

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная электроника»

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

**ПРАКТИКУМ  
для студентов специальностей  
1-36 04 02 «Промышленная электроника»  
и 1-53 01 07 «Информационные технологии  
и управление в технических системах»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2026**

УДК 502.1+628.5+658.5(075.8)

ББК 68.9я73

Б40

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 17.05.2025 г.)*

Составитель *С. Н. Кухаренко*

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

Б40 **Безопасность** жизнедеятельности человека : практикум для студентов специальностей 1-36 04 02 «Промышленная электроника» и 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» днев. и заоч. форм обучения / сост. С. Н. Кухаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2026. – 27 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 2 Gb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; ALT Linux 10.1 ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлены варианты заданий, практические рекомендации, справочные материалы и примеры расчета потерь электрической энергии в электрических сетях, затрат тепла на отопление зданий в отопительный период, удельного расхода тепла на переработку зерна, а также расчет тепловых режимов полупроводниковых приборов.

Для студентов специальностей 1-36 04 02 «Промышленная электроника» и 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» дневной и заочной форм обучения.

УДК 502.1+628.5+658.5(075.8)

ББК 68.9я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2026

## Введение

Требования рационального использования природных ресурсов становятся более актуальными в связи с ростом потребления и масштабами хозяйственной деятельности человека. В условиях Республики Беларусь обладающей ограниченными топливно-энергетическими ресурсами, проблема энергосбережения является одной из наиболее актуальных.

Изучение дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» является обязательным условием фундаментальной подготовки специалистов, отвечающее требованиям высшего образования и государственной политике энергосбережения.

Целью курса является формирование у студентов системы знаний и навыков, необходимых в их будущей инженерной деятельности.

Данное учебное пособие позволяет приобрести навыки практической оценки эффективности использования электрической и тепловой энергии, расчета удельных параметров энергопотребления, расчета тепловых нагрузок полупроводниковых приборов и проектирование систем охлаждения.

В данном методическом пособии изложены основные сведения и методики расчета, приведен необходимый справочный материал по следующим темам:

- расчет потерь, возникающих при транспортировании и распределении электроэнергии;
- расчет теплового сопротивления по экспериментальным данным;
- расчет теплового режима полупроводникового прибора с теплоотводом;
- расчет потерь тепла в здании за отопительный период;
- расчет удельного энергопотребления при переработке зерна;
- расчет энергоэффективности от использования вторичных энергоресурсов.

Представлены задания, порядок выполнения и методические рекомендации по выполнению работы, а также вопросы для контроля знаний студентов.

## Практическое занятие № 1

### РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С АКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ

Цель работы: освоить методику расчета потерь электроэнергии при передаче по линии электропередач.

В задании предложено, используя базовые знания электротехники, выполнить расчет потерь электрической мощности в цепи линии электропередачи. Схема замещения состоит из двух резисторов  $R_{\pi}$  сопротивление которых соответствует сопротивлению провода.

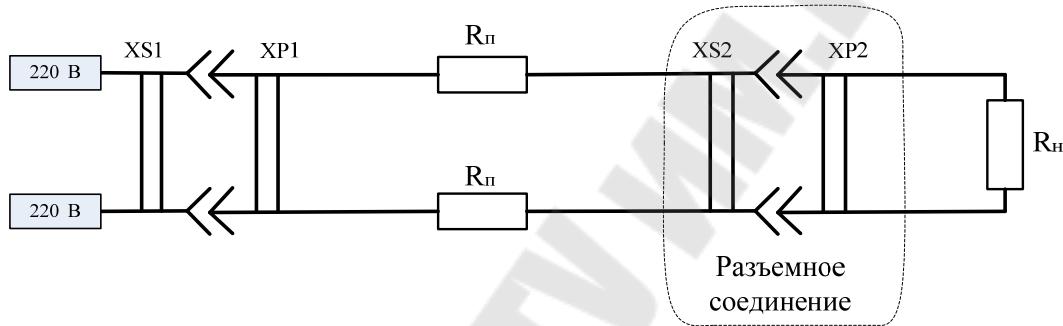


Рис. 1.1. Электрическая схема линии электропередачи  
с нагрузкой

Где приняты следующие обозначения: XS1 – розетка электрической сети, XP1 – вилка соединяющей линии электропередачи,  $R_{\pi}$   $R'_{\pi}$  – эквивалентное активное сопротивление проводов линии электропередачи, XS2 – выходная вилка соединяющей линии, XP2 – вилка нагрузки,  $R_h$  – эквивалентное сопротивление нагрузки.

#### Задание

Для схемы рис. 1.1 и в соответствии с вариантом табл. 1.1 выполнить расчет:

1. Сопротивления медного провода  $R_{\pi}$ . С учетом удельного сопротивления меди –  $\rho = 1,68 \times 10^{-8}$  [Ом·м] и алюминия –  $\rho = 2,7 \times 10^{-8}$  [Ом·м].
2. Сопротивления нагрузки для номинального режима работы 220 В.
3. Тока в линии передачи.
4. Потерь мощности в линии электропередачи.
5. Фактической мощности в нагрузке.

Таблица 1.1

	<b>Номинальная мощность нагрузки</b>	<b>Сечение токоведущей жилы</b>	<b>Длина линии</b>
	[Вт]	[мм <sup>2</sup> ]	[м]
1	1000	1,5	70
2	2200	2,5	50
3	3000	2,5	30
4	4000	3,5	43
5	6000	3,5	20

### Контрольные вопросы

1. Как изменяться потери в линии электропередачи если температура окружающей среды измениться с  $-20$  до  $30$   $^{\circ}\text{C}$ . Учесть, что температурный коэффициент удельного сопротивления составляет  $\alpha = 0,4\%$  на один градус Цельсия.
2. Во сколько раз и почему изменяться потери в линии электропередачи если удвоиться значение тока нагрузки.
3. Как и во сколько раз изменяться потери в линии электропередачи если медный провод заменить алюминиевым.
4. Во сколько раз изменяться потери мощности в линии если заданную мощность передавать напряжением 310 В.

