



Министерство образования Республики Беларусь

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

Институт повышения квалификации
и переподготовки

Кафедра «Электроснабжение»

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

ПОСОБИЕ

**по одноименной дисциплине
для слушателей специальности
переподготовки 1-43 01 78 «Диагностика
и техническое обслуживание
энергооборудования организаций»
заочной формы обучения**

Гомель 2021

УДК 621.3.05(075.8)
ББК 31.27я73
С40

*Рекомендовано кафедрой «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 02.12.2020 г.)*

Рецензент: каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *М. Н. Погуляев*

С40 **Системы** передачи и распределения энергии : пособие по одной дисциплине для слушателей специальности переподготовки 1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организаций» заоч. формы обучения / сост.: П. В. Лычев, Н. В. Широглазова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 25 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: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Курс «Системы передачи и распределение энергии» является одной из базовых дисциплин для специальности 1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организаций», который изучает вопросы передачи электроэнергии от ее источников к потребителям и распределения ее между электроприемниками, а также производства энергоносителей и их распределения между производственными технологиями.

В предлагаемом пособии рассмотрены задачи по определению потерь мощности и электроэнергии в воздушных и кабельных линиях и трансформаторах, напряжений в них. Представлены методики гидравлического расчета газопровода, охлаждающей способности градирни.

УДК 621.3.05(075.8)
ББК 31.27я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2021

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Системы передачи и распределения электрической энергии (СПиРЭЭ) предназначена для передачи электроэнергии от ее источников к потребителям и распределения ее между электроприемниками. Она состоит из линий электропередачи, трансформаторных подстанций и питающихся от них приемников электрической энергии. Состояние СПиРЭЭ в некотором интервале времени называется режимом. Режим характеризуется определенными показателями, изменяющимися при изменении режима и называемыми параметрами режима. К ним относятся напряжения в точках СПиРЭЭ, токи или мощности в её элементах. Критериями оценки экономичности системы является потери активной мощности и электрической энергии.

В этой части пособия рассматриваются простейшие задачи по определению потерь мощности и электроэнергии в воздушных и кабельных линиях и трансформаторах, а также напряжений в них.

Задача 1. Кабельная линия напряжением 10 кВ протяжённостью 0,8 км, выполненная кабелем ААБ-3(1×120), питает цех, мощность нагрузки которого 1500 кВт, а коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,9$. Определить потери мощности в линии и напряжение в конце линии, если в начале линии $U_1 = 10,3$ кВ.

Решение. Из параметров схемы замещения следует учитывать только активное и реактивное сопротивления, удельные значения которых найдём по таблице [6, табл. 1.4]:

$$r_0 = 0,259 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,081 \text{ Ом/км};$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,258 \cdot 0,8 = 0,206 \text{ Ом}; X_l = x_0 \cdot l = 0,081 \cdot 0,8 = 0,065 \text{ Ом}.$$

Найдём потери активной мощности:

$$P = \frac{P^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} X_l = \frac{1500^2}{10^2 \cdot 0,9^2} 0,206 \cdot 10^3 = 5,7 \text{ кВт}.$$

Найдём потери реактивной мощности:

$$Q = \frac{P^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} X_l = \frac{1500^2}{10^2 \cdot 0,9^2} 0,65 \cdot 10^{-3} = 1,8 \text{ квар}.$$

Напряжение в конце линии определяем через потерю напряжения, используя также допущения расчёта распределительных сетей о равенстве мощностей в начале и конце линии:

$$U_2 = U_1 - \frac{PR_l + QX_l}{U_n} = 10,3 - \frac{1500 \cdot 0,206 + 726,5 \cdot 0,065}{10} = 10,264 \text{ кВ.}$$

$$\text{Здесь } Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 1500 \cdot 0,484 = 726,5 \text{ квар.}$$

Задача 2. По двум линиям напряжением 10 кВ и длиной 1 км от одного источника получает электроэнергию потребитель мощностью $P = 3,5$ МВт при $\cos \varphi = 1$. При этом одна линия выполнена кабелем ААБ-3(1 \times 95), а вторая – проводом АС-95/16.

Определить мощность, передаваемую по каждой линии и потери активной мощности в них и в электропередаче в целом.

Решение. В схему замещения линий 10 кВ достаточно ввести только их активное и реактивное сопротивления. Их значения возьмём из таблиц [6, табл. 1.1, табл. 1.4]

$$r_{0вл} = 0,311 \text{ Ом/км; } x_{0вл} = 0,356 \text{ Ом/км;}$$

$$r_{0кл} = 0,326 \text{ Ом/км; } x_{0кл} = 0,083 \text{ Ом/км;}$$

$$R_{вл} = r_{0вл} \cdot l = 0,311 \text{ Ом; } X_{вл} = x_{0вл} \cdot l = 0,356 \text{ Ом;}$$

$$R_{кл} = r_{0кл} \cdot l = 0,326 \text{ Ом; } X_{кл} = x_{0кл} \cdot l = 0,083 \text{ Ом.}$$

