа от механических примесей (пыли, окалины, грязи).

Наиболее распространены фильтры волосяные с диаметром штуцера 50–300 мм. Для контроля сопротивления фильтра и оценки его загрязнения параллельно ему включается дифференциальный манометр. Чистый волосяной фильтр имеет сопротивление 4–6 кПа и подлежит замене и очистке при повышении сопротивления до 10 кПа.

Фактическое сопротивление фильтра в расчетных условиях определяется по формуле

$$P_{\phi} = (P_{\phi})_{\text{п}} \cdot \left(\frac{V_{\text{пр.}\phi}}{V_{\text{п}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_0}{(\rho_0)_{\text{п}}} \right) \cdot \left(\frac{(P_{\text{п.}\phi})_{\text{п}}}{P_{\text{п.}\phi}} \right) \text{ кПа,}$$

где $(\Delta P_{\phi})_{\text{п}}$ – сопротивление фильтра по паспортным данным, кПа; $V_{\text{пр.}\phi}$ – фактический расход природного газа через фильтр, $\text{нм}^3/\text{ч}$; $V_{\text{п}}$ – паспортная пропускная способность фильтра, соответствующая $(\Delta P_{\phi})_{\text{п}}$ $\text{нм}^3/\text{ч}$; ρ_0 – фактическая плотность природного газа, $\text{кг}/\text{нм}^3$; $(\rho_0)_{\text{п}}$ – расчетная (паспортная) плотность природного газа, $\text{кг}/\text{нм}^3$; $(P_{\text{п.}\phi})_{\text{п}}$ – паспортное значение давления газа за фильтром, кПа; $P_{\text{п.}\phi}$ – фактическое значение давления газа за фильтром, кПа.

$$(P_{\text{п.}\phi})_{\text{п}} = P_{\text{п}} - (P_{\phi})_{\text{п}} = P_{\text{п}} - 6, \text{ кПа;}$$

$$P_{\text{п.}\phi} = P_{\text{п}} - P_{\phi}, \text{ кПа.}$$

2. Предохранительно-запорный клапан

Установку ПЗК предусматривают перед регулятором давления. Предохранительно-запорный клапан предназначен для автоматического отключения подачи газа при повышении или понижении давления газа после регулятора сверх установленных пределов.

В соответствии с требованиями правил верхний предел срабатывания ПЗК не должен превышать максимальное рабочее давление

газа после регулятора более чем на 25 %. Нижний предел, устанавливаемый проектом, соответствует требованиям обеспечения устойчивой работы *газогорелочных* устройств и уточняется при пусконаладочных работах.

Предел настройки ПЗК определяется как

$$P_{\text{ПЗК}} = 1,25P_p, \text{ кПа},$$

где $P_p = P_2$ – избыточное давление газа на выходе из ГРП.

$$P_{\text{ПЗК}}^{\text{min}} = P_{\text{раб}}^{\text{min}} + P_{\text{пут}}, \text{ кПа}.$$

3. Предохранительно-сбросной клапан

Установку ПСК необходимо предусматривать за регулятором давления, а при наличии *расходомера* – после расходомера.

Предохранительно-сбросной клапан должен обеспечивать сброс газа в атмосферу, исходя из условий кратковременного повышения давления, не влияющего на промышленную безопасность и нормальную работу газового оборудования потребителей.

Перед ПСК предусматривают отключающие устройства, которые должны быть опломбированы в открытом положении.

Предохранительные сбросные клапаны должны обеспечить сброс газа при превышении номинального рабочего давления после регулятора не более чем на 15 %.

Величина срабатывания ПСК:

$$P_{\text{ПСК}} = 1,15P_{\text{раб}}, \text{ кПа},$$

где $P_{\text{раб}}$ – рабочее давление газа на выходе из ГРП, кПа.

4. Регулятор давления

Предназначен для автоматического снижения давления газа и поддержания его значения на заданном уровне независимо от изменения расхода газа на оборудование и колебаний давления на входном газопроводе.

Для определения расчетной пропускной способности предварительно намеченного к установке РД используется выражение

$$V_{\text{расч.пр.}} = V_T \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot (\rho_0)_T \cdot p_2}{(\Delta p)_T \cdot \rho_0 \cdot (p_2)_T}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

где индексом «Т» отмечены табличные характеристики, причем $(\Delta p)_T = 0,1$ МПа, $(\rho_0)_T = 0,73$ кг / м³, $(p_2)_T = 0,101$ МПа. Давления перед

регулятором p_1 и за ним p_2 , а также перепад $\Delta p = p_1 - p_2$ принимаются в соответствии с данными расчета газопроводов среднего и низкого давлений.

Записанная выше расчетная формула справедлива для докритических значений p_1/p_2 , т. е. при условии, что $p_1/p_2 < 2$. Для критических и сверхкритических давлений ($p_1/p_2 > 2$) формула несколько видоизменяется:

$$V_{\text{расч.пр}} = 0,5V_T p_1 \cdot \sqrt{\frac{(\rho_0)_T}{\rho_0 (\Delta p)_T (\Delta p_2)_T}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Определив значение $V_{\text{расч.пр}}$, необходимо проверить, удовлетворяются ли условия нормальной загрузки регулятора при максимальном (зимой) и минимальном (летом) потреблении газа.

К установке в ГРП принимаются регуляторы давления с клапаном соответствующего диаметра, который обеспечит конечное давление, соответствующее расчетному.

На ГРП стремятся ограничиться одним – максимально двумя параллельно установленными однотипными РД. Размер их может быть различным. Их следует выбирать так, чтобы при максимальном в году часовом пропуске газа (зимой в часы пик) они были бы загружены не более 75 %, а при минимальном (летом ночью) – не менее 10 % их расчетной пропускной способности.

Максимальная загрузка РД:

$$n_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{р.пр}}} < 75.$$

Минимальная загрузка РД:

$$n_{\text{min}} = \frac{V_{\text{min}}}{V_{\text{р.пр}}} > 10,$$

где $V_{\text{max}}/V_{\text{р.пр}}$ – загрузка при максимальном потреблении газа; $V_{\text{min}}/V_{\text{р.пр}}$ – загрузка при минимальном потреблении газа.

5. Обводной газопровод (байпас) – для подачи по нему газа во время ревизии или ремонта оборудования. Для ГРП с входным давлением свыше 6 кгс/см² и пропускной способностью более 5000 м³/ч вместо байпаса предусматривают дополнительную резервную линию регулирования.

6. Сбросные и продувочные трубопроводы – для сброса газа в атмосферу от предохранительно-сбросных устройств и продувки газопроводов и оборудования, т. е. для освобождения их в необходимых случаях от воздуха или газа.

7. Средства измерений – манометры (показывающие и самопишущие) для измерения давления газа перед регулятором и за ним; термометры (показывающие и самопишущие) для измерения температуры газа.

8. Импульсные трубки – для соединения отдельных элементов оборудования между собой и с контролируемыми точками газопроводов, а также для присоединения средств измерений к газопроводам в контролируемых точках.

3. Порядок выполнения работы

Данные для расчета оборудования ГРП заносим в табл. 1.1

Таблица 1.1

Основные параметры газового оборудования

Наименование величин	Размерность	Параметры	Примечание
Месторождение, тип газа	тип газа		
Плотность газа	кг/м ³		
Давление газа на входе в ГРП	кгс/см ²		
Расход газа	нм ³ /ч		
Температура газа	С		
Давление газа после регулятора	кгс/см ²		

На основании полученных исходных данных (табл. 1.2) необходимо выбрать основное оборудование ГРП, выбрать марку, тип, найти пропускную способность фильтра, регулятора.

Характеристики фильтров газовых выбираются по Приложению 1 (с. 33–34).

Характеристики РД выбираются по Приложению 2 (с. 34–36).

Характеристики ПЗК выбираются по Приложению 3 (с. 36–37).

Характеристики ПСК выбираются по Приложению 4 (с. 37–39).