## Практическое занятие № 2

### РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКОЙ

Цель работы: освоить методику расчета потерь в линии электропередачи, нагруженной на комплексную нагрузку.

В электрических сетях. Основное количество электрической энергии производят и распределяют на переменном токе. В сетях переменного тока помимо активной мощности, которая выполняет работу (является полезной), происходит передача (обмен) реактивной мощности. Реактивная мощность – это результат обмена реактивной энергией между источником (генератором) и реактивной нагрузкой. Реактивная энергия – это электромагнитная энергия, запасенная в элементах электрической цепи в виде электрических либо магнитных полей. Реактивная мощность не выполняет работу однако создает дополнительную нагрузку на линии электропередачи.

В теории электротехники принято использовать комплексные числа для описания токов, напряжений и мощностей в цепях переменного тока. При этом, активную составляющую характеризует реальная составляющая числа, реактивную – мнимая часть числа. На векторной диаграмме рис. 2.1 представлено несколько векторов комплексной мощности.

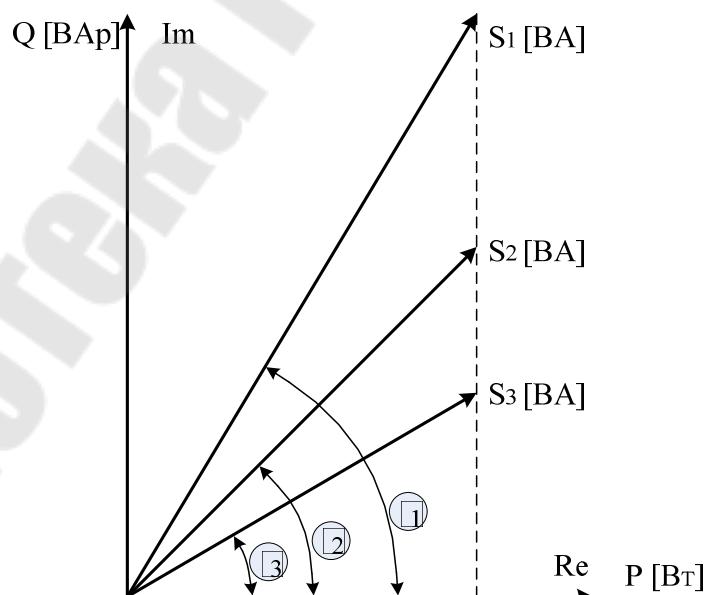


Рис. 2.1. Векторная диаграмма комплексной мощности

На рис. 2.1 приняты следующие обозначения:

$S_1 S_2 S_3$  – вектора полной мощности нагрузки [ $\text{В}\cdot\text{А}$ ];

$P$  – активная мощность нагрузки измеряемая в ваттах [ $\text{Вт}$ ];

$Q$  – реактивная мощность нагрузки единицы измерения [ $\text{Вар}$ ];

$\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3$  – угол сдвига фаз между соответствующими мощностями.

МИ.

Очевидно, что между значениями мощности существует определенная взаимосвязь:

$$S = P + jQ = |S| \cdot e^{j\varphi}$$

где:  $|S|$  – модуль комплексной мощности  $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Типовая схема электрической сети содержащая комплексную, активно-индуктивную нагрузку приведена на рис. 2.2. В этой схеме приняты следующие обозначения:  $R_L$  – сопротивление проводника линии электропередачи,  $a, a'$  – точки присоединения нагрузки к питающей сети,  $L_H$  – индуктивность нагрузки,  $R_H$  – активное сопротивление нагрузки.

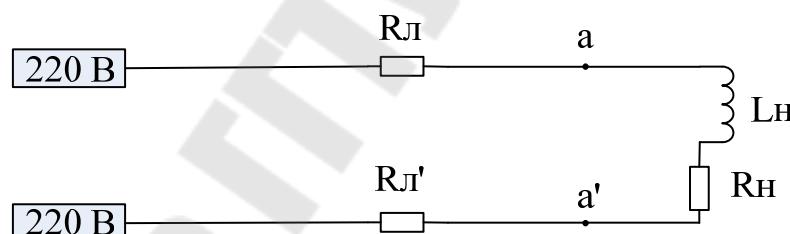


Рис. 2.2. Схема электрической сети, содержащая комплексную нагрузку

Именно значение тока в проводе, которое соответствует модулю комплексной мощности вызывает потери в проводнике и его разогрев. Поэтому, при транспортировке электрической энергии с целью уменьшения потерь в электрических сетях выполняют компенсацию реактивной мощности нагрузки. Такую компенсацию можно реализовать подключением параллельно реактивной нагрузке реактивного компонента с противоположным знаком реактивной мощности. Так, например, в случае индуктивного сопротивления нагрузки подключают параллельно электрическую емкость. Пример такого подключения приведен на рис. 2.3.

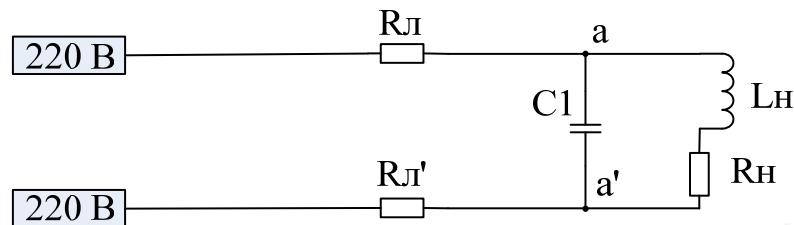


Рис. 2.3. Схема электрической сети, содержащая комплексную нагрузку и конденсатор для компенсации реактивной мощности – С1.

В этой схеме к точкам присоединения нагрузки к электрической сети – а, а' подключен конденсатор С1. При этом часть реактивного тока нагрузки будет замыкаться током емкостного (реактивного) сопротивления конденсатора С1. Если задаться условием равенства реактивных мощностей конденсатора и нагрузки можно прийти к следующей аналитической зависимости:

$$C1 = \frac{L_H}{\omega^2 \cdot L_H^2 + R_H^2}$$

Реализация этого условия приведет к тому, что в сопротивлении линии будет протекать только активная (полезная) часть тока.