Найдём общее сопротивление двух параллельно работающих линий

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_{вл} \cdot \underline{Z}_{кл}}{\underline{Z}_{вл} + \underline{Z}_{кл}} = \frac{(0,311 + j0,356)(0,326 + j0,083)}{(0,311 + j0,356) + (0,326 + j0,083)} = 0,18 + j0,098 \text{ Ом.}$$

Определяем мощность, передаваемую по кабельной и воздушной линиям:

$$\underline{S}_{кл} = P \frac{\underline{Z}}{\underline{Z}_{кл}} = 3,5 \frac{0,18 + j0,098}{0,326 + j0,083} = 2,08 + j0,53 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$\underline{S}_{вл} = P \frac{\underline{Z}}{\underline{Z}_{вл}} = 3,5 \frac{0,18 + j0,098}{0,311 + j0,356} = 1,42 - j0,53 \text{ МВ} \cdot \text{А.}$$

Из расчётов видно, что при равных сечениях проводников по линиям передаётся различная по величине мощность. Кроме того, несмотря на отсутствие реактивной составляющей мощности у нагрузки, по линиям циркулирует реактивная мощность.

Находим потери активной мощности в каждой линии

$$P_{вл} = \frac{P_{вл}^2 + Q_{вл}^2}{U_n^2} R_{вл} = \frac{1,42^2 + 0,53^2}{10^2} 0,311 \cdot 10^3 = 7,1 \text{ кВт;}$$

$$P_{кл} = \frac{P_{кл}^2 + Q_{кл}^2}{U_H^2} R_{кл} = \frac{2,08^2 + 0,53^2}{10^2} 0,326 \cdot 10^3 = 15,0 \text{ кВт.}$$

Общие потери составляют величину

$$P = P_{вл} + P_{кл} = 7,1 + 15,0 = 22,1 \text{ кВт.}$$

Нетрудно показать, что при выполнении обеих линий воздушными или кабельными одного сечения реактивные мощности по линиям циркулировать не будут.

Действительно, если обе линии воздушные

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{вл} / 2 = (0,311 + j0,356) / 2 = 0,156 + j0,178 \text{ Ом;}$$

$$\underline{S}_{вл-1} = \underline{S}_{вл-2} = P \frac{\underline{Z}}{\underline{Z}_{вл}} = 3,5 \frac{0,156 + j0,178}{0,311 + j0,356} = 1,75 + j0 \text{ МВ} \cdot \text{А.}$$

Потери активной мощности в каждой линии и общие будут равны

$$P_{вл-1} = P_{вл-2} = \frac{S_{вл-1}^2}{U_H^2} R_{вл} = \frac{1,75^2}{10^2} 0,311 \cdot 10^3 = 9,52 \text{ кВт;}$$

$$P = P_{вл-1} + P_{вл-2} = 9,52 + 9,52 = 19,04 \text{ кВт.}$$

Это меньше, чем в случае применения воздушной и кабельной линии того же сечения.

Задача 3. По двум параллельно работающим кабелям напряжением 10 кВ марки ААБ-3(1×70) и длиной 1,5 км получает электроэнергию предприятие с наибольшей мощностью $\underline{S}_{нб} = 1500 + j300$ кВА и временем использования наибольшей нагрузки $T_{нб} = 4600$ ч. Определить потери электроэнергии в линиях за год.

Решение. Потери электроэнергии найдем методом времени наибольших потерь.

Для рассматриваемого кабеля $r_0 = 0,443$ Ом/км [6, табл. 2.1]. Значит активное сопротивление кабельных линий

$$R_l = r_0 l / 2 = 0,443 \cdot 1,5 / 2 = 0,332 \text{ Ом.}$$

Находим время наибольших потерь

$$\tau = \cdot 8760 = \cdot 8760 = 2988 \text{ ч.}$$

Определяем потери электроэнергии

$$\Delta W = \frac{P_{нб}^2 + Q_{нб}^2}{U_n^2} R_{л}; \tau = \frac{1500^2 + 300^2}{10^2} \cdot 0,332 \cdot 2988 \cdot 10^{-3} = \dot{\iota}$$

23213 кВт·ч

Оценим величину этих потерь относительно энергии, переданной по кабелям за год

$$W = P_{нб} \cdot T_{нб} = 1500 \cdot 4600 = 6,9 \cdot 10^6 \text{ кВт·ч};$$

$$\frac{W}{W} \cdot 100 = \frac{23213}{6,9 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,34\%.$$

Задача 4. На подстанции установлен трансформатор ТМ-400/10. К обмотке низшего напряжения подключена нагрузка величиной $\underline{S} = 300 + j150$ кВА и подведено напряжение $U = 390$ В.

Определить подведенное напряжение к обмотке высшего напряжения при номинальном коэффициенте трансформации трансформатора и потери активной мощности в трансформаторе.