Рассчитать величину давлений срабатывания ПЗК, ПСК. Рассчитать P_{\min} для ПЗК, исходя из выбранного РД, диаметра газопроводов, его длины и количества местных сопротивлений. Результаты расчетов занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты расчетов газового оборудования

Наименование оборудования	Тип	Параметры настройки	Примечание

Таблица 1.3

Данные для расчетов

Но- мер вари- анта	Тип газа	Давле- ние в маги- страль- ном газ- опро- воде, кгс/см ²	Давление газа за регулято- ром давления, кгс/см ²	Расход газа ПП, нм ³ /ч	Темпе- рату- ра	Дли- на газо- про- вода, м	Отно- ситель- ная плот- ность газа по воздуху
1	Бугуруслановское	6	0,5	1500	+10	200	0,66
2	Седь-Июль (Коми)	6	0,45	3000	+15	150	0,58
3	Ставропольское	6	1	1000	+10	120	0,56
4	Уренгойское Юра	6	2	6000	+8	100	0,67
5	Седь-Июль (Коми)	6	0,7	5000	+7	110	0,58
6	Бугуруслановское	6	1,5	1000	+9	110	0,66
7	Медвежье Юра	12	0,5	2000	+6	120	0,76
8	Медвежье Юра	12	0,9	1500	+5	190	0,76
9	Медвежье Юра	12	1,2	3000	+4	180	0,76
10	Заполярье	10	1,3	4000	+3	200	0,56
11	Губкинское	9	2	5000	+2	210	0,57
12	Солинское	8	3	6000	+1	300	0,58
13	Березовское	7	0,5	7000	0	190	0,58
14	Березовское	6	0,45	5000	-1	200	0,58
15	Газлинское	7	0,7	4500	-2	210	0,59
16	Северо-Мубарекское	8	0,8	4000	-3	250	0,65
17	Северо-Мубарекское	9	0,9	6000	+5	300	0,65
18	Ставропольское	10	1	5000	+6	350	0,56
19	Заполярье	11	1,1	20000	+7	600	0,56
20	Губкинское	12	1,2	22000	+7	700	0,57
21	Сонинское	7	0,5	7000	+8	300	0,58
22	Бугуруслановское	8	0,6	6000	+3	240	0,66
23	Седь-Июль (Коми)	6	1	4000	+2	350	0,58
24	Уренгойское Юра	11	0,7	3000	0	150	0,67
25	Березовское	10	0,5	2000	-3	160	0,58

Контрольные вопросы

1. Назначение ГРП промпредприятия.
2. Схема ГРП. Элементы оборудования ГРП.
3. Фильтр газовый. Классификация, назначение.
4. Регулятор давления. Назначение, устройство и принцип работы.
5. Предохранительно-запорный клапан, предохранительно-сбросной клапан. Назначение и принцип работы. Пределы срабатывания.
6. Возможные аварийные ситуации и их ликвидация.
7. Требования техники безопасности при обслуживании ГРП.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы: изучить схему оборотного водоснабжения промышленного предприятия, ознакомиться с методикой теплового расчета градирни, выполнить тепловой расчет градирни.

1. Теоретическая часть

В системах оборотного водоснабжения тепловых электростанций применяются в основном испарительные охладители, в которых охлаждение воды происходит главным образом путем испарения. Благодаря интенсивной теплоотдаче при испарении этот тип охладителей наиболее эффективен и экономичен. Механизм испарительного охлаждения связан с отрывом молекул жидкости, обладающих достаточной кинетической энергией, чтобы преодолеть силы сцепления. Вода при этом теряет наиболее быстро движущиеся молекулы, вследствие чего средняя кинетическая энергия молекул уменьшается, что вызывает понижение температуры. Интенсивность испарения пропорциональна разности давления насыщенного пара в воздухе, что соответствует его малой относительной влажности, предел охлаждения воды может быть значительно ниже температуры воздуха, что является характерным преимуществом испарительных охладителей.

Выбор типа охладителей производится на основании технико-экономических расчетов в зависимости от технологических требований к температуре охладительной воды, климатических условий, работы расположения, условий площадки строительства.

По способу отвода тепла охладители подразделяются на:

- испарительные;
- поверхностные (радиаторные).

Испарительные охладители могут быть:

- пруды-охладители;
- брызгальные бассейны;
- градирни башенного или вентиляторного типа.

В данной лабораторной работе более подробно рассмотрим градирни.

Испарительные градирни

Открытые градирни представляют собой в простейшем случае охлаждающие устройства с соплами, направленными вниз, с ограждениями. Открытые градирни используются для охлаждения сравнительно небольших количеств воды.

Башенные градирни обладают более высокой и устойчивой охлаждающей способностью и требуют меньшей площади для их размещения. Наличие вытяжных башен, отводящих насыщенный парами воздух, позволяет размещать градирни непосредственно вблизи зданий. Гидравлическая нагрузка при капельном оросителе $4\text{--}5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, при пленочном оросителе $6\text{--}7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

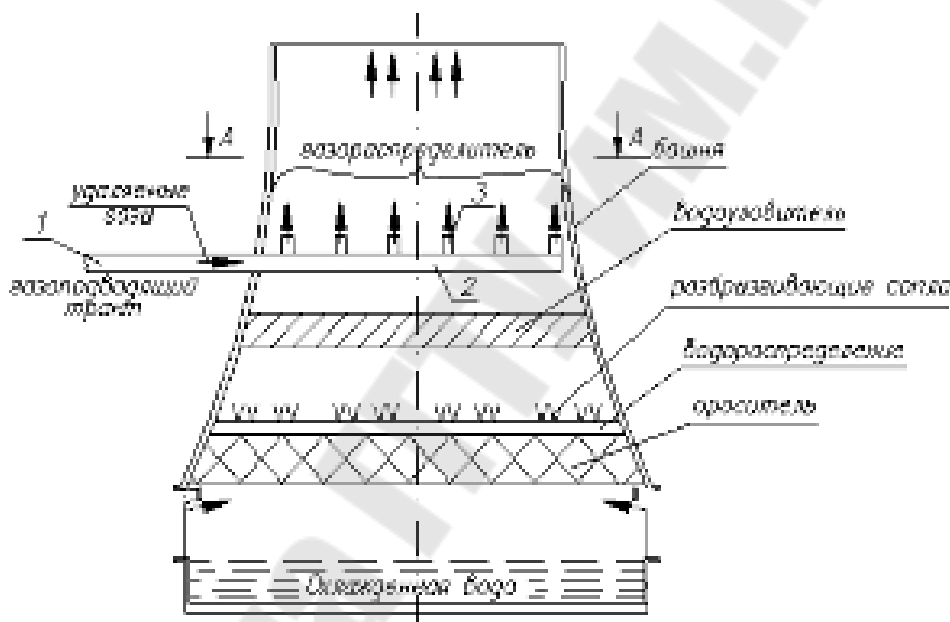


Рис. 2.1. Башенная градирня противоточного типа с естественной тягой

Вентиляторные градирни обеспечивают более глубокое охлаждение воды, чем охладители других типов. Стоимость строительства вентиляторных градирен несколько меньше, но эксплуатационные расходы более высокие. Для вентиляторных градирен гидравлическая нагрузка составляет $8\text{--}10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

В настоящее время для охлаждения оборотной воды электростанций применяются испарительные градирни – башенные и вентиляторные с пленочным или капельно-пленочным оросителями с противоточным движением воздуха.

Гидравлика градирен

Гидравлика градирен связана с вопросами распределения охлаждающей воды по площади орошения градирен и создания необходимой поверхности водного потока, которая определяет его охлаждающую способность.