## Задание

Для схемы рис. 2.1 и в соответствии с вариантом табл. 2.1 выполнить расчет:

1. Сопротивления медного провода  $R_{\text{п.}}$ . С учетом удельного сопротивления меди –  $\rho = 1,68 \times 10^{-8}$  [Ом·м] и алюминия –  $\rho = 2,7 \times 10^{-8}$  [Ом·м].
  2. Комплексного сопротивления нагрузки для номинального режима работы – 220 В с частотой 50 Гц.
  3. Индуктивности нагрузки.
  4. Требуемого значения емкости конденсатора для компенсации реактивной мощности.
  5. Тока в линии передачи до компенсации реактивной мощности и после компенсации.
  6. Потерь мощности в линии электропередачи до и после компенсации реактивной составляющей мощности нагрузки.
  7. Изменения полезной мощности в нагрузке для случая компенсации (отсутствия реактивной составляющей).

Таблица 2.1

	Активная мощность нагрузки	Реактивная мощность индуктивной нагрузки	Сечение токоведущей жилы	Длина линии	Материал провода
	[Вт]	[ВАр]	[мм <sup>2</sup> ]	[м]	
1	1000	500	1,5	70	Cu
2	2200	800	2,5	50	Al
3	3000	1500	2,5	30	Cu
4	4000	3000	3,5	43	Al
5	6000	6000	3,5	20	Cu

### Контрольные вопросы

1. Во сколько раз и почему изменяется потери в линии электропередачи если уменьшить реактивную составляющую нагрузки до нулевого значения.
2. Объяснить причину изменения активной мощности в нагрузке, возникающей после компенсации реактивной мощности.
3. Во сколько раз и почему изменяются потери в линии электропередачи если скомпенсировать разность фаз между током и напряжением нагрузки равным 60 градусам?
4. Начертить контур тока реактивной мощности до компенсации (рис. 2.2) и после компенсации (рис. 2.3).
5. Как измениться значение требуемой компенсирующей емкости если изменится частота сетевого напряжения?

## Практическое занятие № 3

### РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Цель работы: изучить методику расчета потерь энергии в силовом трансформаторе с использованием паспортных данных.

Энергетической системе трансформаторы применяют для преобразования уровней напряжения или тока. Процесс преобразования электрической энергии в трансформаторе проходит в три этапа. Вначале ток первичной обмотки формирует переменный магнитный поток в магнитопроводе, затем этот магнитный поток формирует переменную ЭДС на вторичной обмотке трансформатора. Такая последовательность преобразования вызывает потери энергии в сопротивлении обмоток и ферромагнитном магнитопроводе.

Точный учет потерь в системе трансформатора представляет определенные трудности, поэтому, с достаточной инженерной точностью допускается оценить мощность потерь по удельной нагрузке. Характеристикой удельной загрузки принято считать коэффициент загрузки –  $\beta$ .

$$\beta = \frac{i_1}{i_{1\text{ном}}} = \frac{i_2}{i_{2\text{ном}}},$$

где  $i_1$ ,  $i_2$  – токи первичной и вторичной обмоток для которых производится расчет,  $i_{1\text{ном}}$ ,  $i_{2\text{ном}}$  – номинальные значения токов в первичной и вторичной обмотке.

Потери мощности, вызванные переменным магнитным потоком, практически не зависят от значения тока нагрузки и поэтому их измерение возможно в режиме холостого хода (без нагрузки во вторичных обмотках) –  $P_{\text{хх}}$ . Потери мощности, вызванные протекающим по обмоткам током, пропорциональны квадрату значения тока. Для оценки потерь в обмотках приводят параметр потерь мощности в трансформаторе в режиме короткого замыкания –  $P_{\text{кз}}$ . А так-как значение потерь пропорционально значению тока, то для пересчета потерь при заданной нагрузке  $P_{\text{кз}}$  умножают на квадрат коэффициента загрузки:

$$P_{\text{т}} = P_{\text{хх}} + P_{\text{кз}} \cdot \beta^2.$$

Основные электрические (паспортные) параметры ряда силовых трансформаторов приведены в Таблице 3.1.

Для силовых трансформаторов ГОСТ 16110-82 определяет коэффициент трансформации как «отношение напряжений на зажимах

двух обмоток в режиме «холостого хода» и «принимается равным отношению чисел их витков». Следовательно, коэффициент трансформации  $k$  может быть определен как:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

где  $U_1$  – напряжение первичной (высоковольтной) обмотки трансформатора;  $U_2$  – напряжение вторичной обмотки трансформатора;  $W_1$  и  $W_2$  – соответствующие числа витков обмоток.

Коэффициент трансформации позволяет рассчитывать токи и напряжения обмоток в режиме нагрузки.

Таблица 3.1

Тип трансформатора	Мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Потери, Вт			Икз, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	К3	Суммарные		
TM-63	63	6; 10; 20	0,23; 0,4	255	1450	1705	4,0	2,5
		27,5; 35		265	1400	1665	4,5	
TM-100	100	6; 10; 20	0,23; 0,4	320	1750	2070	4,0	2,3
		27,5; 35		320	1700	2020	4,5	
TM-160	160	6; 10; 20	0,23; 0,4	460	2450	2910	4,0	2,1
		27,5; 35		460	2450	2910	4,5	
TM-250	250	6; 10; 20	0,23; 0,4	650	3250	3900	4,0	2,0
		27,5; 35		650	3250	3900	4,5	
TM-400	400	6; 10; 20	0,23; 0,4	930	4600	5530	4,0	1,9
		27,5; 35		930	4900	5830	4,5	
TM-630	630	6; 10; 20	0,23; 0,4	1300	6500	7800	4,0	1,7
		27,5; 35		1160	6500	7660	6,0	
TM-1000	1000	6; 10; 20	0,23; 0,4	1700	10500	12200	1,3	
		27,5; 35		1400	10800	12200	1,1	
TM-1600	1600	6; 10; 20; 27,5; 35	0,23; 0,4	2600	17000	19600	1,0	
TM-2500	2500	6; 10; 20; 27,5; 35		2800	24000	26800	0,9	
TM-4000	4000	6; 10; 20; 27,5; 35		4200	29000	33200		

Примечание:

ВН – обмотки высшего напряжения;

НН – обмотки низшего напряжения.