Решение

Параметры схемы замещения:

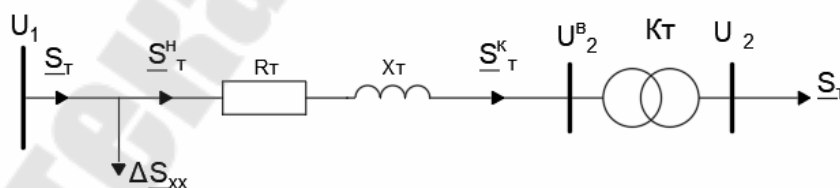


Рисунок 1. – Схема замещения трансформатора

Рассчитаем R_m, X_m :

$$R_m = \frac{P_k U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = 5,5 \cdot 10^3;$$

$$X_m = \frac{U_n U_{ном}^2}{100 S_{ном}} = 4,5,$$

где $\Delta P_x - \dot{\iota}$ потери активной мощности холостого хода

трансформатора ($P_x = 0,92 \text{ кВт}$ [6, табл.2.1]);

P_k – потери активной мощности короткого замыкания трансформатора ($P_k = 5,5 \text{ кВт}$ [6, табл.2.1]);

$U_{k,\%}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора ($U_{k,\%} = 4,5\%$ [6, табл.2.1]);

Определим подведенное напряжение к обмотке высшего напряжения

Номинальный коэффициент трансформации

$$K_m = \frac{U_{вн}}{U_{нн}} = \frac{10}{0,4} = 25$$

где $U_{вн}$ – номинальное напряжение обмотки высшего

напряжения ($U_{вн} = 10 \text{ кВ}$ [6, табл. 2.1]);

$U_{нн}$ – номинальное напряжение обмотки низшего

напряжения ($U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$ [6, табл. 2.1]).

Определим приведенное к высшей стороне напряжение U_2^s

$$U_2^s = U_2 \cdot K_m = 390 \cdot 25 = 9,75 \text{ кВ.}$$

Определим потерю напряжения в трансформаторе:

$$U_m = \frac{P_m R_m + Q_m X_m}{U_{вн}} = \frac{300 \cdot 3,438 + 150 \cdot 11,25}{10} = 0,272 \text{ кВ.}$$

Тогда

$$U_1 = U_2^s + U_m = 9,75 + 0,272 = 10,022 \text{ кВ.}$$

Определим потери активной мощности в обмотках трансформатора:

$$P_{обм} = \frac{P_m^2 + Q_m^2}{U_{вн}^2} R_m = \frac{300^2 + 150^2}{10^2} 3,438 = 3,868 \text{ кВт.}$$

Определим потери активной мощности в трансформаторе:

$$P_m = P_x + P_{обм} = 3,868 + 0,92 = 4,788 \text{ кВт.}$$

Задача 5. Сравнить потери электроэнергии в трансформаторах типа ТМ-1000/10 и ТМ-630/10 при наибольшей нагрузке $S_{нб} = 600$ кВА для двух значений времени использования наибольшей нагрузки $T_{нб1} = 3000$ ч. и $T_{нб2} = 6500$ ч.

Решение. Расчет потерь электроэнергии произведем методом времени максимальных потерь. Для заданных значений

$$t_1 = i \cdot 8760 = i \cdot 8760 = 1575 \text{ ч;}$$

$$t_2 = i \cdot 8760 = i \cdot 8760 = 5248 \text{ ч.}$$

Каталожные характеристики трансформаторов возьмем из таблиц [6, табл. 2.2]:

$$T1: \text{ТМ-1000/10} - \Delta P_{к1} = 11,9 \text{ кВт; } \Delta P_{x1} = 2,3 \text{ кВт;}$$

$$T2: \text{ТМ-630/10} - \Delta P_{к2} = 8,0 \text{ кВт; } \Delta P_{x2} = 1,55 \text{ кВт;}$$

Находим потери электроэнергии в трансформаторах при $T_{нб1} = 3000$ ч.

$$\Delta W_{1000} = \Delta P_{\kappa 2} \left(S_{H6} / S_{H1} \zeta^2 \cdot T_1 + \zeta \Delta P_{x2} \cdot T_{H61} \right) = 11,9(600/1000)^2 \cdot 1575 + 2,3$$

$$8760 = 6747 + 20148 = 26895 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta W_{630} = \Delta P_{\kappa 2} \left(S_{H6} / S_{H2} \zeta^2 \cdot T_1 + \zeta \Delta P_{x2} \cdot T_{H61} \right) = 8(600/630)^2 \cdot 1575 + 1,55 \cdot 8760 =$$

$$11429 + 13578 = 25007 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Видно, что здесь потери в трансформаторе мощностью 630 кВА меньше за счет более низких потерь холостого хода. При этом, если в нем нагрузочные потери и потери холостого хода примерно одинаковы, то в трансформаторе мощностью 1000 кВА первые почти в 3 раза меньше последних.

Определяем потери электроэнергии при $T_{H62} = 6500$ ч.

$$\Delta W_{1000} = \Delta P_{\kappa 1} \left(S_{H6} / S_{H1}^2 \cdot T_2 + \Delta P_{x1} \cdot T_{H62} \right) = 11,9(600/1000)^2 \cdot 5248 + 2,3 \cdot$$

$$8760 = 22482 + 20148 = 42630 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$\Delta W_{630} = \Delta P_{\kappa 2} \left(S_{H6} / S_{H2}^2 \cdot T_2 + \Delta P_{x2} \cdot T_{H62} \right) = 8(600/630)^2 \cdot 5248 + 1,55 \cdot 8760 = \zeta$$

$$38081 + 13578 = 51659 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В этом режиме трансформатор большей мощности имеет меньшие общие потери. В нем нагрузочные потери и потери холостого хода практически одинаковы. А вот в трансформаторе мощностью 630 кВА нагрузочные потери почти в 3 раза превосходят потери холостого хода.

2. СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Задача 1. Расчет разветвленных тупиковых сетей среднего давления до газораспределительного пункта (ГРП)

На основании исходных данных произвести расчет газопровода, обеспечивающего природным газом ряд категорий объектов газоснабжения (промышленные предприятия, коммунально-бытовых потребителей, районную отопительную котельную и жилой массив). Газ от магистрального газопровода поступает к газораспределительной сети среднего давления и затем в разветвленный тупиковый газопровод среднего давления, предназначенный для транзита газа к жилому массиву (ЖМ) и покрытия коммунально-бытовой и промышленной нагрузок (А, Б, В). Подача газа к жилому массиву и далее – в кольцевой газопровод выполнена от ГРП низкого давления.

Исходными данными для расчета являются: давления P_1 и P_2 , МПа, фактические длины участков L_{ϕ} , м, расходы газа на потребителей А, Б, В и ЖМ, $\text{м}^3/\text{ч}$.

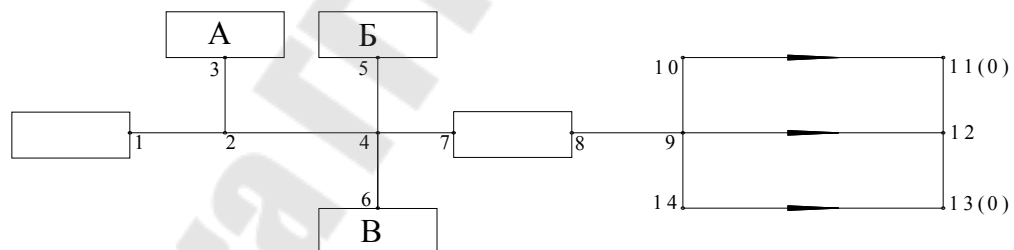


Рис. 1. Расчетная схема тупикового газопровода

Решение

1. На основании расчетных длин участков и начального давления газа в распределительной сети и давления в газопроводах, подключенных к самому отдаленному от газораспределительной сети потребителю, вычисляется средний коэффициент падения давления $\alpha_{\text{ср}}$:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{(P_1^2 - P_2^2) \cdot 10^2}{1,1 \cdot L_{\phi}}, \text{ Мпа,}$$

где P_1 – начальное давление газа у ГРС, МПа; P_2 – давление в

газопроводах, подключенных к самому отдаленному от ГРС потребителю, МПа; L_{ϕ} – фактическая длина газопровода (от источника газоснабжения до самого дальнего потребителя), м.

2. Расчетная длина газопровода рассчитывается по формуле:

$$L_p = L_{\phi} \cdot 1,1, \text{ м,}$$

где L_{ϕ} – фактическая длина газопровода (от источника газоснабжения до самого дальнего потребителя), м.

3. С помощью номограммы (приложение 1) по соответствующим значениям среднего коэффициента потерь давления α_{cp} и расхода газа на участках определяем диаметр газопровода газопровода, который обеспечит пропуск заданного расхода газа при полученных α_{cp} . Затем по номограмме уточняем коэффициент потерь давления α и производим перерасчет конечного давления на рассчитываемом участке.

4. Конечное давление на рассчитываемом участке:

$$P_k = \sqrt{P_n^2 - \frac{1,1 \cdot \alpha \cdot L_i}{100}}, \text{ МПа/м,}$$

где P_n – давление газа в газопровode в начале участка, МПа; P_k – давление газа в газопроводах в конце участка, МПа; L_i – фактическая длина участка газопровода, для которого производится расчет, м; α – уточненный коэффициент потерь давления.

Расчет для остальных участков производится аналогично. Гидравлический расчет разветвленной тупиковой сети представить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Гидравлический расчет газопроводов среднего давления

Расчетный участок	Расчетный часовой расход газа, м ³ /ч	Диаметр газопровода, мм	Длина расчетного участка, км		Начальное давление на участке, МПа	Значение α_i для расчетного участка	Конечное давление на участке, МПа
			Фактическая	Расчетная			

Гидравлический расчет разветвленного газопровода считается выполненным, если расчетное давление на каждом из участков равно или больше давления у самого дальнего потребителя. Если же расчетное

давление в газопроводах, подключенных к потребителям, меньше необходимого, то необходимо изменить диаметры на одном или нескольких участках сети и произвести перерасчет.

Задача 2. Гидравлический расчет кольцевого газопровода низкого давления

Расчет замкнутой кольцевой сети отличается от расчета тупиковой разветвленной тем, что, кроме определения диаметров участков газопровода, требуется равномерная работа кольцевой сети при заданных расходах газа и перепадах давления.

Рассмотрим простейшую кольцевую схему.