Распределение по площади орошения подаваемой для охлаждения в градирене теплой воды осуществляется с помощью безнапорной системы открытых лотков или системы напорных трубопроводов. Разводимая лотками или трубами вода разбрызгивается специальными устройствами на капли, падающие затем на ороситель. Требования, предъявляемые к системам водораспределения градирен, сводятся к созданию равномерного дождя, что обеспечивает равномерное смачивание элементов оросителя. Для обеспечения равномерного распределения воды при гидравлическом расчете систем водораспределения должно выдерживать условие, чтобы разность максимальной и минимальной производительности разбрызгивающих устройств систем водораспределения по отношению к средней производительности не превышала 10 %, т. е.

$$\frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\text{ср}}} 100 \leq 10 \%$$

С целью интенсификации процесса охлаждения иногда применяется дифференцированное распределение воды с уменьшением плотности дождя к центру. Изменение плотности орошения при этом достигается путем применения гидравлических насадок или сопел различных диаметров, либо изменением расстояний между ними.

Конструкции башенных градирен

Конструктивные решения башенных градирен определяются в основном характером движения воздуха в отрасли. Схемы башенных градирен с поперечным, поперечно-противоточным и противоточным движением воздуха наиболее часто используются на промышленных объектах.

Основными элементами конструкции башенных градирен являются: вытяжные башни, осуществляющие циркуляцию необходимого расхода воздуха, а также отводящие насыщенные пары на достаточную высоту для их рассеивания; системы водораспределения; оросительные

устройства, обеспечивающие создание необходимой поверхности охлаждения, водосбросные бассейны, служащие для сброса охлажденной воды и создания необходимого запаса воды в циркуляционной системе.

Методика теплового расчета градирни

Теоретические методы теплового расчета градирен разработаны П. Д. Бергманом и Б. В. Проскуряковым. По этому методу оросительные устройства разбиваются на участки. Определение параметров воздуха и температуры воды производится последовательно по сечениям оросителя согласно следующим уравнениям:

– изменение температуры воздуха:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\alpha_V}{C_p \cdot \gamma_{в.ср} \cdot V_{ор}} (t - \theta) = \frac{1,84\beta_V}{\gamma_{в.ср} \cdot V_{ор} \cdot 3600} (t - \theta); \quad (2.1)$$

– изменение абсолютной влажности воздуха:

$$\frac{dl}{dx} = \frac{\beta_V}{rV_{ор} \cdot 3600} (e_m - e); \quad (2.2)$$

– изменение температуры воды:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{C_p \cdot \gamma_{в.ср} \cdot V_{ор} \cdot 3600}{q} \cdot \frac{d\theta}{dx} + \frac{rV_{ор}}{q} 3600, \quad (2.3)$$

где α_V – принимается равным $0,46 \beta_V$; C_p – теплоемкость влажного воздуха; $(t - \theta)$ – разность температуры воды и воздуха; $\gamma_{в.ср}$ – средний объемный вес воздуха.

При выполнении расчетов может оказаться, что определенная расчетом в каком-либо сечении оросителя влажность превышает 100 %. В этом случае избыточное количество паров должно конденсироваться. Дополнительное изменение температуры воздуха за счет конденсации пара может быть определено из уравнения

$$d\theta = \frac{\delta r \cdot 10^{-3}}{C_p V_{ор}} = \frac{2,34\delta}{\gamma_{в.ср}}, \quad (2.4)$$

где δ – количество сконденсированных паров, определяемое разностью абсолютной влажности воздуха, полученной по расчету, и влажности воздуха, соответствующей максимальному его насыщению при заданной температуре.

2. Практическая часть

Требуется определить температуру охлажденной воды в башенной градирне площадью орошения 1600 м^2 с противоточным движением воздуха. Средняя высота щитов оросителя – 4 м. Высота башни над верхом щитов оросителя приведена в задании. Плотность орошения $6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, перепад температуры (см. задание). Расчетные метеорологические условия температуры наружного воздуха $25 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность 54% , объемный вес воздуха $1,153 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура воды и состояние воздуха определяются по сечениям оросителя через 0,5 м по высоте для двух значений средней скорости воздуха 0,7 и 1,0 м/с.

Порядок выполнения работы

Температура воды, воздуха, относительная влажность воздуха определяются по сечениям оросителя при средней скорости 0,7 и 1,0 м/с, через расстояние 0,5 м.

Для скорости воздуха 0,7 м/с вычисляется объемный коэффициент теплоотдачи β_V :

$$\beta_V = 3,39 \cdot \Delta h \cdot 0,9 \cdot q^{0,4} (V_{\text{ор}} \cdot 3600)^{0,6} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.}}; \quad (2.5)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{1,84\beta_V}{\gamma_{\text{в.ср}} V_{\text{ор}} \cdot 3600} (t - \theta); \quad (2.6)$$

$$\beta_V = Aq^{0,4} \cdot V_{\text{ор}}^{0,6}, \quad (2.7)$$

где β_V – объемный коэффициент теплоотдачи; A – коэффициент, принимаемый по справочной литературе; q – средняя плотность орошения, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; $V_{\text{ор}}$ – средняя скорость воздуха в оросителе, отнесенная к полной его площади, м/ч.

$$\frac{de}{dx} = \frac{\beta_V}{rV_{\text{ор}}} (e_m - e), \quad (2.8)$$

где r – скрытая теплота испарения, принимаемая постоянной и равной $580 \text{ ккал}/\text{ч}$.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{C_p \cdot \gamma_{в.ср} \cdot V_{ор}}{q} \cdot \frac{d\theta}{dx} + \frac{rV_{ор}}{q} \cdot \frac{de}{dx}; \quad (2.9)$$

$$\alpha_V = 0,46\beta_V. \quad (2.10)$$

Результаты расчета заносим в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты теплового расчета градирни при $V_{ор} = 0,7$ м/с

Высота, м	Температура воды, °С	Температура воздуха, °С	Разность температурой воды и воздуха, °С	Изменение температуры воздуха, °С	Максимальная упругость паров	Влажность, %	Перепад влажности, %	Изменение абсолютной влажности воздуха, %	Изменение температуры воды, °С
$h_{ор}$	t	θ	$t - \theta$	$\frac{du}{dx}$	e_m	e	$e_m - e$	$\frac{de}{dx}$	$\frac{dt}{dx}$
0,0		25				12,8			
0,5									
1									
1,5									
2									
2,5									
3,0									
3,5									
4,0									

Максимальная упругость паров выбирается по температуре воды по Приложению 4 (табл. П.4.1).

Произвести аналогичный расчет для средней скорости движения воздуха в оросителе 1,0 м/с. Результаты расчета занести в таблицу, аналогичную табл. 2.1.

В результате расчета получаем охлаждающую способность градирни.

Расчет аэродинамического сопротивления градирни

Данные для расчета согласно варианту (табл. 2.2 и 2.3).

Расчет производится при скорости воздуха $V_B = 3-4$ м/с.

Потери напора на входе:

$$h_1 = \frac{\epsilon_0 \cdot V_B^2 \cdot \rho_B}{2}. \quad (2.11)$$

Сопротивление опорных колонн оросителя (при $\frac{d}{l} = \varphi$ (из данных) по справочной литературе $\varepsilon_0 = \varphi \cdot V_B$):

$$h_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot V_B^2 \cdot \rho_B}{2}, \quad (2.12)$$

Аналогично находятся:

1. Сопротивление дождя.
2. Сопротивление опорных балок оросителя.
3. Сопротивление выхода воздуха при скорости ветра $W = 3$ м/с и скорости выходящего воздуха $V = 2$ м/с.

Находим общую потерю аэродинамического напора:

$$h = \sum h. \quad (2.13)$$

Общий коэффициент аэродинамического сопротивления градирни:

$$\xi_{\text{общ}} = \frac{hV}{V_{\text{в.ор}}^2 \cdot \rho_B}. \quad (2.14)$$

Общее аэродинамическое сопротивление градирни:

$$Z' = \frac{\xi_{\text{общ}} V_{\text{ор}}^2 \cdot \rho_{\text{в.ср}}}{2}, \quad (2.15)$$

(для скоростей 0,7 и 1 м/с).