### Задание для расчета

- Для заданного значения мощности в нагрузке (табл. 3.2) определить значение токов в обмотках трансформатора

(учесть, что энергия в трехфазной сети поступает в нагрузку по трем проводам одновременно).

2. Рассчитать мощность потерь в трансформаторе в режиме комплексной нагрузки (табл. 3.2), используя метод удельной загрузки.
3. Рассчитать мощность потерь в трансформаторе в режиме с компенсацией реактивной мощности нагрузки, используя метод удельной загрузки.
4. Рассчитать значение энергетического эффекта от мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Таблица 3.2

№	Тип трансформатора	Первичное напряжение ВН	Вторичное напряжение НН	Параметры нагрузки кВА	Мощность компенсирующего устройства кВАр
1	TM-63 10/0,4	10000	380	31+j25	-j15
2	TM-100 10/0,4	10000	380	75+j28	-j20
3	TM-160 35/0,4	35000	380	100+j48	-j45
4	TM-250 35/0,4	35000	380	130+j75	-j55
5	TM-400 20/0,4	20000	380	300+j111	-j100
6	TM-630 20/0,4	20000	380	530+j273	-j200
7	TM1000 35/0,4	35000	380	730+j560	-j500
8	TM-1600 35/0,4	35000	380	1000+j485	-j480
9	TM-2500 35/0,4	35000	380	2000+j970	-j900
10	TM-4000 35/0,4	35000	380	3000+j1450	-j1450

### Контрольные вопросы

1. Перечислить виды потерь, существующие в трансформаторе.
2. Как определить удельную загрузку трансформатора?
3. Какие виды электрических потерь присутствуют в трансформаторе? С какими явлениями связаны эти потери?
4. Какие явления приводят к возникновению постоянных потерь, а какие к переменным потерям? От чего зависят переменные потери?
5. Как изменятся потери мощности в трансформаторе если реактивная мощность нагрузки измениться с нулевой до равной активной составляющей?

## **Практическое занятие № 4**

### **РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ЗДАНИИ**

Цель работы: изучить методику расчета теплотехнического расчета конструкции здания и определения экономически целесообразного теплового сопротивления наружной ограждающей конструкции.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

В простейшем случае расчетная схема ограждений конструкций представляет собой плоскую конструкцию (плиту, стенку, пластины), разделяющую воздушные среды с разными температурами. Ограждающая конструкция, выполненная из одного материала, называется однородной, а из нескольких материалов – слоистой.

Между процессом протекания тепла через твердое тело и электрического тока через проводник существует аналогия. Ее называют электротепловой аналогией. Пользуясь электротепловой аналогией, можно составлять эквивалентные тепловые схемы, а для расчета сложных тепловых конструкций применять методы расчета электрических цепей.

Для анализа теплотехнических характеристик конструкции используют тепловую характеристику материалов как теплопроводность. Теплопроводность – это свойство материала передавать тепловую энергию от одной части тела к другой. В технической литературе коэффициент теплопроводности принято обозначать буквой греческого алфавита –  $\lambda$ . Размерность этого коэффициента .

Согласно гипотезе Фурье, теплой поток –  $P_T$ , проходящий через элемент поверхности –  $S$ , пропорционален градиенту температуры –  $T_2 - T_1$ .

$$P_T = \lambda \cdot \frac{T_2 - T_1}{h} \cdot S$$

где  $h$  – толщина (пластины, стенки).

Следовательно, располагая информацией о разности температур в помещении и на улице, теплопроводности строительных материа-

лов, а также толщине и площади ограждающих конструкций можно определить количество требуемой энергии за отопительный период.

Сложнее обстоит дело с расчетом тепловых потерь в помещениях, ограждающие конструкции которых выполнены из слоистых материалов. В случае со слоистыми материалами прибегают к понятию теплового сопротивления каждого слоя. Тепловое сопротивление (сопротивление теплопередаче) это коэффициент отношения разности температур на поверхностях материала к величине мощности теплового потока через эти поверхности.

$$R_T = \frac{T_2 - T_1}{P}$$

где  $P_T$  – мощность теплового потока.

Тепловое сопротивление связано с теплопроводностью:

$$R_T = \frac{h}{\lambda \cdot S} \quad (4.1)$$

Тепловое сопротивление позволяет проанализировать распределение температуры и суммарную теплопроводность слоистых конструкций. При анализе используют принцип электротепловой аналогии. В соответствии с этим принципом в слоистых конструкциях применяют последовательное соединение тепловых сопротивлений рис. 4.1.

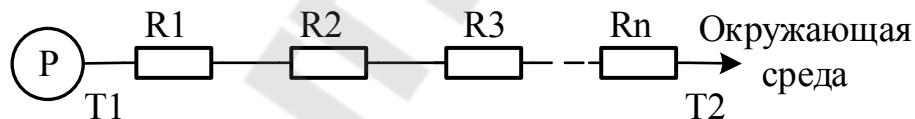


Рис. 4.1. Схема замещения теплопроводности слоистой конструкции

Тепловые сопротивления принято делить на внутренние, внешние, контактные и смешанные (сложные). Под внутренним сопротивлением  $R_b$  понимают тепловое сопротивление, которое преодолевает тепловой поток, проходя от источника тепла к поверхности тела. Под внешним тепловым сопротивлением тела  $R_h$  подразумевают тепловое сопротивление, которое преодолевает тепловой поток, проходящий через поверхность тела в окружающую среду. Величина внешнего теплового сопротивления зависит от многих факторов и прежде всего от условий теплообмена и температуры. Контактное тепловое сопротивление  $R_k$  возникает в месте механического соединения двух поверхностей. В реальности теплопроводящая конструкция всегда имеет смешанный характер тепловых сопротивлений в виде комбинации выше перечисленных  $R_b$ ,  $R_h$ ,  $R_k$ .