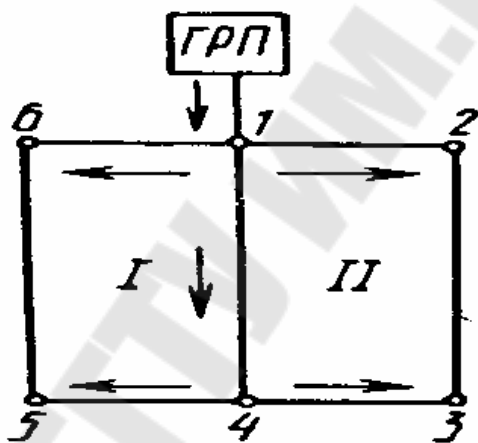


Рис. 2. Расчетная схема кольцевого газопровода низкого давления

Газ от ГРП поступает в точку 1 и далее к кольцам I и II, где разветвляется на участки 1 — 6, 5—6, 4 — 5 и 1 — 2, 3 — 2, 4 — 3. В условиях заводского или городского газоснабжения к этим участкам присоединены мелкие потребители. По газопроводу 1—4 газ подводится к потребителям через точку 4. От участка I—4 отвода может и не быть, в этом случае он называется транзитным. Геометрически наиболее удаленными от ГРП являются точки 5 и 3. К ним газ поступает с двух сторон. При расчете кольцевых схем такого типа необходимо подобрать диаметры участков так, чтобы точки 5 и 3 стали местом встречи разветвленных в точке I потоков. Тогда газ, поступающий от ГРП, в точке 1 равномерно распределится между транзитным участком 1—4 и боковыми ветвями колец I и II. Все участки сети загружаются равномерно. Кольца I и II разделяются на полукольца 1—6, 5—6 и 1—4, 4—5. Поскольку на этих участках газ

поступает к многочисленным потребителям, расход его изменяется. Условно заменяя распределенную нагрузку эквивалентной ей и сосредоточенной в конечных точках, расход для участков 5—6 и 4—5 определяют как 0,5-0,6 путевого расхода. На участках 1—6 и 1—4 расчетный расход газа.

Решение. На основании заданного расхода газа на снабжение жилого массива необходимо осуществить расчет кольцевого газопровода низкого давления. Питание потребителей осуществляется по двум полукольцам. Направление движения газа определяется исходя из принятых нулевых точек в каждом расчетном кольце.

На участке 8-9 весь расчетно-часовой расход газа является транзитным.

1. Определяем удельный расход газа $V_{уд}$:

$$V_{уд} = \frac{V_{факт}}{L_p}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $V_{ф}$ – фактический расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ΣL_p – общая расчетная длина участков, от которых производится отбор газа потребителям.

Для участка 9-12 $L_p = L_{ф}$, а для всех остальных участков $L_p = L_{ф} / 2$.

2. Определяем попутный и эквивалентный расходы газа на каждом расчетном участке кольцевого газопровода.

Попутный расход газа:

$$V_n = V_{уд} \cdot V_{ф}.$$

Эквивалентный расход газа:

$$V_{экр} = 0,55 \cdot V_n.$$

3. Расчетные данные расходов газа на каждом участке кольцевого газопровода представить в виде таблицы 2.

Таблица 2

Значения расходов к расчету кольцевого трубопровода

Расчетный участок	Длина расчетного участка, м		Расчет газа на расчетном участке, $\text{м}^3/\text{ч}$	
	Фактическая	Расчетная	Попутный	Эквивалентный

4. Определяем транзитный расход газа.

Наиболее вероятное распределение потоков газа принимается от источников питания до самой отдаленной точки сети, при этом, выделяются нулевые точки. Согласно этому распределению газа определяются транзитные V_T и расчетно-часовые расходы газа V_p . Для участков сети 11-10, 11-12, 12-13, 13-14 транзитные расходы газа равны нулю:

$$V_{T10-11} = V_{T12-11} = V_{T12-13} = V_{T14-13} = 0, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{T9-10} = V_{П10-11}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{T9-14} = V_{П12-11} + V_{П12-13}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{T9-14} = V_{П14-13}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Определяем расчетно-часовые расходы на участках газовой сети по формуле:

$$V_p = V_T + 0,55 \cdot V_{П} = V_T + V_{\text{экв}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рассчитанные значения расходов газа представляются в виде таблицы 3.

Таблица 3

**Попутный и эквивалентный расходы газа
на расчетных участках**

Расчетный участок	Длина расчетного участка, м		Расход газа на расчетном участке, м ³ /ч	
	Фактическая	Расчетная	Попутный	Эквивалентный

Учитывая значения расчетно-часовых расходов газа на участке и уровень потерь $H_{срi}$, по номограмме (Приложение 2) определяется соответствующий диаметр газопровода и значение удельных потерь давления H_i на каждом расчетном участке.

Средние удельные потери давления от ГРП до нулевых точек определяется по формуле:

$$H_{cpi} = \Delta H_i / \Sigma L_{\phi},$$

где ΔH_i – потери давления в распределительных газопроводах от источника питания по полукольцу до нулевых точек.

Для первого и второго полукольца $\Delta H_i = 1200$ Па;

ΣL_{ϕ} – суммарная фактическая длина участка газопровода от источника питания по полукольцу до нулевой точки.

Гидравлический расчёт кольцевого газопровода низкого давления представить в виде таблицы 4.