Величина тяги воздуха, определенная при высоте щитов оросителя 4 м и высоте башни H :

$$Z = (H_6 + 0,5h_{\text{ор}})(\rho_{\text{в}_1} - \rho_{\text{в}_2})q, \quad (2.16)$$

где H_6 – высота башни над верхом щитов; $\rho_{\text{в}_1}$ – плотность наружного воздуха; $\rho_{\text{в}_2}$ – плотность выходящего воздуха из градирни при $V_{\text{ор}}^2$ – средняя скорость воздуха, отнесенная к поперечному сечению оросителя.

Для определения искомой температуры охлажденной воды построить кривые сопротивления градирни и тяги воздуха, а также кривые температуры охлажденной воды в зависимости от скорости воздуха в оросителе.

Таблица 2.2

Параметры оросительных устройств

Но- мер вари- анта	Тип ороси- теля	Расстоя- ние между щитами в свету	Расход воды, м ³ /ч	Высота щитов ороси- теля, м	Пере- пад темпе- ратуры, °С	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность, %	Объем- ный вес воздуха, кг/м ³
1	КПДЩ- I	24	10000	4	8,4	25	54	1,153
2		28	9900		8,3			
3		32	9800		8,2			
4		36	9700		8,1			
5		40	9600		8,5			
6		44	9500		8,4			
7	КПДЩ- II	22	10000	4	8,4	25	54	1,153
8		24	9900		8,3			
9		28	9800		8,2			
10		32	9700		8,1			
11		36	9500		8,4			
12	ПАЩ-I одно- ярусный	20	10000	4	8,1	25	54	1,153
13		24	9900		8,2			
14		28	9800		8,3			
15		32	9700		8,4			
16		36	9600		8,5			
17	ПАЩ-I двух- ярусный	20	10000	4	8,3	25	54	1,153
18		24	9900		8,2			
19		28	9800		8,1			
20		32	9700		8,4			
21		34	9600		8,5			
22	ППЩ	22	10000	4	8,0	25	54	1,153
23		26	9900		8,2			
24		30	9800		8,1			
25		34	9700		8,3			
26		36	9600		8,4			

Окончание табл. 2.2

Но- мер вари- анта	Тип ороси- теля	Расстоя- ние между щитами в свету	Расход воды, м ³ /ч	Высота щитов ороси- теля, м	Пере- пад темпе- ратуры, °С	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность, %	Объем- ный вес воздуха, кг/м ³
27	Ороси- тель типа ППЯ	60	10000	4	8,0	25	54	1,153
28		70	9900		8,1			
29		80	9800		8,2			
30		90	9700		8,3			

Таблица 2.3

Расчет аэродинамического сопротивления градирни

Ном- ер вари- анта	Высота башни, м	Выбран- ный тип	Скорость орошения	Перепад	Сопро- тивле- ние дождя	Сопро- тивление выхода воздуха	Напор	Сопро- тивле- ние ороси- теля
1	50		1-5	0,05	<i>l</i> = 8 м	<i>W</i> = 3 м/с, <i>V</i> = 2 м/с	0,05	
2	49,5			0,06				
3	49			0,07				
4	48,5			0,08				
5	48			0,09				
6	47,5			0,095				
7	47		6-10	0,05		0,07		
8	47,5			0,07				
9	48			0,09				
10	49		11-15	0,11			0,09	
11	48,5			0,13				
12	49,5			0,05				
13	50			0,055				
14	49,5			0,06				
15	49,4			0,065				
16	49,3			0,07				
17	49,0	16-20	0,075			0,11		

Но- мер вари- анта	Высота башни, м	Выбран- ный тип	Скорость орошения	Перепад	Сопро- тивле- ние дождя	Сопро- тивление выхода воздуха	Напор	Сопро- тивле- ние ороси- теля
18	48,0			0,079	$l = 8 \text{ м}$	$W = 3 \text{ м/с}$ $V = 2 \text{ м/с}$	0,13	
19	47,0			0,08				
20	46,0			0,09				
21	45,0			0,1				
22	45,5		21–25	0,11				
23	46,4			0,12				
24	47,0			0,13				
25	47,2			0,14				
26	47,4			0,15				
27	48,6		26–30	0,05				
28	46,4			0,08				
29	46,1			0,11				
30				0,14				
				0,15				

Контрольные вопросы

1. Элементы системы производственного водоснабжения.
2. Испарительные и поверхностные охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения.
3. Перечислите достоинства и недостатки башенных, вентиляторных и радиаторных градирен.
4. Из каких основных элементов состоит башенная градирня?
5. Алгоритм теплового расчета башенных градирен.
6. Аэродинамические сопротивления градирен.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: изучить принцип работы поршневых и турбокомпрессорных установок, получить практические знания по оценке работы компрессорной установки.

1. Теоретическая часть

Компрессорами называют машины, предназначенные для сжатия и перемещения газов по трубопроводам.

По принципу действия все компрессоры можно разделить на две большие группы:

- динамические;
- объемные.

В машинах объемного принципа действия рабочий процесс осуществляется в результате изменения объема рабочей камеры. Основные из них: поршневые, винтовые, роторно-шестеренчатые, мембранные, жидкостно-кольцевые и др.

В компрессорах динамического принципа действия газ сжимается в результате подвода механической энергии от вала и дальнейшего взаимодействия рабочего вещества с лопатками ротора. В зависимости от направления движения потока и типа рабочего колеса такие машины подразделяют на центробежные и осевые.

Классификация систем воздухообеспечения:

- система низкого давления (2–3 атм.);
- система среднего давления (6–9 атм.);
- системы высокого давления (от 20 атм. и выше).

Компрессорные установки, выполненные на базе поршневых компрессоров, предназначены для производств, в которых потребителям воздуха требуется воздух высокого давления и в небольшом количестве (при малых расходах). Для повышения давления воздуха используются многоступенчатые компрессоры. После каждой ступени могут быть установлены промежуточные холодильники.

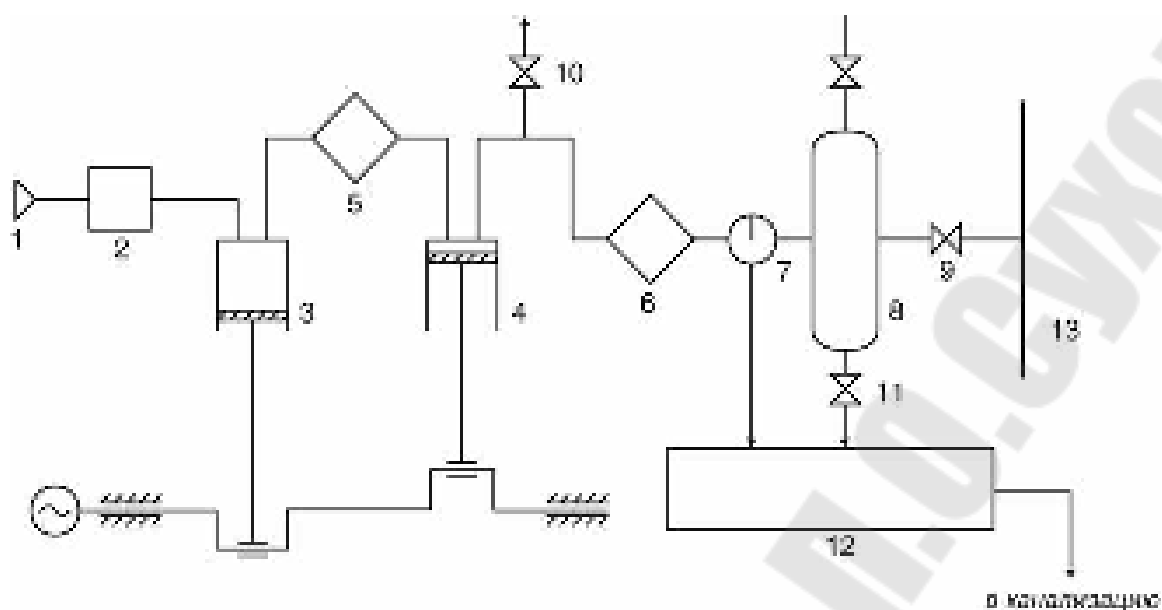


Рис. 3.1. Поршневая компрессорная установка:

- 1 – всасывающее устройство; 2 – фильтр; 3 – первая ступень компрессора;
 4 – вторая ступень компрессора; 5 – межступенчатый холодильник;
 6 – конечной холодильник; 7 – влагомаслоотделитель; 8 – ресивер;
 9 – магистральный вентиль; 10 – пусковой вентиль; 11 – выпускной вентиль;
 12 – сборный бак; 13 – магистраль

Схема работает следующим образом (рис. 3.1). Поршневой компрессор, приводимый в движение электродвигателем, через воздухозаборное устройство 1 засасывает атмосферный воздух. Пройдя по прямому участку трубопровода, воздух попадает в фильтр 2, где очищается от примеси атмосферной влаги и пыли. Далее, проходя через всасывающий трубопровод, воздух попадает в первую ступень компрессора 3. После сжатия, через обратный клапан и промежуточный трубопровод, воздух нагнетается в межтрубное пространство промежуточного охладителя 5. Из охладителя воздух всасывается второй ступенью компрессора 4 и через нагнетательный трубопровод подается в межтрубное пространство конечного охладителя 6. После охлаждения воздух поступает в влагомаслоотделитель 7 и далее в воздухо-сборник 8, предназначенный для снижения пульсации воздуха и резервирования его части. Из воздухо-сборника воздух по магистральному трубопроводу 13 поступает в воздушную сеть предприятия и к потребителю.

Через продувочный бак 12 осуществляется слив конденсата из конечного охладителя и влагомаслоотделителя. Кроме того, схема компрессорной установки должна содержать:

- а) предохранительные клапана (сброс излишка воздуха);
- б) запорные задвижки (предназначены для переключений, отключений, вывода в ремонт элементов компрессорной установки);
- в) обратный клапан (предназначен для избежания утечек воздуха из сети при отключении компрессора);
- г) разгрузочный вентиль (предназначен для сброса воздуха и облегчения пуска компрессорной установки).

Турбокомпрессоры – динамические машины, в которых сжатие газа происходит в результате взаимодействия потока с вращающейся и неподвижной решетками лопастей.

Принципиальная схема турбокомпрессорной установки, построенной на базе центробежных компрессоров, имеет вид (рис. 3.2):

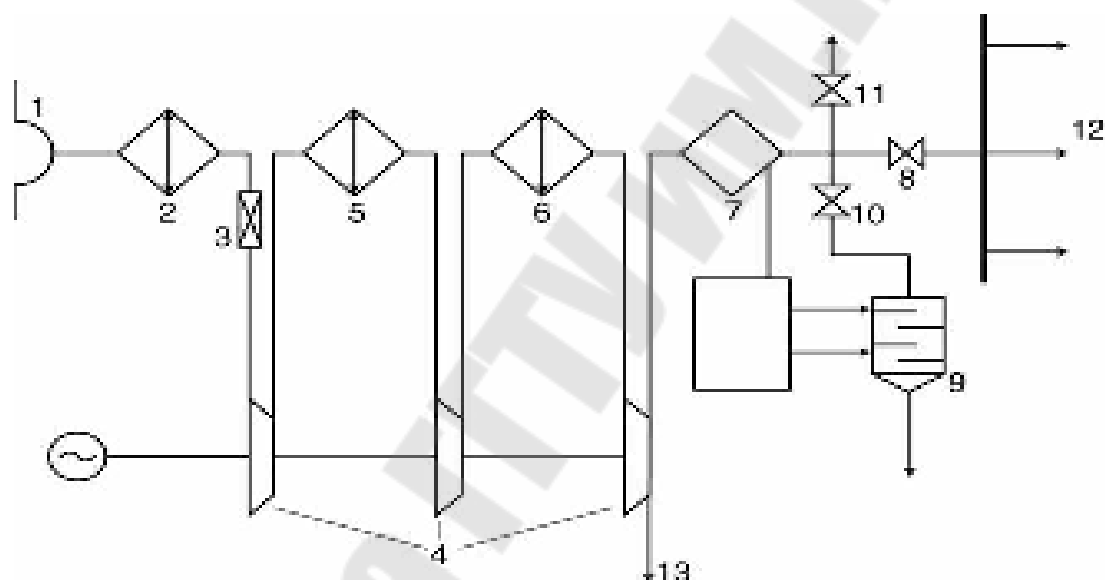


Рис. 3.2. Турбокомпрессорная компрессорная установка:
 1 – воздухоприемник; 2 – фильтр; 3 – дроссельный клапан;
 4 – секции компрессора; 5 – межсекционный холодильник;
 6 – промежуточный холодильник; 7 – концевой холодильник;
 8 – обратный клапан; 9 – глушитель; 10 – антипомпажный клапан;
 11 – выхлопная задвижка; 12 – напорный коллектор; 13 – промежуточный отбор

Компрессорные установки, построенные на базе центробежных компрессоров, используются в производстве с большим расходом воздуха и малых давлениях.

Атмосферный воздух засасывается через воздухоприемник 1 и проходит предварительную очистку в фильтре 2. Между второй и первой ступенью компрессора устанавливается дроссельный клапан 3, связанный с регулятором давления. Это позволяет поддерживать по-

стоянное давление в напорном коллекторе 12 путем открытия или закрытия дроссельной заслонки на входе. Затем воздух поступает в первую секцию турбокомпрессора и далее через межсекционный холодильник 5 во вторую ступень компрессора. После второй секции компрессора, пройдя через промежуточный холодильник 6 и третью секцию компрессора, воздух поступает в концевой холодильник 7. После концевого холодильника воздух поступает в напорную линию 12. На участке сети от концевого холодильника до напорной линии устанавливается обратный 8, антипомпажный 10 клапана и выхлопная задвижка 11. Антипомпажный клапан открывается автоматически при уменьшении потребления воздуха, часть воздуха при этом сбрасывается в атмосферу через глушитель 9. При необходимости получить воздух низкого давления возможен промежуточный отбор воздуха 13 с любой из секций компрессора. Для ручной регулировки сброса воздуха и запуска компрессора в случае одновременной параллельной работы нескольких установок в сеть предназначена выхлопная задвижка 11.

В системе воздухообеспечения, построенной на базе центробежных компрессоров, отсутствует воздухоотделитель (нет пульсаций, и воздухопроводы большого диаметра выполняют роль ресивера), а также влагомаслоотделитель.

Компрессоры, независимо от принципа действия, подразделяются по основным эксплуатационным параметрам – давлению и подаче.

По давлению компрессоры подразделяются на:

- низкого давления – 0,2–1,0 (МПа);
- среднего давления – 1,0–10,0 (МПа);
- высокого давления – 10–100 (МПа).

По назначению подачи компрессора делятся на:

- малые – до 0,015 м³(с) – до 0,9 м³(мин);
- средние – от 0,015 до 1,5 м³(с) – до 0,9–90 м³(мин);
- крупные – свыше 1,5 м³(с) – свыше 90 м³(мин).

Выбор типа конструкции компрессоров зависит от конкретных условий.

Степень повышения давления представляет собой отношение давлений p_1 и p_2 на всасывании и нагнетании, соответственно:

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1} . \quad (3.1)$$

Так, при $\varepsilon < 1,15$ – это вентиляторы, $\varepsilon > 1,15$ – нагнетатели (компрессоры).

Ниже приведена зависимость заданной степени сжатия $\varepsilon = \frac{p_2}{p_1}$ от числа ступеней.

Таблица 3.1

Зависимость ε от числа ступеней

Число ступеней	ε
1	1–6
2	6–30
4	30–100
5	100–150
6 и более	150

2. Описание установки

Для проведения лабораторной работы используем компрессоры высокого давления, установленные на заводе «Центролит».

3. Порядок работы в компрессорной

К работе в компрессорной допускаются лица, изучившие инструкцию и получившие инструктаж по технике безопасности при работе на компрессорных установках.