Для расчета тепловой энергии необходимо вычислить произведение потока тепловой мощности через стены помещения на время отопительного периода.

Таблица 4.1

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность $\lambda$ Вт/(м·С°)	Паропроницаемость, Мг/(м·ч·Па)	Эквивалентная 1 при сопротивлении теплопередаче =4,2м <sup>2</sup> ·С/Вт толщина, м	Эквивалентная 2 При сопротивлении паропроницанию =1,6м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг) толщина, м
Железобетон	2500	1.69	0.03	7.10	0.048
Бетон	2400	1.51	0.03	6.34	0.048
Керамзитобетон	1800	0.66	0.09	2.77	0.144
Керамзитобетон	500	0.14	0.30	0.59	0.48
Кирпич красный глиняный	1800	0.56	0.11	2.35	0.176
Кирпич, силикатный	1800	0.70	0.11	2.94	0.176
Кирпич керамический пустотелый (брутто1400)	1600	0.41	0.14	1.72	0.224
Кирпич керамический пустотелый (брутто1000)	1200	0.35	0.17	1.47	0.272
Пенобетон	1000	0.29	0.11	1.22	0.176
Пенобетон	300	0.08	0.26	0.34	0.416
Гранит	2800	3.49	0.008	14.6	0.013
Мрамор	2800	2.91	0.008	12.2	0.013
Сосна, ель поперёк волокон	500	0.09	0.06	0.38	0.096
Дуб поперек волокон	700	0.10	0.05	0.42	0.08
Сосна, ель вдоль волокон	500	0.18	0.32	0.75	0.512
Дуб вдоль волокон	700	0.23	0.30	0.96	0.48
Фанера клееная	600	0.12	0.02	0.50	0.032
ДСП, осп	1000	0.15	0.12	0.63	0.192
Пакля	150	0.05	0.49	0.21	0.784
Гипсокартон	800	0.15	0.075	0.63	0.12
Картон облицовочный	1000	0.18	0.06	0.75	0.096
Минвата	200	0.070	0.49	0.30	0.784
Минвата	100	0.056	0.56	0.23	0.896
Минвата	50	0.048	0.60	0.20	0.96
Пенополистирол	33	0.031	0.013	0.13	0.021
Пенополистирол экструдированный	45	0.036	0.013	0.13	0.021
Пенополистирол	150	0.05	0.05	0.21	0.08
Пенополистирол	100	0.041	0.05	0.17	0.08
Пенополистирол	40	0.038	0.05	0.16	0.08
Пенопласт ПВХ	125	0.052	0.23	0.22	0.368
Пенополиуретан	80	0.041	0.05	0.17	0.08
Пенополиуретан	60	0.035	0.0	0.15	0.08
Пенополиуретан	40	0.029	0.05	0.12	0.08
Пенополиуретан	30	0.020	0.05	0.09	0.08
Керамзит	800	0.18	0.21	0.75	0.336
Керамзит	200	0.10	0.26	0.42	0.416
Песок	1600	0.35	0.17	1.47	0.272
Пеностекло	400	0.11	0.02	0.46	0.032
Пеностекло	200	0.07	0.03	0.30	0.048
Битум	1400	0.27	0.008	1.13	0.013
Рубероид, пергамин	600	0.17	0.001	0.71	0.0016
Полиэтилен	1500	0.30	0.00002	1.26	0.000032
Стекло	2500	0.76	0	3.19	0
Слюда СПМ-1	2150	0.44 ÷ 0.51			
Теплопроводящая прокладка «Номакон»	1900 ÷ 2100	0.8 ÷ 1,4			

## Задание для расчета

1. Для предложенных вариантов в таблице 4.2 рассчитать потери тепловой энергии в помещении за отопительный период длительностью 180 суток. Потерями через перекрытия и оконные проемы пренебречь.

Таблица 4.2

	Размер здания Ш×Д×В [м]	Материал стен и толщина [м]	Материал утеплителя и толщина [м]	температура [С°]	
				внутренняя	внешняя
1	10×15×3	Кирпич красный 0,37	Минвата 0,1	+25	-5
2	30×20×5	Кирпич силикатный 0,25	Пеностекло 0,15	+18	-7
3	50×25×4	Пенобетон 0,3	Минвата 0,15	+20	-10
4	100×50×8	Керамзитобетон 0,5	Пенополистирол 0,15	+20	-12
5	50×150×3	Бетон 0,5	Пенополистирол 0,1	+16	-10
6	20×15×3	Дерево 0,25	Картон облицовочный 0,02	+25	-15

2. Определить количество необходимого топлива дров, угля, газа и условного топлива. Коэффициенты пересчета в условное топливо приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Топливо	Теплота сгорания, кДж/кг	Коэффициент перевода в условное топливо
Условное топливо	29 307	1,0
Нефть	41 900	1,43
Мазут	41 448	1,41
Древесина	12 560	0,43
Уголь каменный	27 600	0,94
Бензин	45 216	1,54
Дизельное топливо	42 704	1,46
Газ природный	35 586	1,21
Газ сжиженный	46 000	1,57

Категория «условного топлива» используется практически повсеместно, она достаточно универсальна. Так, в **России и бывших Союзных странах** единицей условного топлива называли/называют тепловыделительную способность килограмма каменного угля, кото-

рая равняется 7000 ккал или 29,3 МДж. В **странах Европы** – да и вообще в международном обозначении – единица условного топлива вычисляется при помощи нефтяного эквивалента, который так и зовётся: ТОЕ, или Tonne of oil equivalent (Тонна Нефтяного Эквивалента), которая равна 41,868 ГДж.

### **Контрольные вопросы**

1. Как и почему измениться расход топлива за отопительный период в случае ветреной погоды?
2. Какие мероприятия можно провести с целью снижения расхода топлива в отопительном периоде?
3. Начертить эквивалентную схему теплоотводящей конструкции помещения, у которой две стены построены из материалов с различной теплопроводностью.
4. Как по известной разности температур на поверхностях перегородки определить тепловое сопротивление.
5. Какие свойства материала характеризуют способность материала передавать тепловую энергию от одной части тела к другой?
6. Как использовать коэффициент условного топлива для пересчета расхода различных видов топлива.