Таблица 4

Гидравлический расчет кольцевого газопровода низкого давления

Расчетный участок	L_{ϕ} , м	Расход газа на участке, м ³ /ч				Диаметр участка, D, мм	Потери давления, Па		
		V_n	$V_{эkv}$	V_T	V_p		На 1 м, H_i	$H_i \cdot L_{\phi}$	$H_i \cdot L_{\phi} + z$

Гидравлический расчет кольцевого трубопровода считается завершенным, если невязка в первом и втором кольцах газопровода не превышает 10 %.

Задача 3. Расчет охлаждающей способности градирни

Требуется определить температуру охлажденной воды в башенной градирне площадью орошения 1600 м² с противоточным движением воздуха. Средняя высота щитов оросителя – 4 м. Высота башни над верхом щитов оросителя приведена в задании. Плотность орошения 6 м³/м²·ч. Расчетные метеоусловия: температуры наружного воздуха 25 °С, относительная влажность 54 %, объемный вес воздуха 1,153 кг/м³.

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.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{C_p \cdot \gamma_{в.ср} \cdot V_{оп}}{q} \cdot \frac{d\theta}{dx} + \frac{rV_{оп}}{q} \cdot \frac{de}{dx},$$

$$\alpha_V = 0,46\beta_V$$

Результаты расчета заносим в таблицу.

Таблица

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

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

Максимальная упругость паров выбирается по температуре воды по приложению 3.

Рассчитать охлаждающую способность градирни.

Самостоятельно произвести расчет для средней скорости движения воздуха в оросителе 1,0 м/с. Результаты расчета занести в таблицу аналогичную таблицу.

Задача 4. Оценка эффективности работы компрессорных установок

Оценить эффективность работы многоступенчатых компрессорных установок, выполненных на базе поршневых компрессоров, работающих в различных режимах (с охлаждением и без охлаждения).

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 используется многоступенчатые компрессоры. После каждой ступени могут быть установлены промежуточные холодильники.

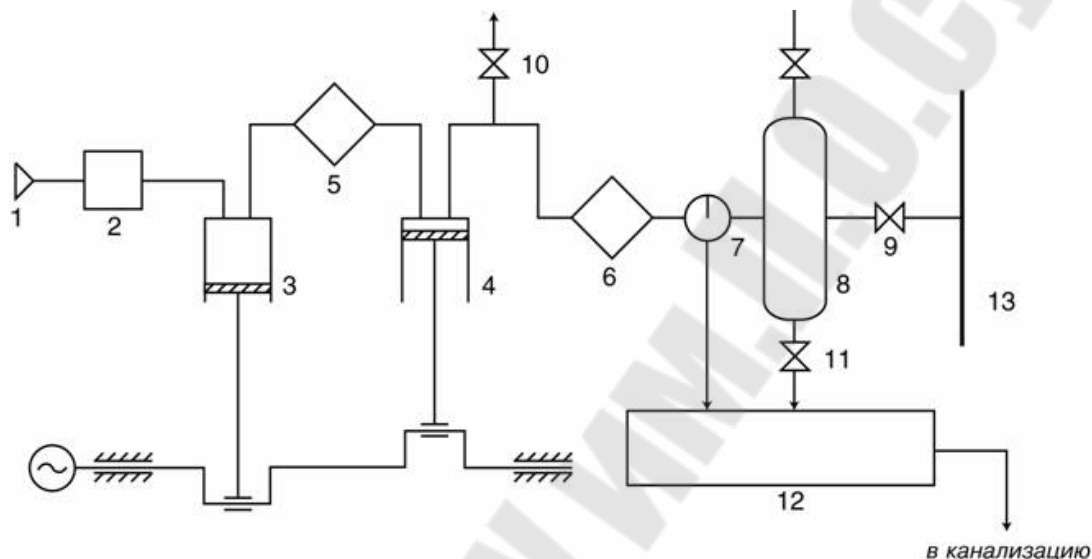


Рис. 1. Поршневая компрессорная установка:

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

Схема работает следующим образом. 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 охлажде-

ния воздух поступает в водомаслоотделитель (7) и далее в воздухо-борник (8), предназначенный для снижения пульсации воздуха и резервировании его части. Из воздухоборника воздух по магистральному трубопроводу (13) поступает в воздушную сеть предприятия и к потребителю.

Через продувочный бак (12) осуществляется слив конденсата из концевого охладителя и водомаслоотделителя. 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).

Решение

Объем воздуха после сжатия с охлаждением рассчитывается по следующей формуле:

$$V_i = \frac{R \cdot (T_i + 273,15)}{P_i \cdot 98000}, \text{ м}^3,$$

где T_i – температура на каждой ступени; R – универсальная газовая постоянная, $R=8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$; P_i – давление на каждой ступени.

Объем воздуха после сжатия без охлаждения рассчитывается по следующей формуле:

$$V_i' = \frac{R \cdot (T + 273,15)}{P_i \cdot 98000}, \text{ м}^3,$$

где T – температура на каждой ступени; $T = \text{const}$;

R – универсальная газовая постоянная, $R=8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$;

P_i – давление на каждой ступени.