В компрессорную высокого давления допуск студентов производится с руководителем работы и персоналом компрессорной станции.

4. Обработка данных, полученных на компрессорных установках

Результаты замеров по работе поршневого компрессора заносим в таблицу измерений.

Таблица 3.2

Результаты измерений по работе поршневого компрессора

Номер	Наименование параметров	Размерность	Параметр	Паспортные данные
1	Производительность компрессора	м ³ /мин		

Номер	Наименование параметров	Размерность	Параметр	Паспортные данные
2	Давление по ступеням: ступень ступень ступень ступень ступень	кгс/см ²		
3	Температура по ступеням: ступень ступень ступень ступень ступень	°С		

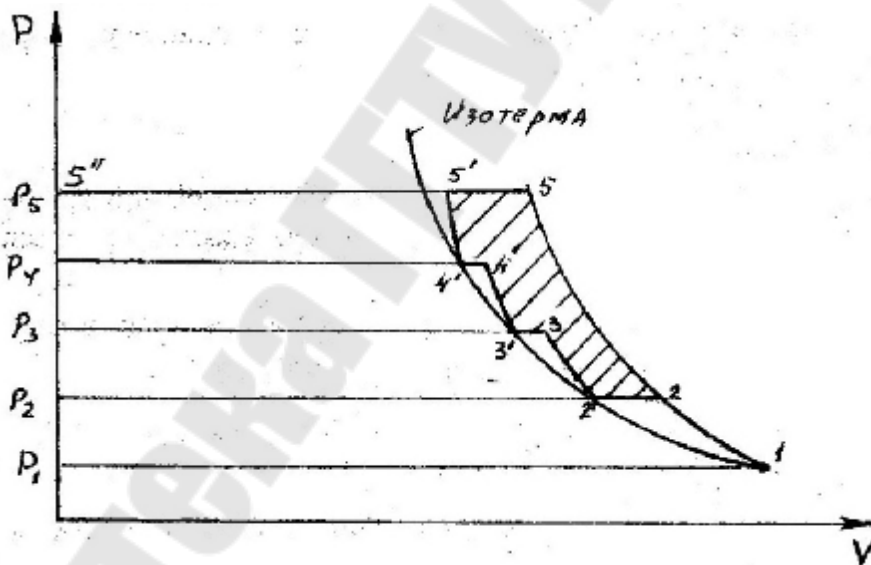


Рис. 3.3. Диаграммы сжатия в компрессоре

Сравнивая диаграммы одноступенчатого и шестиступенчатого сжатия (рис. 3.3), можно отметить, что уменьшение работы сжатия в последнем случае является менее энергоемким.

Выполняя сравнение фактических данных с паспортными, следует сделать вывод об экономичности работы компрессора.

Контрольные вопросы

1. Какие типы компрессоров по принципу действия Вы знаете?
2. Принцип действия поршневого компрессора.
3. Что такое степень сжатия и как подразделяются компрессоры по давлению?
4. Расскажите о назначении охлаждения компрессора.
5. Как классифицируются компрессоры по производительности?
6. Принцип действия турбокомпрессорной установки.

Лабораторная работа № 4
**ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
КИСЛОРОДНОЙ СТАНЦИИ**

Цель работы: получить практические знания по оценке работы кислородной станции.

1. Теоретическая часть

В промышленном производстве кислород широко используется в качестве интенсификатора технологических процессов. За счет применения кислорода снижается удельный расход топлива, повышается качество выпускаемой продукции и степень полезного теплоиспользования в технологических процессах.

Промышленные установки для получения газообразного кислорода по производительности классифицируются следующим образом:

- малой ($8,3 \cdot 10^{-3} - 6,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$);
- средней ($8,3 \cdot 10^{-2} - 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$);
- высокой ($V_{\text{O}_2} > 1,39 \text{ м}^3/\text{с}$).

На установках средней и высокой производительности предусматривается возможность получения ряда инертных газов (аргон, ксенон и др.).

Согласно ГОСТ 5583–78 газообразный кислород получают трех сортов с чистотой:

- 1-й сорт – 99,7 % O_2 (не менее)
- 2-й сорт – 99,5 % O_2 (не менее)
- 3-й сорт – 99,2 % O_2 (не менее)

Основным элементом таких установок служит ректификационная колонна двойной ректификации (обведена штриховой линией), которая состоит из трех частей – нижней (первой) колонны V, верхней (второй) колонны VI и конденсатора-испарителя VII (рис. 4.1).

В малых и средних установках эти аппараты объединены.

Принцип работы этих аппаратов в обоих случаях остается неизменным. Нижняя (первая) колонна V служит для предварительного разделения воздуха на легкокипящий компонент (азот) и обогащенную до 36–38 % O_2 жидкость. Воздух при температуре насыщения и давлении $P_{\text{н.к}} = 0,48\text{--}0,52 \text{ МПа}$ поступает в нижнюю часть колонны (испаритель). Таким образом, колонна V представляет собой концентрационную часть полной ректификационной колонны.

Полученные продукты разделения – жидкий азот частично (другая часть его используется для орошения нижней колонны) и обогащенный кислородом воздух полностью через дроссельные вентили IX и X подаются в верхнюю (вторую) колонну. Под давлением $P_{в.к} = 0,14–0,16$ МПа (нужным для преодоления гидравлического сопротивления теплообменников, при выпуске продуктов разделения из установки) происходит полное разделение обогащенного кислородом воздуха на кислород и азот. В нижней части колонны VI (конденсаторе-испарителе) собирается кипящий кислород, откуда он может отводиться либо в газообразном (кг), либо в жидком (кж) состоянии. Из верхней части колонны отводится газообразный (Аг) либо жидкий (Аж) азот.

Теплопередача в конденсаторе-испарителе VII от конденсирующего в колонне V азота к кипящему в колонне VI кислороду обеспечивается тем, что давление в нижней колонне выше, чем в верхней, поэтому температура конденсации азота выше на 1,5–3 К, чем температура кипения кислорода. Газообразные продукты разделения – кислород Кг и азот Аг – из колонны поступают в теплообменник III, в котором нагреваются, охлаждая поступающий воздух. В некоторых случаях газообразный сжатый кислород из установки получают посредством насоса жидкого кислорода XI. Кислород отбирается из конденсатора в жидком состоянии и насосом прокачивается под необходимым давлением (обычно до 16 или 20 МПа) через теплообменник III, где испаряется, нагревается и затем подается потребителю.

Система криообеспечения в установках среднего и высокого давления воздуха чаще всего содержит в СПО детандер IV. Роль, аналогичную СОО в ожижителях, исполняют дроссельные вентили VIII–X.

Детандер – машина для охлаждения газа путем его расширения с совершением (отдачей) внешней работы. Используется в установках для охлаждения и сжижения газов и разделения газовых смесей, в криогенных рефрижераторах и ожижителях. В детандере энергия сжатого газа, превращаясь в механическую работу, сопровождается понижением температуры этого газа. По принципу действия детандеры разделяют на поршневые и турбинные (турбодетандеры).

Поршневые детандеры – машины объемного периодического действия, в которых внутренняя энергия газа при его расширении преобразуется во внешнюю работу, перемещая поршень. Применяются в установках с холодильными циклами высокого (15–20 МПа) и среднего (2–8 МПа) давления.

Турбодетандеры – машины кинетического действия, в которых поток газа проходит через неподвижные направляющие каналы (сопла), превращая внутреннюю энергию газа в кинетическую, и систему вращающихся межлопаточных каналов ротора, где энергия потока преобразуется в механическую работу, в результате чего понижается температура газа.

2. Описание установки

Для проведения лабораторной работы используем кислородную станцию типа Кж Аж – 0,04, установленную на заводе «Центролит».

3. Порядок работы на кислородной станции

К работе на кислородной станции допускаются лица, изучившие инструкцию и получившие инструктаж по технике безопасности при работе на кислородных установках.

На кислородную станцию допуск студентов производится с руководителем работы и персоналом кислородной станции.