## **Практическое занятие № 5**

### **РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

Цель работы: изучить методику теплотехнического расчета тепловых режимов полупроводниковых приборов.

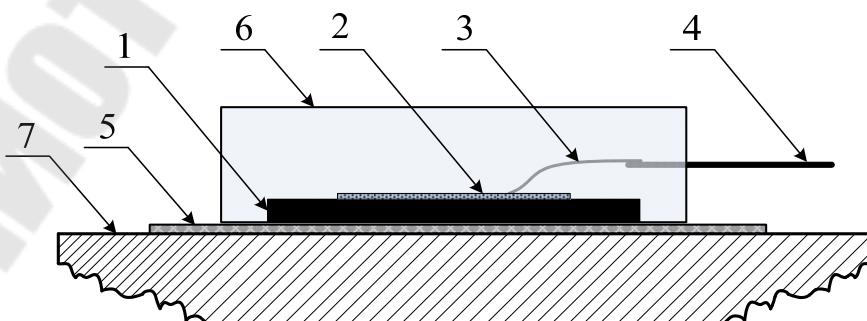
#### **Введение**

Ввиду ограниченного КПД полупроводниковых устройств в кристаллах полупроводниковых приборов (транзисторы, диоды, микросхемы) происходит преобразование электрической энергии в тепловую. В определенных условиях эти потери энергии могут вызывать перегрев рабочей области кристалла и как результат, выход из строя полупроводникового прибора. Задачей инженера является разработка мероприятий, которые обеспечивают необходимый тепловой режим полупроводников и как следствие надежную работу устройств.

Предлагаемая методика расчета имеет поверочный характер или иными словами предупредительно-профилактическую направленность. По результатам проведенных расчетов и выявления нарушений тепловых режимов, принимают решение об технических мероприятиях, устраняющих перегрев.

#### **Теоретические сведения.**

Полупроводниковый прибор, это прибор, действие которого основано на использовании свойств полупроводника. При этом полупроводниковый кристалл должен иметь механическое крепление, присоединение электрических контактов, устройства для отвода тепла, а также элементы, защищающие кристалл полупроводника от воздействий окружающей среды. Совокупность таких функциональных компонентов образуют полупроводниковый прибор.



*Рис. 5.1. Конструкция транзистора, установленного на теплоотводе*

Рассмотрим расчет теплового режима на примере транзистора в корпусе типа ТО 247 эскиз конструкции которого представлен на рисунке 5.1. На этом рисунке приняты следующие обозначения:

1. – медная пластина основания корпуса (подложка);
2. – полупроводниковый кристалл транзистора (припаян припоеем к медной пластине 1);
3. – гибкий проводник электрического контакта;
4. – вывод для внешнего подключения транзистора;
5. – диэлектрическая прокладка между основанием корпуса 1 и теплоотводящим радиатором 7;
6. – защитный пластиковый корпус;
7. – теплоотводящий радиатор из материала с низким удельным тепловым сопротивлением.

Выделение тепловой мощности происходит непосредственно в теле кристалла 2. А отвод тепла во внешнюю среду происходит по конструктивным элементам корпуса. Схема переноса тепла эквивалентная конструкции рисунка 5.1, составленная в соответствии с принципом электротепловой аналогии представлена на рисунке 5.2.

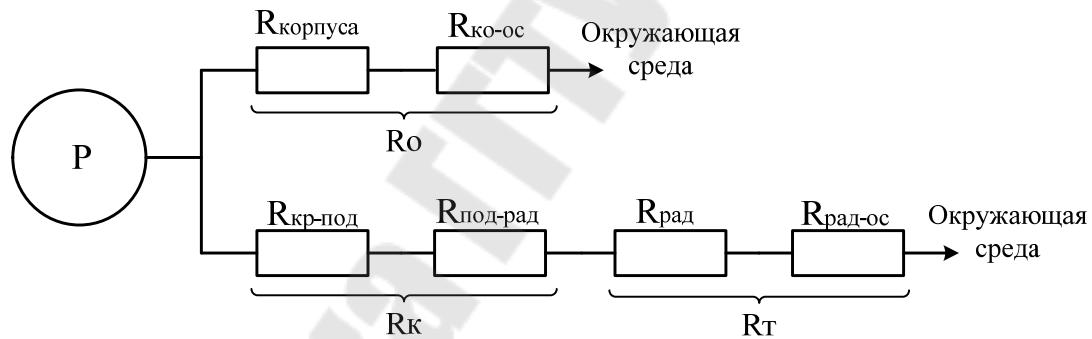


Рис. 5.2. Эквивалентная схема переноса тепла от кристалла полупроводникового прибора в окружающую среду

На рисунке приняты следующие обозначения тепловых сопротивлений:

$P$  – источник тепловой мощности (полупроводниковый кристалл);

$R_{\text{корпуса}}$  – тепловое сопротивление пластикового корпуса;

$R_{\text{ко-ос}}$  – тепловое сопротивление между корпусом и окружающей средой;

$R_{\text{кр-под}}$  – сопротивление между кристаллом и медной пластиной (подложкой);

$R_{\text{под-рад}}$  – тепловое сопротивление между медной пластиной корпуса (подложкой) и теплоотводящим радиатором;

$R_{\text{рад}}$  – тепловое сопротивление радиатора (обусловлено свойствами материала радиатора);

$R_{\text{рад-ос}}$  – тепловое сопротивление между поверхностью радиатора и окружающей средой (обусловлено условиями теплопередачи).