Результаты расчетов занести в таблицу, сравнить и сделать вывод об экономичности работы поршневого компрессора в различных режимах

Ступень	Давление по ступеням, кгс/см ²	Температура по ступеням, °С	Объем с охлаждением, м ³	Объем без охлаждения, м ³
1				
2				
3				
4				
5				
6				

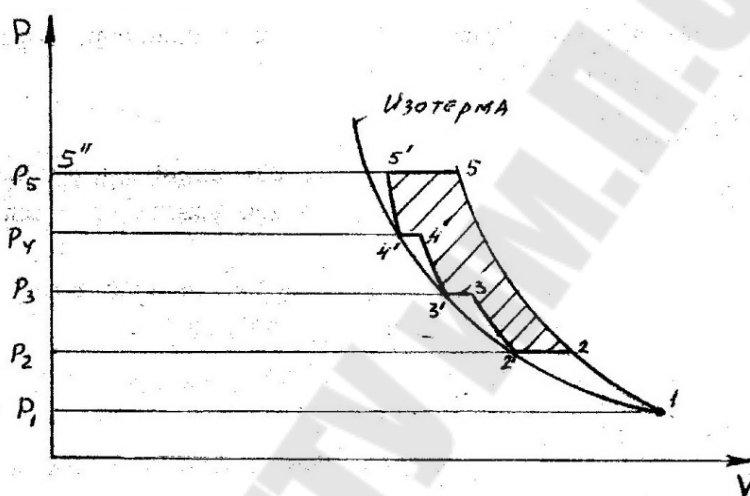


Рис. 2.1. Диаграммы сжатия в компрессоре

Сравнивая диаграммы одноступенчатого сжатия и 6-ти ступенчатого сжатия, 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.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Номограмма для расчёта газопровода высокого и среднего давления