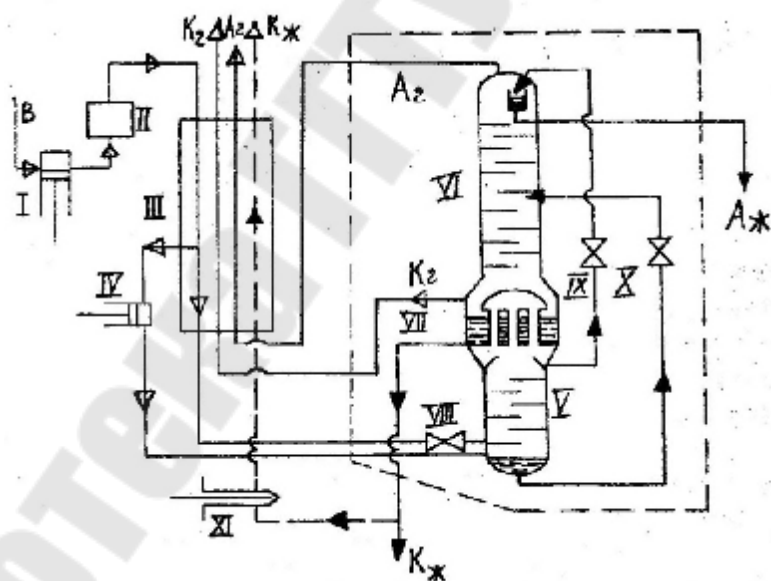


Рис. 4.1. Принципиальная схема воздухоразделительной установки высокого (среднего) давления воздуха:

- I – компрессор; II – система очистки воздуха от CO_2 и осушки;
- III – регенеративный теплообменник; IV – детандер; V – нижняя (первая) ректификационная колонна; VI – верхняя (вторая) ректификационная колонна;
- VII – конденсатор-испаритель; VIII – воздушный дроссельный вентиль;
- IX – азотный дроссельный вентиль; X – дроссельный вентиль жидкости испарителя; XI – насос жидкого кислорода

4. Обработка данных, полученных на кислородной станции

Результаты замеров по работе кислородной станции заносим в таблицу измерений.

Таблица 4.1

Результаты замеров параметров работы кислородной станции

Номер	Наименование параметров	Размерность	Величина параметра	Паспортные данные
1	Давление воздуха на входе в блок очистки и осушки	кгс/см ²		
2	Давление: – в колонне I – в колонне II	кгс/см ²		
3	Уровень: – в колонне I – в колонне II	мм		
4	Давление O ₂ на выходе из насоса жидкого кислорода	кгс/см ²		
5	Чистота кислорода	%		
6	Производительность	кг/ч		

Сравнивая полученные данные с паспортными, делаем вывод о работе кислородной станции.

Контрольные вопросы

1. Какие типы кислородных установок Вы знаете?
2. Раскройте принцип работы детандера и его назначение в схеме кислородной станции.
3. Назначение и принцип действия установки по очистке и осушке воздуха.
4. Раскройте принцип работы кислородной станции.
5. Назначение кислорода для промышленного применения и требования к его качеству.
6. Назначение азота для промышленного применения.
7. Принцип действия насоса жидкого кислорода.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1

Характеристика фильтров газовых

Фильтр	Входное давление, кгс/см ² , не более	Допустимая пропускная способность, м ³ /ч при входном давлении, кгс/см ²						Размеры, мм			Масса, кг
		0,5	1	2	3	6	12	L	H	Ширина	
Сетчатый											
ФС-25	16	125	145	175	205	270	370	160	198	115	5,8
ФС-40	16	260	305	370	430	570	770	200	245	145	8,8
ФС-50	6	375	430	530	610	810	–	250	290	160	14
ФСС-40	6	460	585	655	755	1000	–	–	–	–	–
ФСС-50	6	525	1070	1310	1510	2000	–	–	–	–	–
Волосяной кассетный литой											
ФВ-80	12	540	625	765	880	1170	1600	280	325	386	51
ФВ-100	12	770	890	1090	1257	1665	2270	280	348	410	57
ФВ-200	12	3000	3500	4250	1900	5500	8870	280	478	584	145
Волосяной кассетный сварной											
ФГ7-50-6	6	–	2500	3600	1500	7000	–	600	525	435	67
ФГ9-50-12	12	–	2500	3600	1500	7000	9000	600	585	460	94

Окончание табл. П.1.1

Фильтр	Входное давление, кгс/см ² , не более	Допустимая пропускная способность, м ³ /ч при входном давлении, кгс/см ²						Размеры, мм			Масса, кг
		0,5	1	2	3	6	12	L	H	Ширина	
ФГ15-100-6	6	–	7000	10000	1000	15000	–	850	1100	535	125
ФГ19-100-12	12	–	–	–	–	–	19000	–	–	580	200
ФГ36-200-6	6	–	21000	26000	29000	36000	–	1000	1620	860	400
ФГ46-200-12	12	–	–	–	–	–	46000	–	–	910	567
ФГ80-300-6	6	–	50000	58000	66000	80000	–	1400	1900	1175	840
ФГ100-300-12	12	–	–	–	–	–	100000	–	–	1255	1157
Пылеуловитель висциновый											
D _y 700 (ПС-2981)	55	–	–	–	–	9500	17000	1650	1230	880	600
D _y 300 (ПС-2980)	55	–	–	–	–	1700	3500	690	670	325	95

Примечания. 1. Первое число после обозначения фильтра – условный диаметр, мм; второе – входное давление, кгс/см². 2. Пропускная способность указана при перепаде давления на фильтрах, кгс/м²: сетчатых – 250, волосяных – 500 (на фильтрах ФГ – 300 – при перепаде 200). 3. Фильтр ФГ-50 не имеет опорных стоек. 4. Фильтры ФГ19-100-12, ФГ36-200-6 и ФГ46-200-12 имеет приспособления для подъема крышек. 5. Фильтры ФВ-100 и ФВ-200 ПО «Моспромстроймеханизация» рассчитаны на P_y = 10 кгс/см².

Приложение 2

Таблица П.2.1

Основные характеристики регуляторов давления

Наименование	Обозначение	Dy, мм	Диаметр седла, мм	Давление, кгс/см ²		Пропускная способность, м ³ /ч, при входном давлении, кгс/см ²				Масса, кг	
				входное, не более	выходное, в пределах	1	3	6	12		
Регулятор давления сжиженного газа	РДСГ1-0,5	15	1,6	16	0,02–0,036	0,75	1,5	–	–	0,24	
	РДСГ1-1,2		2			1,8	3,5	–	–	0,52	
Регулятор давления газа	РДГ-6	15	1,6	16	0,02–0,036	0,75	1,5	–	–	0,68	
	РДГ-8		2			1,8	3,6	–	–	0,65	
Регулятор давления газа домовый	РДГД - 20	20	–	3	0,02–0,025	45	80	–	–	5,0	
Регулятор низкого давления	РД-32 М/С	32	6	16	0,009–0,02	25	55	105	–	8,0	
	РД-32 М/С		10			45	100	–	–		
	РД-32 М/Ж	6	4		0,02–0,035	7	18	31	65		
	РД-32 М/Ж		6			16	32	62	–		
	РД-50 М/С	50	15		РД-50 М/С	167	375	717	–		18
	РД-50 М/С		20			270	610	–	–		
	РД-50 М/С		25			363	–	–	–		
	РД-50 М/Ж	8	8		0,02–0,035	32	69	125	231		
	РД-50 М/Ж		11			66	132	228	–		
	РНД-100	100	40		3	0,0035–0,03	1500	3000	–		–