$R_O$  – тепловое сопротивление кристалл окружающей среды через корпус  $R_O = R_{\text{корпуса}} + R_{\text{ко-ос}}$ ;

$R_K$  – тепловое сопротивление конструкции корпуса и изолирующей пластины  $R_K = R_{\text{кр-под}} + R_{\text{под-рад}}$

$R_T$  – тепловое сопротивление теплоотвода  $R_T = R_{\text{рад}} + R_{\text{рад-ос}}$

В технической документации, производители полупроводниковых приборов указывают параметры тепловых сопротивлений корпуса (Thermal resistance, junction - case, top) и тепловых сопротивлений кристалл-подложка (Thermal resistance, junction - case, bottom). Все остальные тепловые сопротивления рисунка 5.2 могут варьироваться, в соответствии с конструкцией электронного устройства в котором применяют данный полупроводниковый прибор.

Проектирование теплоотводящей конструкции начинают с оценки требуемого общего (суммарного) теплового сопротивления –  $R_\Sigma$ :

$$R_\Sigma = \frac{T_{\text{пр}} - T_{\text{ос}}}{P},$$

где  $T_{\text{пр}}$  – предельно допустимая рабочая температура кристалла,  $T_{\text{ос}}$  – температура окружающей среды,  $P$  – требуемая (заданная) рассеиваемая мощность.

Как следует из схемы 5.2, отвод тепла происходит по двум параллельным цепям суммарное сопротивление которых можно определить по формуле:

$$R_\Sigma = \frac{R_0 \cdot (R_K + R_T)}{R_0 + R_K + R_T}$$

Из этого выражения получено уравнение для расчета требуемого сопротивления теплоотвода:

$$R_I = \frac{R_0 \cdot R_0 + R_\Sigma \cdot R_K - R_0 \cdot R_K}{R_K - R_\Sigma} \quad (5.2)$$

Тепловые и конструктивные параметры корпусов полупроводниковых приборов приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№	Тип корпуса	Максимальная температура кристалла	Максимальная рассеиваемая мощность	Тепловое сопротивление корпуса	Тепловое сопротивление корпуса среда	Тепловое сопротивление кристалл подложка	Размер медной пластины (подложки)
		С°	Вт	С/Вт	С/Вт	С/Вт	мм
1	HSOF	175	500	20	30	0.3	7.5×6.6
2	TO-247	175	280	40	50	0.45	17×14
3	TO-220	175	150	70	70	0.8	10×16
4	TO-252	175	125	100	100	1.2	5.5×5

### Задание для расчета

1. Для заданного в табл. 5.2, значения рассеиваемой мощности и типа корпуса полупроводникового прибора, а также конструкции изолирующей прокладки рассчитать требуемое суммарное тепловое сопротивление (формула 5.1).

2.

Таблица 5.2

№	Тип корпуса	Требуемая рассеиваемая мощность	Температура окружающей среды	Толщина изолирующей пластины	Материал изоляции
		Вт	С°	мм	
1	HSOF	25	45	0.1	слюда
2	TO-247	55	40	0.25	номакон
3	TO-220	25	35	0.1	слюда
4	TO-252	15	45	0.25	номакон
5	TO-247	30	40	0.2	слюда
6	TO-220	25	50	0.5	номакон
7	TO-252	17	35	0.2	слюда
8	HSOF	25	45	0.25	номакон
9	TO-247	25	45	0.5	слюда
10	TO-220	30	40	0.5	номакон

3. Определить значение теплового сопротивления изолирующей прокладки, изготовленной из заданного материала и толщины (формула 4.1). Теплопроводность материалов приведена в табл. 4.1.

4. Рассчитать требуемое значение теплового сопротивления теплоотвода (формула 5.2).

5. Для полученного значения сопротивления теплоотвода, определить рабочую температуру медной пластины корпуса.

## **Контрольные вопросы**

1. Дополнительный обдув теплоотвода снижает его температуру в месте установки полупроводникового прибора. Если для случая вашего задания, температура теплоотвода снизилась на 10 градусов, то на сколько градусов снизилась температура кристалла.
2. Зачем на теплоотводящие пластины наносят покрытие темного цвета. Как изменится тепловой режим полупроводникового прибора если алюминиевую поверхность теплоотвода покрыть слоем меди?
3. Как изменится температура полупроводникового кристалла если толщину изолирующей пластин увеличить в два раза?
4. Как изменится тепловой режим полупроводникового кристалла если на поверхность пластикового корпуса установить дополнительный теплоотвод с тепловым сопротивлением 1 [С/Вт]?

## *Практическое занятие № 6*

### **РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Цель работы: изучить методику расчета удельного потребления электрической энергии при переработке зерна

Показатели удельного энергопотребления являются важным параметром всех технологических процессов поскольку отражает энергетическую эффективность производства. В конечном счете, значения удельных расходов сырья, энергии и трудозатрат формируют стоимость продукции.

В расчетной работе предложено определить удельный расход электроэнергии на помол или очистку зерна. В процессе подготовки зерна используется различное оборудование, предназначенное для перемещения, просеивания, продувки и измельчения. Каждая установка имеет свое назначение и определенную номинальную мощность электропотребления  $P_{\text{ном}}$ . Однако, в процессе переработки зерна эти устройства нагружены не полностью, а с некоторой недогрузкой. Этот запас по нагрузке устройств характеризуют коэффициентом использования оборудования  $k_{\text{исп}}$  (оборудование немножко не догружено).

Комплекс оборудования с указанным коэффициентом использования позволяет перерабатывать определенное количество зерна за один час работы. Количество перерабатываемого зерна за единицу времени называют производительностью  $C_{\text{пр}}$  [т/ч].

Определить удельный расход электроэнергии на переработку зерна можно по формуле:

$$N = \frac{P_{\text{ном1}} \cdot k_{\text{исп1}} + P_{\text{ном2}} \cdot k_{\text{исп2}} + P_{\text{ном3}} \cdot k_{\text{исп3}}}{C_{\text{пр}}}.$$

где количество слагаемых в числителе соответствует числу применяемого оборудования.

#### **Задание для расчета**

1. Определить удельный расход электроэнергии на сортовой помол зерна ржи с производительностью  $C_{\text{пр}}=3.5$  [т/ч], при следующих параметрах используемого оборудования:

Тип оборудования	Номинальная мощность	Коэффициент использования
- вальцевальные станки	170 кВт	0,62
- воздуходувки	75 кВт	0,85
- силовое оборудование	18,5 кВт	0,6
- вентиляторы	28,7 кВт	0,53
- вспомогательное оборудование	6,25 кВт	0,5
- компрессор	22 кВт	0,35

2. Определить удельный расход электроэнергии на очистку зерна с производительностью  $C_{пр}=2.15$  [т/ч], при следующих параметрах используемого оборудования:

Тип оборудования	Номинальная мощность	Коэффициент использования
- нории	17 кВт	0,62
- воздуходувки	75 кВт	0,85
- силовое оборудование	18,5 кВт	0,6
- вентиляторы	28,7 кВт	0,53
- вспомогательное оборудование	1,25 кВт	0,5
- компрессор	1.2 кВт	0,35

3. Определить удельный расход электроэнергии на переработку зерна овса с производительностью  $C_{пр}=1.35$  [т/ч], при следующих параметрах используемого оборудования:

Тип оборудования	Номинальная мощность	Коэффициент использования
- нории	17 кВт	0,62
- пропарочное оборудование	75 кВт	0,8
- плющильное	22 кВт	0,9
- воздуходувки	5,5 кВт	0,85
- силовое оборудование	18,5 кВт	0,6
- вентиляторы	8,7 кВт	0,53
- вспомогательное оборудование	5,25 кВт	0,5
- компрессор	3,5 кВт	0,35

4. Определить удельный расход электроэнергии на производство комбикорма с производительностью  $C_{пр}=10.35$  [т/ч], при следующих параметрах используемого оборудования:

Тип оборудования	Номинальная мощность	Коэффициент использования
- дробильные станки	170 кВт	0,82
- измельчители	75 кВт	
- воздуходувки	7,5 кВт	0,85
- силовое оборудование	18,5 кВт	0,6
- вентиляторы	28,7 кВт	0,53
- вспомогательное	6,25 кВт	0,5
- нории	12 кВт	0,72
- компрессор	22 кВт	0,35

### Контрольные вопросы

1. Какое влияние на удельный расход электроэнергии окажет повышение производительности одной, отдельно взятой единицы оборудования? Ответ подтвердить расчетом.
2. Предложите способ снижения удельного расхода электроэнергии.
3. Из каких затрат формируется стоимость продукции?

## *Практическое занятие № 7*

### **РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ВЭР).**

Цель работы: изучить методику расчета эффективности мероприятий по использованию вторичных топливно-энергетических ресурсов.

Вторичные энергоресурсы – энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках (системах), который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других потребителей энергии.

ВЭР подразделяются на следующие группы:

1. Горючие ВЭР – ресурсы, которые обладают химической энергией, которые могут быть использованы в качестве топлива.

2. Тепловые ВЭР – ресурсы, обладающие физической теплотой (отходящие газы технологических агрегатов; нагретая основная, побочная и промежуточная продукция; рабочие теплоносители систем охлаждения; отработавшие в технологических и силовых установках горячие вода или пар).

3. ВЭР избыточного давления – ресурсы, покидающие технологические агрегаты под избыточным давлением (газы или жидкости с потенциальной энергией).

В расчетной работе предложено определить количество тепловой энергии, извлекаемой из сжатого воздуха. Работа тепловой машины (компрессора) сопровождается повышением температуры сжимаемого газа. Технический результат достигается за счет утилизации тепла потока сжатого газа и используемого в системе отопления. Это позволяет достичь экономии топлива в отопительный период, поскольку тепло от сжигания топлива заменяется теплом сжатого воздуха.

Компрессорная установка приводится в действие при помощи асинхронного двигателя, питанного от электрической сети. При этом, двигатель потребляет из сети мощность  $P_{\text{сети}}$  [кВт]. Соответствующую этой мощности механическую мощность можно определить по формуле:

$$P_{\text{двиг}} = P_{\text{сети}} \cdot \mu$$

где  $\mu$  – коэффициент полезного действия двигателя (таблица 7.1).

Тепловая энергия  $P_{\text{теп}}$ , подлежащая рекуперации может быть вычислена:

$$P_{\text{теп}} = P_{\text{двиг}} \cdot k_{\text{пер}}$$

где  $k_{\text{пер}}$  – коэффициент перехода энергии в тепло (табл. 7.1).

В результате проведенных мероприятий по использованию ВЭР, за время работы компрессора можно извлечь следующее количество тепла [Дж]:

$$Q = P_{\text{теп}} \cdot t$$

где  $t$  – время при котором тепло от сжатого компрессором воздуха использовался для подогрева помещений.

### Задание для расчета

1. Для заданных в таблице 7.1 значений рассчитать количество тепловой энергии полученной за счет использования ВЭР в течении года.

Таблица 7.1

№	мощность потребляемая из сети кВт	КПД двигателя	$k_{\text{пер}}$	время использования суток	время работы в сутках
					часов
1	7.5	0.75	0.7	180	5
2	9.0	0.8	0.8	150	7
3	16	0.82	0.7	100	5
4	22	0.85	0.8	150	8
5	27	0.87	0.7	120	9
6	32	0.88	0.8	175	7
7	45	0.9	0.7	180	9
8	75	0.93	0.8	180	10
9	130	0.94	0.7	180	12
10	315	0.95	0.8	180	24

2. Определить количество условного топлива, которое будет сэкономлено в результате мероприятий по использованию ВЭР. Коэффициенты пересчета в условное топливо приведены в таблице 4.3.

### Контрольные вопросы

- Что называют ВЭР? Каковы источники ВЭР?
- Оцените влияние КПД двигателя на значение извлекаемых ВЭР.

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

**Практикум  
для студентов специальностей  
1-36 04 02 «Промышленная электроника»  
и 1-53 01 07 «Информационные технологии  
и управление в технических системах»  
дневной и заочной форм обучения**

**Составитель Кухаренко Сергей Николаевич**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 09.01.26.

Рег. № 149Е.  
<http://www.gstu.by>