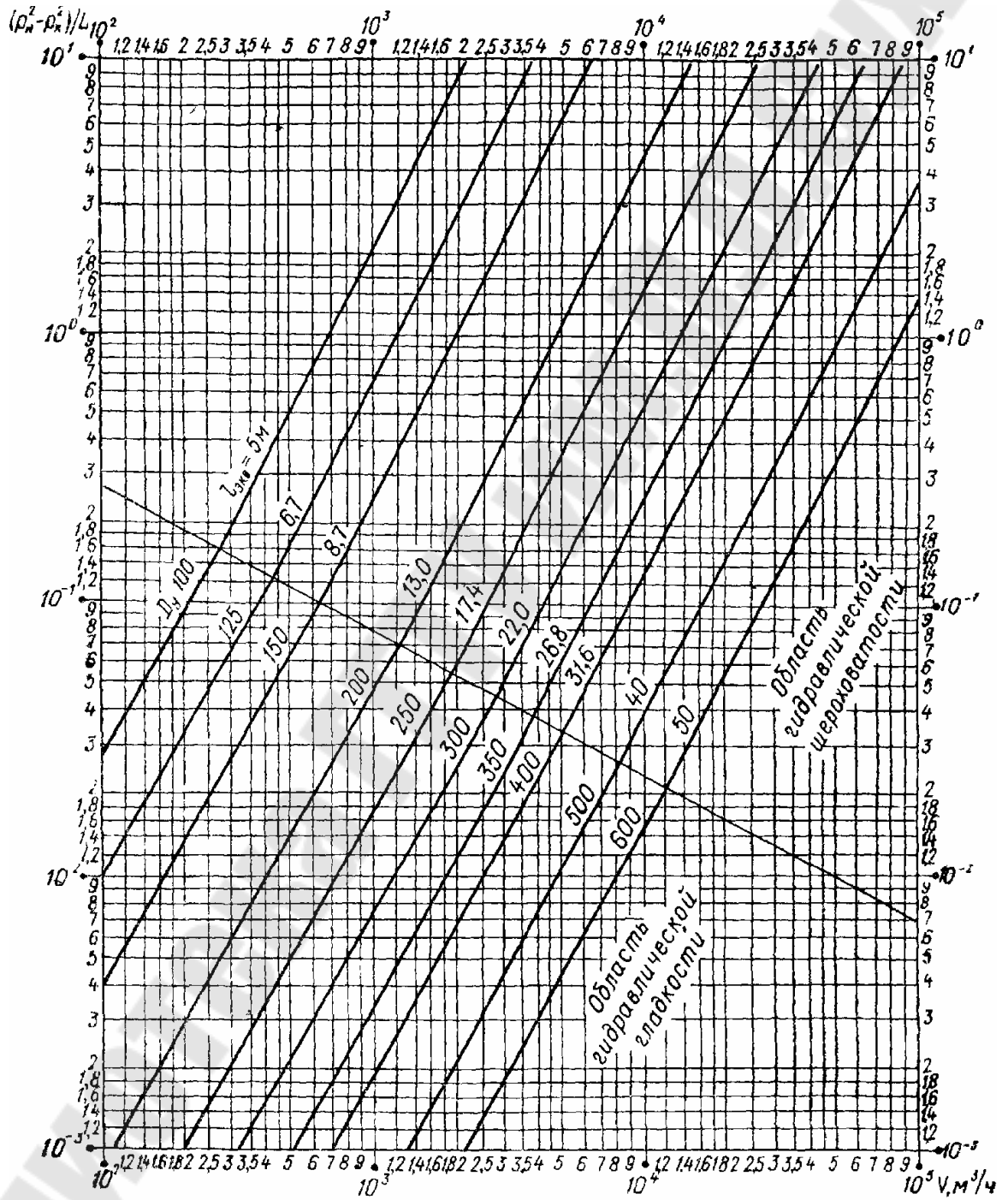
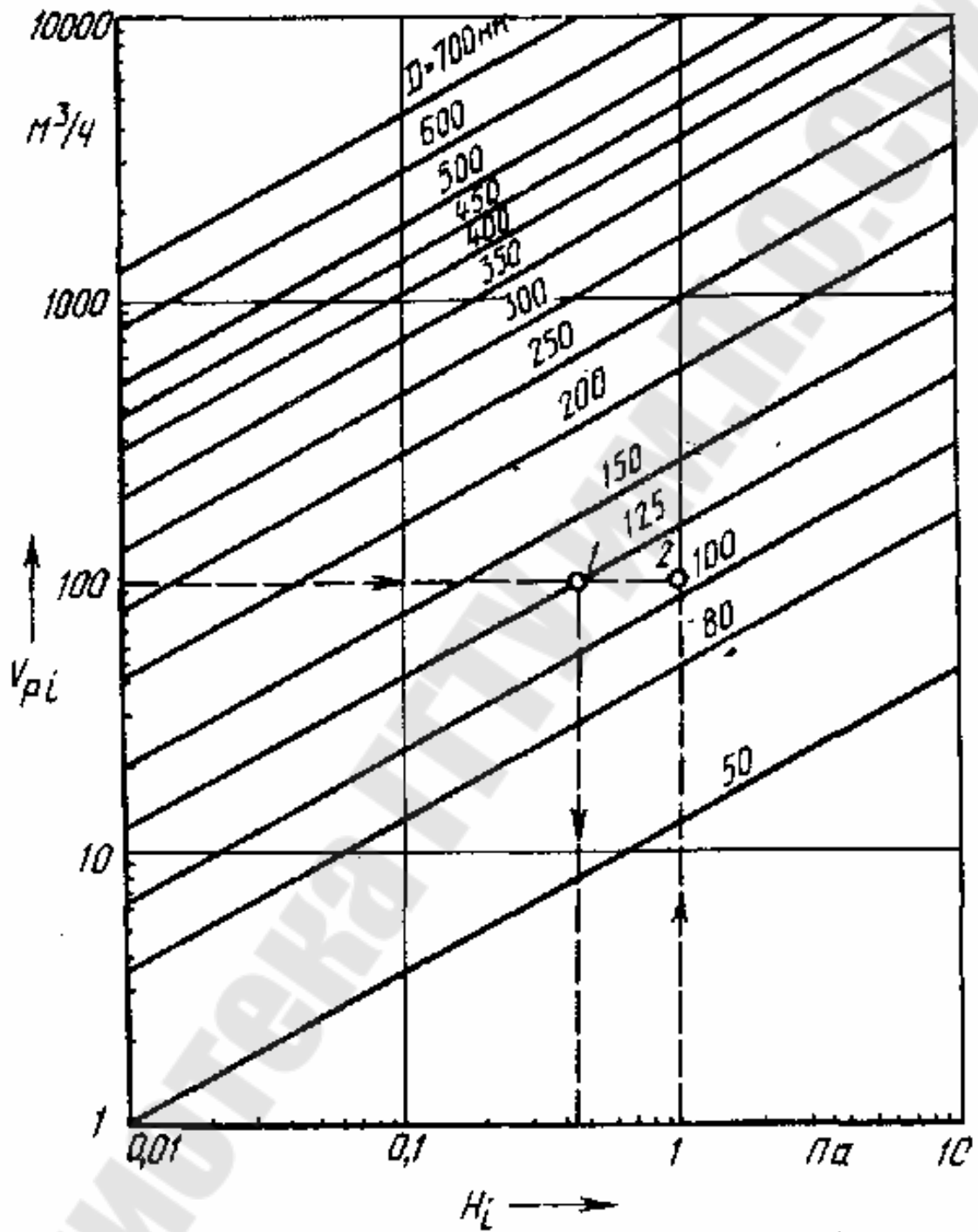


Рис. VI. 7: номограмма для определения потерь давления в газопроводах $D_y = 100 - 600$ мм среднего и высокого давлений (природный газ, $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$)

Номограмма для расчёта газопровода низкого давления



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

Граду- сы, °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
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

Окончание

Граду- сы, °С	Десятые градуса									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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

Системы передачи и распределения электрической энергии	3
Системы производства и распределение энергоносителей	10
Приложения	21

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

**Пособие
по одноименной дисциплине
для слушателей специальности
переподготовки 1-43 01 78 «Диагностика
и техническое обслуживание
энергооборудования организаций»
заочной формы обучения**

**Составители: Лычев Петр Васильевич
Широглазова Наталия Владимировна**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 02.02.21.

Рег. № 87Е.

<http://www.gstu.by>