Продолжение табл. П. 2.1

Наименование	Обозначение	Dy, мм	Диаметр седла, мм	Давление, кгс/см ²		Пропускная способность, м ³ /ч, при входном давлении, кгс/см ²				Масса, кг
				входное, не более	выходное, в пределах	1	3	6	12	
	РНД-150	150	60	6	0,01–0,1	3500	7000	–	–	200
	РНД-200	200	85			7000	14000	–	–	330
Регулятор среднего давления	D _y 32	32	10	6	0,1–1,1	40	90	160	–	130
	D _y 50	50	25			320	720	1260	–	260
Регулятор давления универсальный конструкции Казанцева	РДУК2Н-50	50	35	12	0,005–0,6	900	1790	3125	5800	45
	РДУК2Н-100	100	50			1420	2840	4970	9200	80
	РДУК2Н-100	100	70			2825	5650	9900	18350	80
	РДУК2Н-200	200	105			5880	11800	20225	38000	300
	РДУК2Н-200	200	140			6	9500	19000	33340	–
	РДУК2В-50	50	35	12	0,6–6,0	720	1790	3125	5800	45
	РДУК2В-100	100	50			1200	2840	4970	9200	80
	РДУК2В-100	100	70			2300	5650	9900	18350	80
	РДУК2В-200	200	105			4700	11800	20550	38000	300
Регулятор давления блочный конструкции Казанцева	РДБК1-25	25	21	16	0,01–0,6	310	620	1080	2000	26
	РДБК1-50	50	35			900	1790	3125	5800	36
	РДБК1-100	100	50	12	0,6–6,0	1420	2840	4970	9200	93
	РДБК1-100	100	70			2825	5650	9900	18350	93
	РДБК1П-25	25	21	16	0,3–6,0	250	620	1080	2000	23
	РДБК1П-50	50	35			720	1790	3125	5800	36

Окончание табл. П.2.1

Наименование	Обозначение	Dy, мм	Диаметр седла, мм	Давление, кгс/см ²		Пропускная способность, м ³ /ч, при входном давлении, кгс/см ²				Масса, кг
				входное, не более	выходное, в пределах	1	3	6	12	
	РДБК1П-100	100	50	12		1200	2840	4570	9200	89
	РДБК1П-100	100	70			2300	5650	9900	18350	89
Регулятор среднего давления	РДС-80	80	34	12	0,005–6,0	1300	2600	4570	8500	186
	РДС-100	100	42			1860	3700	6460	12000	236
	РДС-150	150	62	6–10		4850	9600	16800	–	237
	РДС-200	200	90			9100	18000	31600	–	336
	РДС-300	300	140			22000	43000	–	–	596
Регулятор давления	РД-25-64	25	16	64	2,5–25	–	–	300	560	28
	РД-25-64	25	20			–	–	720	1340	28
	РД-40-64	40	20			–	–	720	1340	54
	РД-40-64	40	32			–	–	1900	3580	54
	РД-50-64	50	45	64	1,5–10 или 12–16	–	–	3000	5600	106
	РД-80-64	80	70			–	–	7200	13400	135
	РД-100-64	100	85			–	–	12000	22400	215

Примечания: 1. Регуляторы низкого и среднего давления Dy 32 и 50 поставляются только в комплекте шкафного ГРП типа ШРУ. 2. У регуляторов РД-32М и РД-50М индекс «С» – сетевой газ, «Ж» – сжиженный газ. 3. Пропускная способность приведена при выходном давлении: для РДУК2В, РДБК1П и клапанов регулирующих – 0,6 кгс/см², для РД-64 – 3 кгс/см², для остальных – менее 0,05 кгс/см², а также плотности газа ρ = 2,2 кг/м³ для РДСГ, РДГ, РД – 32М/Ж и РД – 50 М/Ж и ρ = 0,73 кг/м³ – для остальных.

Приложение 3

Таблица П.3.1

Основные характеристики предохранительных запорных клапанов

Наименование	Шифр	Давление на входе, кгс/см ² , не более	Предел настройки контролируемого давления, кгс/см ²	
			верхний	нижний
Предохранительный клапан (для ГРП с выходным низким давлением)	ПК-80	12	0,004–0,006	0,036–0,1
	ПК-100			
	ПК-150			
	ПК-200			
	ПК-300			
Предохранительный клапан (для ГРП с выходным средним давлением)	ПК-80	12	0,015–0,03	0,1–1,5
	ПК-100			
	ПК-150			
	ПК-200			
	ПК-300			
Предохранительный запорный клапан	ПЗК _н	12	0,003–0,005	0,02–0,04
	ПЗК _н		0,003–0,005	0,02–0,04
	ПЗК _с		0,015–0,03	0,1–1,5
	ПК _н	6	0,003–0,03	0,02–0,6
	ПК _н			
	ПК _н			

Окончание табл. П.3.1

Наименование	Шифр	Давление на входе, кгс/см ² , не более	Предел настройки контролируемого давления, кгс/см ²	
	ПКВ ПКВ ПКВ	12	0,03–0,3	0,3–6,0
Запорный клапан	КПН КПН	12	0,003–0,03	0,02–0,7
	КПВ КПВ		0,03–0,2	0,3–0,7

Приложение 4

Таблица П.4.1

Основные характеристики предохранительных сбросных устройств

Наименование	Тип	Давление на входе, не более кгс/см ²	Диапазон настройки, кгс/см ²	Масса, кг
Клапан предохранительный специальный полноподъемный пружинный с рычагом для контрольной продувки	СППК4Р-25	40	4,5–40	28
	СППК4Р-50	16	0,5–16	30
	СППК4Р-80	16	0,5–16	40
	СППК4Р-100	16	0,5–16	55
	СППК4Р-150	16	0,5–16	123
	СППК4Р-200	16	0,5–16	250
Клапан предохранительный малоподъемный пружинный цапковый	17с11нж (D_y 15)	16	2–16	2,6
	17с11нж (D_y 25)	16	2–16	5,6
Клапан предохранительный сбросной малоподъемный	ПСК-50Н	1,23	0,01–0,05	6,2
	ПСК-50С	1,23	0,2–0,5	
	ПСК-50В	1,23	0,5–1,2	
	ПСК-50Н/0,05	1,25	0,02–0,05	5,7
	ПСК-50С/0,5	1,25	0,2–0,5	
	ПСК-50С/0,25	1,25	0,5–1,25	

Окончание табл. П.4.1

Наименование	Тип	Давление на входе, не более кгс/см ²	Диапазон настройки, кгс/см ²	Масса, кг
Клапан предохранительный сбросной малоподъемный	П117 (D_y 15)	1,15	0,02–1,25	3,5
Клапан предохранительный сбросной полноподъемный	ПСПК-50	1,25	0,02–1,25	11,5

Примечания: 1. Число после шифра ПСУ – условный диаметр входного и выходного патрубка (для СППК4Р – условный диаметр входного патрубка). 2. ПСПК-50 изготавливается индивидуально по чертежам Мосгазниипроекта. 3. П117 поставляется только в комплекте шкафного ГРП типа ШРУ.

**Максимальная упругость паров воды
при температуре выше 0 °С, мм рт. ст.**

Градусы, °С	Десятые градуса									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,78	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,52	5,56	5,60	5,64
3	5,68	5,72	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,96
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,56	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,04	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,84	8,90	8,96	9,02	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,58	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,08	11,16
13	11,23	11,30	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,06	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,20	13,29	13,38	13,45	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,68	16,79	16,89	17,00	17,10	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,08	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,76	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,56	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,84	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,78	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,64	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,18
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,52	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,74	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64

Градусы, °С	Десятые градуса									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,86	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,15	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	44,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	51,16
39	52,44	52,72	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
<i>Лабораторная работа № 1. Настройка оборудования и испытание газорегуляторного пункта.....</i>	<i>4</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Исследование работы системы оборотного водоснабжения</i>	<i>12</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Изучение режимов работы компрессорных установок</i>	<i>22</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Изучение режимов работы кислородной станции.....</i>	<i>29</i>
Приложения	33

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

**Составители: Широглазова Наталья Владимировна
Кидун Наталья Михайловна**

Редактор *А. В. Власов*
Компьютерная верстка *И. П. Минина*

Подписано в печать 23.03.18.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,70.
Изд. № 13.
<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель