



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

**Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович, В. К. Дебой**

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

### **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 2019**

УДК 621.311.017(075.8)  
ББК 31.19я73  
Г90

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 26.12.2018 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Промышленная теплоэнергетика и экология» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *А. В. Шаповалов*

**Грунтович, Н. В.**

Г90 Основы энергосбережения : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович, В. К. Дебой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 68 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 978-985-535-423-0.

Освещены актуальные вопросы практического энергоснабжения: оценка и прогнозирование показателей энергоэффективности, составление и анализ энергетических балансов потребителей ТЭР, исследование факторов, влияющих на энергоэффективность оборудования.

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

УДК 621.311.017(075.8)  
ББК 31.19я73

ISBN 978-985-535-423-0

© Грунтович Н. В., Грунтович Н. В.,  
Дебой В. К., 2019  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2019

## Лабораторная работа № 1

### Обобщенные энергозатраты. Условное топливо

Цель и задачи работы:

1. Ознакомиться с понятиями «обобщенные энергозатраты» и «условное топливо».
2. Изучить коэффициенты перевода в условное топливо потребляемых топливно-энергетических ресурсов.
3. Научиться рассчитывать обобщенные энергозатраты для промышленных потребителей.

### Теоретическая часть

В Законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 8 января 2015 г. № 239-З применяются следующие основные понятия:

– энергосбережение – организационная, практическая, научная, информационная и другая деятельность субъектов отношений в сфере энергосбережения, направленная на более эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов;

– топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность всех природных и полученных в результате преобразований видов топлива и энергии;

– эффективное использование ТЭР – наиболее прогрессивный экономически оправданный способ использования топливно-энергетических ресурсов.

Энергетика – область человеческой деятельности, связанная с производством, передачей потребителям и использованием последними энергии.

Для экономических расчетов промышленных потребителей, сравнения показателей топливоиспользующих устройств друг с другом и планирования расхода ТЭР необходима единая база. Поэтому введено понятие «условное топливо».

В методике по формированию топливно-энергетического баланса и расчету на его основе макроэкономических статистических показателей, характеризующих уровень потребления топливно-энергетических ресурсов (*с внесенными изменениями и дополнениями постановлением Белстата от 28.12.2016 № 207*), приведены следующие определения единицы условного топлива и коэффициентов пересчета [2]:

– единица условного топлива – условная единица измерения, применяемая для отражения общего количества всех видов топлива и энергии. В качестве единицы условного топлива в Республике Беларусь используется тонна угольного эквивалента, которая соответствует тонне угля с низшей теплотворной способностью, равной 7000 ккал/кг (29,3 МДж/кг), что соответствует хорошему малозольному сухому углю;

– коэффициент пересчета топлива в тонны условного топлива – отношение низшей теплотворной способности физической единицы массы (объема) топлива к низшей теплотворной способности единицы массы условного топлива;

– топливо – энергетический продукт, являющийся энергоносителем и выделяющий при его сжигании или ином внешнем воздействии тепловую энергию. Различают твердые, жидкие и газообразные виды топлива;

– физические единицы измерения топлива и энергии – единицы измерения топлива и энергии, которые наиболее полно соответствуют его физическому состоянию и требуют наиболее простых методов и приборов измерения;

– энергетические продукты – продукты, используемые в качестве источников энергии либо энергоносителей. Различают энергетические продукты как прямого использования (например, тепловая и электрическая энергия), так и требующие для высвобождения энергии какого-либо внешнего воздействия (например, химического, которое осуществляется путем сжигания топлива).

*Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.*

Высшей теплотой сгорания топлива  $Q_B^P$  называется количество тепла, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> нормального газообразного топлива. В высшую теплоту сгорания входит тепло, выделяющееся при конденсации водяных паров, которые содержатся в продуктах сгорания топлива.

При температуре уходящих газов котельных агрегатов влага в продуктах сгорания находится в парообразном состоянии. Поэтому при тепловом расчете котельных агрегатов обычно пользуются *низшей теплотой сгорания топлива  $Q_H^P$ , которая не учитывает скрытую теплоту парообразования водяного пара, содержащегося в продуктах сгорания топлива.*

Теплоту сгорания топлива определяют экспериментально. Для этого служат специальные приборы – калориметры.

Теплота сгорания основных видов органического топлива колеблется от 6200–7500 кДж/кг (многозольные сланцы, высоковлажный торф, бурый уголь) до 25000–29000 кДж/кг (высококалорийный каменный уголь) и 33000–42000 кДж/кг (нефтепродукты и газ). В расчетах широко используется понятие условного топлива с теплотой сгорания 29309 кДж/кг (7000 ккал/кг).

Соотношение между условным топливом и натуральным выражается формулой

$$B_T = \mathcal{E}B_H = (Q_H^P / 7000)B_H,$$

где  $B_T$  – масса эквивалентного количества условного топлива, кг у. т.;  $B_H$  – масса натурального топлива, кг (твердое и жидкое топливо) или  $\text{м}^3$  – (газообразное);  $Q_H^P$  – низшая теплота сгорания данного натурального топлива, ккал/кг или ккал/ $\text{м}^3$ .

Соотношение  $\mathcal{E} = Q_H^P / 7000$  называется калорийным коэффициентом (или коэффициентом пересчета натурального топлива в условное).

Международное энергетическое агентство (IEA) приняло за единицу нефтяной эквивалент, обычно обозначаемый аббревиатурой ТОНЕ (*англ.* Tonne of oil equivalent). Одна тонна нефтяного эквивалента равняется 41,868 ГДж.

Усредненные значения калорийных коэффициентов представлены в табл. 1.1.

В приложении 1 приведены наиболее полные сведения по видам топлива и их калорийным коэффициентам [3].

Расход топлива, тепловой и электрической энергии, необходимый для производства единицы продукции (работ, услуг), выражается в следующих единицах:

– топливо (котельно-печное топливо) – в тоннах условного топлива (т у. т.);

– тепловая энергия – в гигакалориях (Гкал);

– электрическая энергия – в тысячах киловатт-часов (тыс. кВт · ч).

*Обобщенные энергозатраты – первичная энергия в тоннах условного топлива (т у. т.).*

Для перевода тепловой и электрической энергии из энергетических единиц измерения в угольный эквивалент используются сле-

дующие соотношения между единицами энергии в соответствии с Международной системой единиц (СИ):

1 Гкал = 1000 Мкал = 1000/7000 т у. т. = 0,143 т у. т.;  
1 тыс. кВт · ч = 860 Мкал = 860/7000 т у. т. = 0,123 т у. т.

Для оценки обобщенных энергозатрат промышленного предприятия (потребителя ТЭР) учитываются все первичные энергоресурсы, поступающие на предприятие.

В расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов [20]: удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплоэнергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2019 г.

В соответствии со сложившимся за 2018 г. балансом электрической и тепловой энергии ГПО «Белэнерго» и данными ведомственной отчетности по форме 6-ТП в 2019 г. для расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов при составлении технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий в установленном порядке рекомендуется использовать следующие данные:

– **по электрической энергии:** 1) фактический удельный расход топлива на отпуск электроэнергии на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) по итогам работы за 2018 г. – 284,1 г. у. т./кВт · ч; коэффициент потерь электроэнергии в электрических сетях ГПО «Белэнерго» (с учетом распределительных) – 8,35 п. п;

– **по тепловой энергии:** 1) величина потерь в тепловых сетях по ГПО «Белэнерго» – 9,30 п. п; 2) значения удельных расходов условного топлива на производство тепловой энергии на теплоисточниках:

1) энергоснабжающих организаций ГПО «Белэнерго» на уровне фактически сложившегося удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии по ГПО «Белэнерго» – 166,36 кг у. т./Гкал;

2) находящихся в иной ведомственной принадлежности – по показателям работы конкретного теплоисточника, обеспечивающего тепловой энергией.

Таблица 1.1

**Усредненные значения калорийных коэффициентов для перевода ТЭР  
в условное топливо**

Тепловая энергия, Гкал	0,166 (на 2020 г.)
Электрическая энергия, тыс. кВт · ч	0,284 (на 2020 г.)
Торф, т	0,34–0,41 (в зависимости от влажности)
Торфобрикеты, т	0,45–0,6 (в зависимости от влажности)

Окончание табл. 1.1

Природный газ, тыс. м <sup>3</sup>	1,15
Мазут, т	1,37
Нефть, т	1,43
Дизтопливо, т	1,45

Условное топливо составляет основу топливно-энергетического баланса (ТЭБ) страны. ТЭБ страны формируется из сведений формы государственной статистической отчетности 12-тэк «Отчет о расходе топливно-энергетических ресурсов» потребителей ТЭР [2], [4].

### **Пример 1.1. Оценка обобщенных энергозатрат ТЭР условного предприятия**

*Дано.* Предприятие за год потребило: ТЭ (на технологические нужды, отопление, горячее водоснабжение) – 4500 Гкал; ЭЭ – 750 тыс. кВт · ч.

Рассчитаем обобщенные энергетические затраты предприятия:

$$\begin{aligned} \text{ОЭЗ}_{\Sigma} &= \text{ОЭЗ}_{\text{ТЭ}} + \text{ОЭЗ}_{\text{ЭЭ}} = 4500 \cdot 0,166 + 750 \cdot 0,284 = 787,5 + 210 = \\ &= 997,5 \text{ т у. т.} \end{aligned}$$

**Задание 1.1.** Согласно заданному преподавателем варианту (табл. 1.3) необходимо рассчитать для условного предприятия обобщенные энергозатраты.

### **Структура отчета**

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде решенных задач по заданию 1.1.

Таблица 1.2

#### **Исходные данные для выполнения задания 1.1**

Вариант задания	Потребляемые ТЭР условного предприятия		
	Топливо (технологическое)	Тепловая энергия ТЭ, Гкал	Электрическая энергия ЭЭ, кВт · ч
1	Газ – 22797 м <sup>3</sup>	4200	176640
2	Мазут – 1,2 т	6800	870000

Вариант задания	Потребляемые ТЭР условного предприятия		
	Топливо (технологическое)	Тепловая энергия ТЭ, Гкал	Электрическая энергия ЭЭ, кВт · ч
3	Газ – 35000 м <sup>3</sup>	5600	1200000
4	Газ – 58000 м <sup>3</sup>	3400	145860
5	–	7600	5680000
6	Мазут – 1 т	3200	1230000
7	Газ – 16227 м <sup>3</sup>	5000	1480000
8	–	1520	1280000

### Контрольные вопросы

1. Когда была принята последняя редакция Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении»?
2. Дайте определение следующим понятиям: «энергосбережение», «топливно-энергетические ресурсы», «эффективное использование ТЭР».
3. Где вырабатывается ЭЭ?
4. Назовите виды органического топлива.
5. Что такое высшая и низшая теплота сгорания топлива? Назовите отличие между ними.
6. Приведите усредненные показатели теплоты сгорания нескольких видов органического топлива.
7. Для чего введено понятие «условное топливо»?
8. Дайте определение условного топлива.
9. Как рассчитывается калорийный коэффициент топлива?
10. Напишите формулу для перевода натурального вида топлива в условное.
11. Что принято за единицу условного топлива в международном энергетическом агентстве?
12. Назовите единицы измерения потребления котельно-печного твердого топлива.
13. Назовите коэффициенты перевода электрической и тепловой энергии в условное топливо.



## Лабораторная работа № 2

### Показатели энергоэффективности

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с основными показателями энергоэффективности: удельные и общие расходы ТЭР, целевой показатель по энергосбережению.

2. Научиться оценивать текущее состояние и прогнозировать показатели энергоэффективности на основе моделей зависимости удельных и общих расходов энергоресурса от объема выпуска продукции.

### Теоретическая часть

Законом Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 8 января 2015 г. № 239-З определено понятие эффективного использования ТЭР: эффективное использование топливно-энергетических ресурсов – наиболее прогрессивный экономически оправданный способ использования топливно-энергетических ресурсов.

В главе 4 Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении» «Показатели, нормирование и программы в сфере энергосбережения» в соответствии со статьей 15 определены следующие показатели [1]: в сфере энергосбережения устанавливаются *целевой показатель энергосбережения*, показатели по использованию местных топливно-энергетических ресурсов и вторичных энергетических ресурсов, а также *другие показатели в сфере энергосбережения в соответствии с законодательством об энергосбережении* (научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) (с учетом их нормативных потерь) на производство единицы продукции (работ, услуг) любого назначения, установленная нормативными документами).

*Норма расхода ТЭР* (далее – норма) – величина потребления топлива, тепловой, электрической энергии на производство единицы продукции (работ, услуг) определенного качества, измеряемая в условных (натуральных) единицах.

Различают текущие и прогрессивные нормы расхода ТЭР.

*Текущие нормы расхода ТЭР* – ряд значений норм расхода ТЭР, формирующийся сроком до 1 календарного года и учитывающий минимизацию потребления ТЭР при производстве продукции (работ, услуг).

*Прогрессивные нормы расхода ТЭР* – убывающий ряд значений норм расхода топливно-энергетических ресурсов, формирующийся на период от 1 года до 5 лет и соответствующий обоснованным предложениям по снижению норм расхода ТЭР.

*Топливо-энергетические ресурсы* – совокупность всех природных и полученных в результате преобразований видов топлива и энергии.

Рассмотрим каждый показатель ЭЭФ.

*Абсолютная величина электропотребления* ( $W$ ) за отчетный период. Данный показатель отражает изменение общего электропотребления промышленного предприятия (ПП), не раскрывая при этом факторов, влияющих на его изменение. Абсолютная величина электропотребления как показатель ЭЭФ может использоваться для потребителей, не производящих продукцию, например, объектов соцкультбыта.

Еще в 1947 г. было показано для ПП, что в наиболее общем виде энергетическая характеристика может быть представлена уравнением [5]:

$$W = w_{\text{уд}}\Pi + W_{\text{усл.-пост}}, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2.1)$$

где  $W$  – расход ЭЭ за данный отрезок времени, зависящий от вида цеха, пролета и т. д.;  $W_{\text{усл.-пост}}$  – постоянная часть расхода ЭЭ, в основном не зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч;  $w_{\text{уд}}$  – переменная часть расхода ЭЭ на единицу продукции, в основном зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч;  $\Pi$  – размер продукции за соответствующее время, ед. изм. продукции.

Именно наличие в заводском, цеховом электропотреблении условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ привело к тому, что в общем виде зависимость *общезаводского удельного расхода ЭЭ* ( $W_{\text{уд}}$ ) от объема выпуска продукции имеет гиперболическую зависимость (рис. 2.1):

$$W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. изм. продукции}. \quad (2.2)$$



Рис. 2.1. Зависимость общезаводского удельного расхода ЭЭ от объемов выпускаемой продукции

*Общезаводской удельный расход ЭЭ (УРЭ)* является показателем ЭЭФ *отдельного* вида выпускаемой продукции. Для большинства ПП общезаводской УРЭ при увеличении объемов выпуска продукции снижается, что указывает на улучшение ЭЭФ (см. рис. 2.1). Это обусловлено высокой долей условно-постоянной составляющей затрат ЭЭ в общепроизводственном (общезаводском) электропотреблении при практически неизменном технологическом УРЭ [6].

*Требование высокой точности оценки УРЭ по видам продукции обуславливается необходимостью их учета при формировании себестоимости продукции.* Затраты ЭЭ на производство конкретного вида продукции зависят от большого числа объективных и субъективных факторов. К *объективным* факторам относятся: производственная программа выпуска продукции, характеристики используемого сырья и окружающей среды, состояние технологического оборудования. К *субъективным* факторам относятся: внедрение энергосберегающих мероприятий, квалификационные навыки производственного персонала, выбор того или иного состава технологического оборудования для выполнения заданной производственной программы.

Для большинства ПП, работающих в условиях изменяющейся производственной программы, оценка ЭЭФ с помощью данного показателя должна производиться с учетом приведения значений УРЭ предыдущего периода к сопоставимым условиям отчетного периода.

*Целевой показатель (ЦП) по энергосбережению* – интегральный показатель ЭЭФ, характеризующий производственную деятельность всего ПП по реализации мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР на всех стадиях его потребления.

Необходимость введения ЦП обуславливается следующими причинами:

– во-первых, ЦП позволяет оценивать ЭЭФ использования всех ТЭР ПП в целом в отличие от удельного расхода ТЭР, относящегося к конкретному виду энергоресурса и конкретному виду продукции;

– во-вторых, ЦП используется для оценки ЭЭФ всех без исключения потребителей ТЭР, а не только производящих продукцию, как в случае удельного расхода ТЭР;

– в-третьих, в отличие от общего потребления ТЭР, не раскрывающего причин изменения расхода энергоресурсов в отчетном периоде, учет сопоставимости условий при расчете ЦП позволяет выявить факторы, оказавшие влияние на потребление ТЭР.

Целевой показатель ежегодно устанавливается Советом Министров Республики Беларусь в качестве одного из основных показателей социально-экономического и производственного развития республики. Значение ЦП доводится в виде задания республиканским органам управления и ПП.

Целевой показатель по энергосбережению для республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь (кроме государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго» (далее – ГПО «Белэнерго»)), облисполкомов и Мингорисполкома, организаций всех форм собственности определяется как относительное изменение обобщенных энергозатрат в отчетном периоде по сравнению с базисным:

$$\text{ЦП} = \left( \frac{\text{ОЭЗ}^{\circ}}{\text{ОЭЗ}^{\flat}} - 1 \right) 100 \%,$$

где  $\text{ОЭЗ}^{\circ}$  – обобщенные энергозатраты отчетного периода; определяются на основании данных государственной статистической отчетности по форме 12-тэк «Отчет о расходе топливно-энергетических ресурсов», утвержденной постановлением Национального статистического комитета Республики Беларусь от 08.09.2009 г. № 153 (далее – форма 12-тэк);  $\text{ОЭЗ}^{\flat}$  – обобщенные энергозатраты базисного периода; определяются на основании данных государственной статистической отчетности по форме 12-тэк [3].

Для объективной оценки ЦП обобщенные энергозатраты базисного периода приводятся к сопоставимым условиям отчетного периода.

Для обеспечения сопоставимости условий функционирования ПП необходимо учитывать [7]: строительство и ввод новых объектов бытовой и социально-культурной сферы (здравоохранения, образования, культуры и спорта, бытового обслуживания и т. д.); изменение объемов продукции сельского хозяйства; изменение объемов производства промышленной продукции (работ, услуг); ввод нового жилья; температуру наружного воздуха в отопительном периоде; продолжительность отопительного периода; замещение импортируемых видов топлива местными видами топлива (далее – МВТ).

Физический смысл ЦП состоит в том, что при сопоставимых условиях отчетного и базисного периодов значение данного показателя равно достигнутой экономии или перерасходу ТЭР (в процентах от-

носителем потребления ТЭР отчетного периода). Поэтому задание по выполнению ЦП всегда задается со знаком «-». Отчетное положительное значение ЦП свидетельствует об ухудшении ЭЭФ в анализируемом периоде. Выполнение ЦП должно быть подтверждено реальными мероприятиями по энергосбережению.

*ЦП при приведении к сопоставимым условиям с учетом реальных зависимостей между потреблением ТЭР и объемом выпуска продукции более объективно отражает работу ПП в области энергосбережения и достигнутую ЭЭФ.*

**Задание 2.1.** Согласно заданному преподавателем варианту (табл. 2.1), для предприятия по данным суммарного расхода ЭЭ за текущий год  $W_{г}$ , объемам выпуска продукции  $\Pi_{г}$  и заданной доли условно-постоянного расхода ЭЭ ( $W_{\text{усл.-пост}}$ , %) необходимо:

– определить уравнения зависимостей удельного и общего расхода

ЭЭ и топлива от объема выпуска продукции вида  $W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi}$

и  $W = w_{\text{уд}}\Pi + W_{\text{усл.-пост}}$ ;

– построить графики зависимостей  $W_{\text{уд}}$  и  $W$  по топливу и ЭЭ от заданного объема выпуска продукции и выполнить их анализ;

– выполнить прогноз общего и удельного расхода каждого энергоресурса на следующий год, в условиях заданного роста объема выпуска продукции.

### **Пример выполнения задания 2.1**

По табл. 2.1 выбираем исходные данные в соответствии с вариантом:

– суммарный расход ЭЭ за отчетный период, ЭЭ  $W_{\text{отч.,ЭЭ}} = 1200000$  кВт·ч.

– доля условно-постоянного расхода ЭЭ,  $W_{\text{усл.-пост}} = 60$  %;

– объем выпуска продукции в отчетном периоде,  $\Pi_{\text{отч.пер}} = 672000$  усл. ед.;

– изменение объема выпуска  $\Pi$  в планируемом периоде от отчетного – 10 %.

1. Определение уравнения зависимостей удельного и общего расхода ЭЭ от объема выпуска продукции вида:

$$W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi} \text{ и } W = w_{\text{уд}}\Pi + W_{\text{усл.-пост}};$$

– условно-постоянная составляющая электропотребления в соответствии с заданным условием 60 % от  $W_{\text{от}}$ :

$$W_{\text{усл.-пост}} = W_{\text{отч}} \cdot 0,6 = 1200000 \cdot 0,6 = 720000 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

– технологический расход ЭЭ  $W_{\text{техн}}$  за отчетный период составит:

$$W_{\text{техн}} = W_{\text{отч}} - W_{\text{усл.-пост}} = 1200000 - 720000 = 480000 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

– удельный технологический расход ЭЭ  $w_{\text{уд}}$  кВт · ч/усл. ед.:

$$w_{\text{уд}} = \frac{W_{\text{техн}}}{\Pi} = \frac{480000}{672000} = 0,714 \text{ кВт} \cdot \text{ч/усл. ед.}$$

Уравнения зависимостей удельного и общего расхода ЭЭ от объема выпуска продукции будут иметь вид:

$$W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi} = \frac{0,71 + 720000}{\Pi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/усл. ед.};$$

$$W = w_{\text{уд}}\Pi + W_{\text{усл.-пост}} = 0,71\Pi + 720000, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2. Построение графиков зависимостей  $W_{\text{уд}}$  и  $W$  по ЭЭ от заданного объема выпуска продукции  $\Pi$ .

Задаемся возможным диапазоном изменения объемов выпуска продукции  $\Pi$   $672000 \pm 50 \%$ , тогда возможное изменение объемов выпуска продукции может быть задано рядом значений. В табл. 2.2 сведены данные по удельным и общим расходам ЭЭ для возможных других значений годового выпуска продукции.

Таблица 2.1

## Исходные данные для выполнения задания 2.1

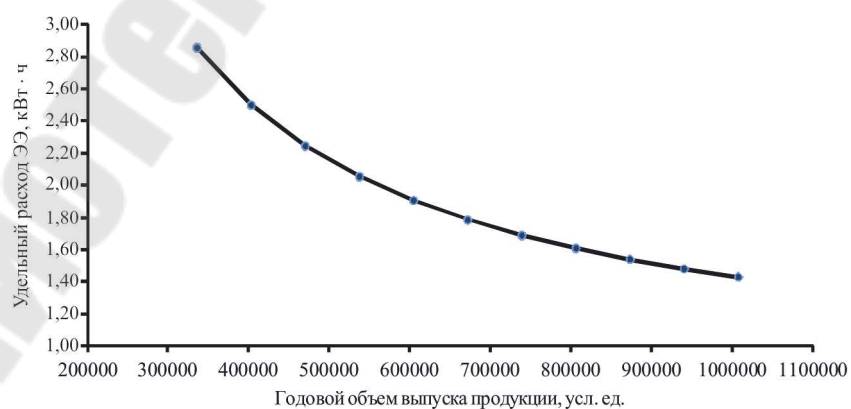
Вариант задания	Топливо-энергетические ресурсы, затраченные на производство продукции в отчетном периоде				Объем выпуска продукции, ед. изм.	
	Топливо		ЭЭ		П <sub>отч.пер</sub> , усл. ед.	Изменение П на планируемом периоде от отчетного, %
	Суммарный технологический расход топлива за отчетный период $W_{отч, T}$	Доля условно-постоянной расхода топлива $W_{усл.-пост, \%}$ от $W_{отч, \%}$	Суммарный расход ЭЭ за отчетный период $ЭЭ W_{отчЭЭ}$ , кВт · ч	Доля условно-постоянной расхода ЭЭ, $W_{усл.-пост}$ от $W_{отч, \%}$		
1	Газ – 22797 м <sup>3</sup>	30 %	176640	20 %	44160	–20 %
2	Мазут – 1,2 т	10 %	870000	10 %	217500	+30 %
3	Газ – 35000 м <sup>3</sup>	–	1200000	30 %	30000	–10 %
4	Газ – 58000 м <sup>3</sup>	25 %	145860	20 %	36465	+20 %
5	–	–	5680000	60 %	198800	+10 %
6	Мазут – 5,4 т	30 %	1230000	15 %	43050	+5 %
7	Газ – 162270 м <sup>3</sup>	20 %	1480000	50 %	51800	–20 %
8	–	–	1280000	35 %	44800	+20 %
9	Газ – 227970 м <sup>3</sup>	30 %	176640	80 %	98918	+10 %
10	Мазут – 6,2 т	–	870000	30 %	487200	+30 %
Пример	–	–	1200000	60 %	672000	–10 %

Таблица 2.2

**Расчет значений удельных и общих расходов ЭЭ на выпуск продукции в зависимости от производственной программы**

Коэффициент изменения объема выпуска продукции, о. е.	П, усл. ед.	Удельный расход ЭЭ, $W_{уд} = w_{уд} + W_{усл.-пост} / П =$ $= 0,714 + 720000 / П,$ кВт · ч/усл. ед.	Общий расход ЭЭ, $W = w_{уд} П + W_{усл.-пост} =$ $= 0,714 П + 720000,$ кВт · ч	Погрешность расчета по модели для базисного объема выпуска продукции, %
0,5	336000	2,86	959904	–
0,6	403200	2,50	1007884,8	–
0,7	470400	2,24	1055865,6	–
0,8	537600	2,05	1103846,4	–
0,9	604800	1,90	1151827,2	–
1	672000	1,79	1199808	0,016
1,1	739200	1,69	1247788,8	–
1,2	806400	1,61	1295769,6	–
1,3	873600	1,54	1343750,4	–
1,4	940800	1,48	1391731,2	–
1,5	1008000	1,43	1439712	–

На основе полученных расчетных значений удельных и общих расходов ЭЭ для ряда возможных годовых значений объема выпуска продукции строим графики зависимостей  $W_{уд}$  и  $W$  ЭЭ от заданного объема выпуска продукции (рис. 2.2 и 2.3). Для этого по оси абсцисс откладываем значения годового объема выпуска продукции П, а по оси ординат значения удельных или общих расходов ЭЭ из табл. 2.2.



*Рис. 2.2. Зависимость удельного расхода ЭЭ исследуемого производства от объема выпуска продукции*



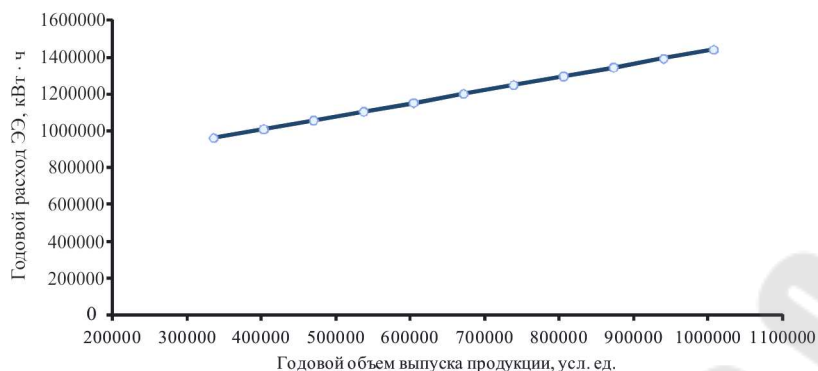


Рис. 2.3. Зависимость общего расхода ЭЭ исследуемого производства от объема выпуска продукции

Анализ графиков зависимостей  $W_{уд}$  и  $W$  по ЭЭ от заданного объема выпуска продукции  $\Pi$ :

- при наращивании объемов выпуска продукции удельный расход ЭЭ снижается, что свидетельствует об улучшении ЭЭФ предприятия;
- при снижении объемов выпуска продукции удельный расход ЭЭ повышается и ЭЭФ предприятия снижается;
- при наращивании объемов выпуска продукции увеличивается общий расход ЭЭ за счет роста его технологической составляющей.

Прогнозное значение расхода ЭЭ на следующий год в условиях снижения объема выпуска продукции на 10 % можно также определить из табл. 2.2: при годовом объеме выпуска продукции 604800 усл. ед.  $W_{уд} = 1,9$  кВт·ч/усл. ед., что выше удельного расхода ЭЭ предыдущего года приблизительно на 6,2 %. Годовой расход ЭЭ на прогнозный год составит  $W = 1151827,2$  кВт·ч. Если бы годовой расход ЭЭ был рассчитан по достигнутому удельному расходу ЭЭ предыдущего года, который составил 1,79 кВт·ч/усл. ед., то его значение было бы равно  $W = W_{уд} \cdot \Pi_{пр} = 1082592$  кВт·ч и погрешность прогнозирования составила бы 6 % в сторону занижения.

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде решенных задач по заданию 2.1.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение эффективного использования ТЭР.
2. Назовите отчетные показатели энергетической эффективности для субъектов хозяйствования Республики Беларусь.
3. Какой из показателей энергетической эффективности используется при формировании себестоимости продукции потребителей, производящих продукцию?
4. Что такое норма расхода ТЭР?
5. Чем отличаются текущие нормы расхода ТЭР от прогрессивных?
6. Что представляет собой энергетическая характеристика ПП? Запишите общий вид уравнения.
7. Поясните, что представляет собой условно-постоянный расход ТЭР.
8. От каких факторов зависят затраты ЭЭ на производство продукции?
9. Что такое целевой показатель по энергосбережению? Когда он впервые был введен?
10. Назовите причины ввода целевого показателя по энергосбережению.
11. Назовите физический смысл целевого показателя по энергосбережению.
12. Что собой представляют сопоставимые условия при расчете целевого показателя по энергосбережению?

### Лабораторная работа № 3

## Нормирование расхода электроэнергии аналитическим методом

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с методами нормирования ТЭР.
2. Научиться с использованием данных годового фактического баланса ЭЭ определять параметры электрической характеристики ПП

$$W_{\text{уд}} = \frac{W_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi}$$

3. Прогнозировать удельный расход ЭЭ с учетом планового объема выпуска продукции.

### Теоретическая часть

Нормирование потребления ТЭР решает три основные задачи:

- определение энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции (при калькуляции себестоимости);
- определение плановой потребности ТЭР;
- оценка эффективности использования ТЭР.

Под нормой расхода ЭЭ понимают меру потребления ЭЭ на производство единицы продукции определенного качества в планируемом периоде (квартал, год) [1]. Наиболее важными требованиями, предъявляемыми к разрабатываемым нормам, являются:

- учет условий производства и внедрения мероприятий по энергосбережению;
- способствование максимальной мобилизации резервов экономики ЭЭ;
- взаимосвязанность с другими показателями хозяйственной деятельности ПП.

Нормы систематически пересматриваются с учетом планируемого развития производства продукции, изменения структуры производства, достижения наиболее экономичных показателей использования ЭЭ (отечественных и зарубежных).

Для стимулирования ПП к внедрению энергосберегающих мероприятий предусмотрено использование прогрессивных норм.

В практике нормирования электропотребления в Республике Беларусь в настоящее время признанными являются следующие методы: *опытный, расчетно-аналитический, отчетно-статистический, расчетно-статистический или их сочетание.*

*Опытный метод* разработки норм расхода ЭЭ заключается в определении УРЭ по данным, полученным в результате эксперимента. Для проведения эксперимента оборудование должно быть в технически исправном состоянии и отлажено, а технологический процесс должен осуществляться в режиме, предусмотренном технологическими регламентами и инструкциями. При этом загрузка энергетического и технологического оборудования по мощности и производительности должна соответствовать проектной.

*Расчетно-аналитический метод* предусматривает определение норм расхода ЭЭ расчетным путем по статьям расхода этих ресурсов в производстве (на основе составления полного электрического баланса), или путем математического описания закономерности протекания процесса на основе учета нормообразующих факторов (аналитических зависимостей, связывающих расход ЭЭ с технологическими факторами). При разработке норм должны учитываться прогрессивные показатели использования ЭЭ.

Для большинства ПП основой расчетно-аналитического метода определения УРЭ является составление полного годового (квартального) электрического баланса ПП, который предполагает учет влияния каждой единицы электрооборудования на суммарное электропотребление. Основной расчетной формулой для определения объема потребления ЭЭ отдельным ЭП является:

$$W = P_{\text{уст}} N k_{\text{и}} t_{\text{р}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность силового электрооборудования, определенная по паспортным данным, кВт;  $T_{\text{р}}$  – продолжительность работы оборудования за соответствующий период, ч;  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования оборудования, определяемый по справочным материалам [8] либо по данным замеров;  $N$  – количество однотипного оборудования, шт.

Годовой расход ЭЭ на освещение производственных участков и помещений предприятия определяется по формуле

$$W_{\text{осв}} = P_{\text{уст}} k_{\text{с}} T_{\text{о}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.2)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность освещения, кВт;  $k_{\text{с}}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки, о. е.;  $T_{\text{о,мах}}$  – число часов работы освещения за год, принимается по справочным данным (табл. 3.1 и 3.2) [8], [9].

Согласно СН357–77 п. 3.166 расчетная нагрузка на вводе в здание, а также нагрузка питающих линий определяется умножением установленной мощности осветительной нагрузки на коэффициент спроса. При отсутствии данных, основанных на специальных обследованиях, значение  $k_c$  следует принимать: 1 – для небольших производственных зданий; 0,95 – для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,85 – для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 – для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других корпусов; 0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 1 – для линий, питающих отдельные групповые щитки.

Таблица 3.1

**Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения на северной широте 56°**

Количество рабочих дней в неделю	Рабочее освещение и освещение безопасности				Эвакуационное освещение
	Число смен			При непрерывной работе	
	1	2	3		
При наличии естественного освещения					
5	750	2250	4150	–	4800
6	600	2100	4000	–	4800
7	–	–	–	4800	4800
При отсутствии естественного освещения					
5	2150	4300	6500	–	8760
6	2150	4300	6500	–	8760
7	–	–	–	7700	8760

Таблица 3.2

**Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки наружного освещения на всех широтах**

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 ч	до 24 ч	на всю ночь	до 1 ч	до 24 ч
Рабочее освещение заводской территории	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	–	–	–	–	–

Следует понимать, что при составлении как фактического, так и планового электрического баланса существуют факторы, вносящие погрешность при определении расхода ЭЭ. Разработка баланса ЭЭ предполагает однозначность определения количества работающего электрооборудования, режимов и продолжительности его работы:

–  $k_{и}$  – коэффициент использования, характеризующий загрузку оборудования по мощности и по времени, определяется либо по справочным материалам, либо по данным замеров. Значения в справочных материалах являются усредненными данными по группам однотипного технологического оборудования. Поэтому определение по справочным материалам вносит значительную ошибку при составлении электрического баланса конкретного ПП;

– невозможность учета реально отработанного времени каждым ЭП. Вносимая погрешность увеличивается с ростом количества ЭП.

На современных промышленных предприятиях с большим количеством ЭП баланс ЭЭ разрабатывается под фактическое электропотребление методом «от обратного», а среднегодовой УРЭ определяется по выражению

$$W_{уд} = \frac{W_{\phi}}{\Pi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. прод.}, \quad (3.3)$$

где  $W_{\phi}$  – фактическое годовое электропотребление ПП, кВт · ч /год;  
 $\Pi$  – фактический годовой объем выпуска продукции, ед. прод./год.

Рассчитанный таким образом УРЭ отражает среднее значение ( $W_{уд,ср}$ ) при среднем объеме выпуска продукции ( $\Pi_{ср}$ ) за рассматриваемый период и является единичным значением из множества его суточных реализаций на годовом интервале времени. Однако этот недостаток может быть преодолен, если на основе фактического разработанного баланса ЭЭ выделить технологическую и условно-постоянные составляющие расхода ЭЭ, что позволяет определить зависимость вида (3.4) и разработать нормы для возможного диапазона изменения продукции, задаваясь рядом изменения продукции.

Зависимость представляет связь между расходом ЭЭ и объемом выпущенной продукции за период:

$$W_{уд} = \frac{w_{уд} + W_{усл.-пост}}{\Pi}, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.4)$$

где  $W_{уд}$  – общепроизводственный удельный расход ЭЭ за данный отрезок времени, кВт · ч/ед. прод.;  $W_{усл.-пост}$  – постоянная часть расхода ЭЭ,

в основном не зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч;  $w_{уд}$  – переменная часть расхода ЭЭ на единицу продукции, в основном зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч / ед. прод.; П – размер продукции за соответствующее время, ед. прод.

Указанную зависимость (3.4) можно получить и при использовании расчетно-статистического метода нормирования. Порядок расчета норм на основе расчетно-статистического метода следующий:

– определяются наиболее существенные факторы, от которых зависит УРЭ (производительность, загрузка оборудования, режим работы, параметры процесса и т. п.);

– формируется ИБД по данным статистической отчетности и оперативного учета о расходе ЭЭ и величинах исследуемых факторов (планирование эксперимента);

– с помощью регрессионного анализа определяются эмпирические зависимости расхода ЭЭ от влияющих факторов.

Расчет УРЭ расчетно-статистическим методом имеет ряд преимуществ перед расчетно-аналитическим методом:

– статистические данные, используемые для разработки моделей, несут информацию о существующих режимах работы ПП и соответствующих им потреблении ЭЭ;

– использование суточной (посменной) статистики позволяет учесть большее количество фактических режимов работы ПП по сравнению с использованием квартальной (годовой) статистики, что в конечном итоге повышает достоверность определения УРЭ;

– для построения моделей расхода ЭЭ используется интегральная характеристика режима электропотребления (суммарный расход ЭЭ ПП), что позволяет не учитывать режим работы каждого ЭП в отдельности.

Однако для вновь вводимых предприятий, когда не наработана статистика по расходу ЭЭ и объемам выпуска продукции, нормирование расхода ЭЭ может осуществляться только на основе расчетно-аналитического метода нормирования.

*Отчетно-статистический метод* предусматривает определение норм расхода ЭЭ на основе анализа данных форм статистической отчетности о фактических УРЭ и факторов, влияющих на их изменение, за ряд предшествующих лет. При этом необходимо учитывать изменения в технологии и выполнение заданий по экономии энерго-ресурсов. Плановая величина нормы расхода устанавливается ниже по сравнению с отчетной за счет предполагаемых организационно-технических мероприятий.

**Задание 3.1.** Согласно заданному преподавателем варианту (табл. 3.3 и 3.4) необходимо для швейного производства разработать годовой электрический баланс с учетом сменности предприятия и показаний счетчиков ЭЭ. По данным годового баланса ЭЭ выделить условно-постоянную составляющую электропотребления и технологическую составляющую, оценить их вес в общем электропотреблении предприятия. Разработать модель зависимости расхода ЭЭ от объема выпуска продукции вида  $W_{уд} = \frac{W_{уд} + W_{усл.-пост}}{\Pi}$  и нормы расхода ЭЭ в зависимости от изменения объема выпуска продукции.

Таблица 3.3

**Данные по электроприемникам швейного производства**

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	$P_{уст}$ , кВт	$k_{и}$
<i>Швейный участок</i>			
Машина швейная класса 1022	118	0,38	0,2
Машина швейная Juki DDL 8700-7	84	0,39	0,2
Машина швейная Juki LH4188-7	14	0,65	0,2
Машина швейная Juki LH3588	27	0,31	0,2
Швейный оверлок Juki MO 6916	17	0,4	0,2
Швейный оверлок Juki MO 6716	7	0,4	0,2
Швейный оверлок Juki MO 2516	26	0,4	0,2
Машина швейная класса 852	30	0,38	0,2
Специальные машины Juki	26	0,46	0,2
Сварочные машины ZD-3	7	3	0,4
Специальные швейные машины	19	0,42	0,2
Сварочные машины ZD-5	2	5	0,2
Машина для герметизации швов 8303	1	3	0,2
Паровой утюг Silter 2035	7	2,05	0,6
Паровой утюг Lelit PS 09D	2	1,8	0,6
Паровой утюг Projekt	1	1,9	0,6
Парогенератор Projekt	1	5	0,6
<i>Раскройный участок</i>			
РЛ12	1	1,12	0,25
Мерильно-браковочная машина	1	4	0,25



Окончание табл. 3.3

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	$P_{уст}$ , кВт	$k_n$
Персональный компьютер	19	0,6	0,7
Машина вышивальная	2	1,8	0,25
Машина вышивальная	1	1,3	0,25
Машина раскройная	2	22	0,3
Компрессор	1	11	0,45
Плоттер	2	0,72	0,8
Промерочный стол ПМ-04	1	0,37	0,35
Пресс дублирующий ПФС1000А	1	2,5	0,45
Дублирующая установка	1	22	0,45
Вышивальная машина 4-головочная	1	2	0,25
Плоттер С777ОВ	1	0,15	0,25
Вышивальная машина 4-головочная	1	2	0,25
Плоттер Infiniti 45	1	0,3	0,25
Плоттер Pakкард	2	0,35	0,25
Машина смешивающая	1	11	0,35
Машина чесальная	1	22	0,35
Стегальная машина МЕСА	1	2,2	0,4
<i>АБК</i>			
Освещение	10	0,072	1
Компьютер	6	0,25	0,8
Принтер	6	0,4	0,8
<i>Мастерская</i>			
Заточной станок	1	0,37	0,12
Заточной станок	1	5,5	0,15
ИБППА	1	0,1	1
Система видеонаблюдения	1	0,65	0,8
Освещение	–	14,2	0,9
<i>Вентиляция</i>			
Вытяжная вентиляция	1	1,5	0,6
Вытяжная вентиляция	1	5,5	0,6
Вытяжная вентиляция	1	2,2	0,6
Вытяжная вентиляция	1	1,5	0,6

Таблица 3.4

**Варианты заданий для разработки норм расхода ЭЭ  
швейного производства**

Показатели для разработки норм расхода ЭЭ	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Годовой расход ЭЭ, тыс. кВт · ч	132	280	120	180	320	240	150	220	120
Объем выпуска продукции П, тыс. усл. ед.	350	580	240	620	780	420	240	460	640
Возможное изменение объема выпуска продукции от фактически достигнутого объема, %	±40	-50	±50	-50	-60	±80	±50	-90	+50

**Пример выполнения задания 3.1**

Для варианта 1 по показаниям системы учета ЭЭ годовой расход ЭЭ составил 132 тыс. кВт · ч при годовом объеме выпуска продукции 350 тыс. усл. ед.

На основе данных табл. 3.3 разработаем годовой электрический баланс (табл. 3.5) с использованием формул (3.1) и (3.2).

Таблица 3.5

**Годовой электрический баланс швейного производства**

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	Количество работающих ЭП, шт.	$P_{уст}$ , кВт	$P_{сум}$ , кВт	$k_n$	$T_{раб}$ , ч	$W$ , тыс. кВт · ч
<i>Швейный участок</i>							45,4
Машина швейная класса 1022	118	60	0,38	44,8	0,2	1020	9,1
Машина швейная Juki DDL 8700-7	84	20	0,39	32,8	0,2	1020	6,7
Машина швейная Juki LH4188-7	14	10	0,65	9,1	0,2	1020	1,9

Продолжение табл. 3.5

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	Количество работающих ЭП, шт.	$P_{уст},$ кВт	$P_{сум},$ кВт	$k_{п}$	$T_{раб},$ ч	$W,$ тыс. кВт·ч
Машина швейная Juki LH3588	27	16	0,31	8,4	0,2	1020	1,7
Швейный оверлок Juki MO 6916	17	10	0,4	6,8	0,2	970	1,3
Швейный оверлок Juki MO 6716	7	7	0,4	2,8	0,2	970	0,5
Швейный оверлок Juki MO 2516	26	20	0,4	10,4	0,2	970	2,0
Машина швейная класса 852	30	15	0,38	11,4	0,2	970	2,2
Специальные машины Juki	26	20	0,46	12	0,2	970	2,3
Сварочные машины ZD-3	7	5	3	15	0,4	120	0,7
Специальные швейные машины	19	10	0,42	8	0,2	711	1,1
Сварочные машины ZD-5	2	2	5	10	0,2	560	1,1
Машина для герметизации швов 8303	1	1	3	3	0,2	1020	0,6
Паровой утюг Silter 2035	7	7	2,05	14,4	0,6	910	7,9
Паровой утюг Lelit PS 09D	2	2	1,8	3,6	0,6	980	2,1
Паровой утюг Projekt	1	1	1,9	1,9	0,6	980	1,1
Парогенератор Projekt	1	1	5	5	0,6	980	2,9
Раскройный участок							50,5
РЛ12	1	1	1,12	1,1	0,25	930	0,3
Мерильно-браковочная машина	1	1	4	4	0,25	1133	1,1

Продолжение табл. 3.5

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	Количество работающих ЭП, шт.	$P_{уст}$ , кВт	$P_{сум}$ , кВт	$k_{п}$	$T_{раб}$ , ч	$W$ , тыс. кВт·ч
Персональный компьютер	19	10	0,6	11,4	0,7	1200	9,6
Машина вышивальная	2	2	1,8	3,6	0,25	920	0,8
Машина вышивальная	1	1	1,3	1,3	0,25	910	0,3
Машина раскройная	2	2	22	44	0,3	810	10,7
Компрессор	1	1	11	11	0,45	880	4,4
Плоттер	2	2	0,72	1,44	0,8	1133	1,3
Промерочный стол ПМ-04	1	1	0,37	0,4	0,35	820	0,1
Пресс дублирующий ПФС1000А	1	1	2,5	2,5	0,45	800	0,9
Дублирующая установка	1	1	22	22	0,45	844	8,4
Вышивальная машина 4-головочная	1	1	2	2	0,25	844	0,4
Плоттер С777ОВ	1	1	0,15	0,2	0,25	844	0,0
Вышивальная машина 4-головочная	1	1	2	2	0,25	933	0,5
Плоттер Infiniti 45	1	1	0,3	0,3	0,25	933	0,1
Плоттер Pakkapd	2	1	0,35	0,4	0,25	933	0,1
Машина смешивающая	1	1	11	11	0,35	933	3,6
Машина чесальная	1	1	22	22	0,35	933	7,2
Стегальная машина МЕСА	1	1	2,2	2,2	0,4	933	0,8
АБК							0,5
Освещение	10	10	0,072	0,288	1	480	0,1
Компьютер	6	6	0,25	1	0,8	640	0,4

Окончание табл. 3.5

Наименование	Количество установленных ЭП, шт.	Количество работающих ЭП, шт.	$P_{уст}$ , кВт	$P_{сум}$ , кВт	$k_{п}$	$T_{раб}$ , ч	$W$ , тыс. кВт·ч
Принтер	6	6	0,4	0,4	0,8	42	0,0
<i>Мастерская</i>							5,9
Заточной станок	1	1	0,37	0,37	0,12	533	0,0
Заточной станок	1	1	5,5	5,5	0,15	533	0,4
ИБППА	1	1	0,1	0,1	1	8760	0,9
Система видеонаблюдения	1	1	0,65	0,65	0,8	8760	4,6
<i>Освещение</i>							21,3
Освещение			14,2	14,2	0,9	1666	21,3
<i>Вентиляция</i>							7,7
Вытяжная вентиляция	1	1	1,5	1,5	0,6	1200	1,1
Вытяжная вентиляция	1	1	5,5	5,5	0,6	1200	4,0
Вытяжная вентиляция	1	1	2,2	2,2	0,6	1200	1,6
Вытяжная вентиляция	1	1	1,5	1,5	0,6	1200	1,1
<i>Итого производство</i>							131,4
Технологический расход ЭЭ, тыс. кВт·ч							95,9
Условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ, не зависящая от выпуска продукции, тыс. кВт·ч							35,4
Произведено продукции, тыс. усл. ед.							350
Технологический удельный расход ЭЭ, кВт·ч /тыс. усл. ед.							274,14
Общепроизводственный удельный расход ЭЭ, кВт·ч /тыс. усл. ед.							375,3

Как видно из данных табл. 3.5, производственное потребление по балансу составило 131,4 тыс. кВт·ч, что отличается от показаний приборов учета на –0,45 %.

По данным баланса ЭЭ технологический расход ЭЭ составил 95,9 тыс. кВт·ч, при объеме выпуска продукции 350 тыс. усл. ед. технологический удельный расход ЭЭ составил 274,14 кВт·ч/тыс. усл. ед. Ус-

ловно-постоянная составляющая расхода ЭЭ, не зависящая от выпуска продукции – 35,4 тыс. кВт · ч. Тогда уравнение, описывающее изменение удельного расхода ЭЭ от объема выпуска продукции, будет иметь следующий вид:

$$W_{уд} = \frac{w_{уд} + W_{усл.-пост}}{\Pi} = \frac{274,14 + 35400}{\Pi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. усл. ед.}$$

Возможный диапазон изменения объема выпуска продукции (по оценкам технологов и главного инженера) составляет  $\pm 40\%$ . Рассчитаем удельные расходы ЭЭ на всем диапазоне изменения объема выпуска продукции с шагом  $10\%$  с использованием полученного уравнения (табл. 3.6). На рис. 3.1 приведена графическая интерпретация разработанных общепроизводственных расходов ЭЭ на выпуск швейных изделий от объемов выпущенной продукции.

Таблица 3.6

**Рассчитанные по модели удельные расходы ЭЭ на выпуск швейных изделий для различных годовых объемов выпуска продукции**

Π, тыс. усл. ед.	Удельный расход ЭЭ, кВт · ч/тыс. усл. ед.
245	418,6
280	400,6
315	386,5
385	366,1
420	358,4
455	351,9

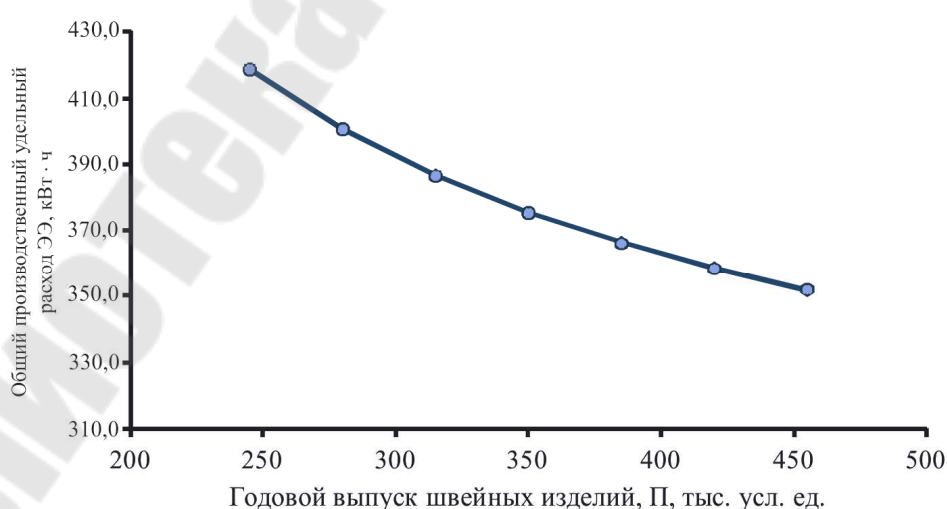


Рис. 3.1. Зависимость общепроизводственного удельного расхода ЭЭ от объемов выпуска продукции швейного производства

Используем разработанные удельные расходы ЭЭ для формирования норм расхода по трем диапазонам выпуска продукции: норму расхода ЭЭ в каждом диапазоне рассчитаем как среднее значение крайних точек удельного расхода ЭЭ (табл. 3.7).

Таблица 3.7

**Разработанные нормы для предприятия по выпуску швейных изделий**

Диапазон изменения продукции, тыс. усл. ед.	Удельный расход ЭЭ, кВт · ч/тыс. усл. ед.
До 315	402,55
От 315 до 385	376,3
Свыше 385	359

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде годового баланса ЭЭ, расчетной таблицы удельных расходов ЭЭ в зависимости от изменения производственной программы швейного производства, графической зависимости и рекомендованных норм расхода ЭЭ по диапазонам выпуска продукции.

### Контрольные вопросы

1. Какие задачи решает система нормирования потребления ТЭР и в частности ЭЭ?
2. Что понимают под нормой расхода ЭЭ?
3. Какие требования предъявляются к нормам расхода ТЭР?
4. Что представляют собой прогрессивные нормы расхода ТЭР? На какой период они разрабатываются?
5. Почему нельзя наименьшее значение прогрессивной нормы в отрасли схожих производств перенести на все предприятия?
6. Перечислите основные методы нормирования ТЭР.
7. Что представляет собой опытный метод нормирования ТЭР? Его достоинства и недостатки?
8. Что составляет основу расчетно-аналитического метода нормирования ТЭР?

9. Какие факторы вносят погрешность при разработке электрического баланса современных промышленных производств?

10. Чем отличается расчетно-статистический метод нормирования от расчетно-аналитического?

11. Что составляет основу отчетно-статистического метода нормирования ТЭР? Перечислите недостатки данного метода нормирования расхода ТЭР.



## Лабораторная работа № 4

### Регулировочная способность по энергоэффективности промышленных потребителей

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с понятием регулировочной способности по энергоэффективности.

2. Научиться выполнять анализ однофакторных моделей вида  $W_{уд} = \frac{W_{уд} + W_{усл.-пост}}{\Pi}$ : оценивать вес условно-постоянной составляющей расхода ТЭР; потенциал повышения ЭЭФ производства от его фактического состояния за счет наращивания объемов выпуска продукции; регулировочную способность по энергоэффективности.

### Теоретическая часть

Удельный расход ТЭР ( $W_{удТЭР}$ ) на единицу выпускаемой продукции является одним из критериев, который позволяет оценить эффективность работы предприятия с точки зрения загрузки производственного оборудования, эффективности внедряемых мероприятий по энергосбережению, а также технологии производства.

Для оценки ЭЭФ как технологических процессов, так и производств в целом могут быть использованы два подхода [10], [11]:

1) оценка ЭЭФ с использованием однофакторных моделей зависимости расхода энергоресурса на выпуск продукции;

2) оценка ЭЭФ на основе анализа структурных моделей удельных расходов ТЭР на производство продукции.

Регулировочная способность по энергоэффективности (ЭЭФ) – способность как отдельных структурных элементов, так и всей технической системы в целом изменять удельные и общие расходы энергоресурса(ов) в зависимости от воздействующих факторов.

Следует различать горизонтальную регулировочную способность по ЭЭФ (за счет изменения объема выпуска продукции  $\Pi$ ) и вертикальную регулировочную способность по ЭЭФ (за счет управления технологическими параметрами и характеристиками сырья).

Суть горизонтального регулирования  $W_{удТЭР}$  состоит в том, что при изменении объемов выпуска продукции (увеличивая или уменьшая загрузку технологического оборудования) рабочая точка гиперболической кривой зависимости  $W_{удТЭР} = F(\Pi)$  смещается в сторону уменьшения или увеличения  $W_{удТЭР}$ , соответственно (рис. 4.1).

Потенциал горизонтального повышения ЭЭФ, %, относительно минимального объема выпуска продукции в соответствии с выражением

$$\Delta \text{ЭЭФ} = \frac{(W_{\text{уд.}\Pi i} - W_{\text{уд.мин}})}{W_{\text{уд.мин}}} 100, \% \quad (4.1)$$

где  $W_{\text{уд.}\Pi i}$  – значение удельного расхода энергоресурса, соответствующего  $i$ -му объему выпуска продукции;  $W_{\text{уд.мин}}$  – значение удельного расхода энергоресурса, соответствующего минимальному объему выпуска продукции.

Интересен еще один показатель, определяемый на основе модели  $W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi}$ . Это коэффициент чувствительности по энергоэффективности (КЧ ЭЭФ, о. е.), который представляет собой безразмерный показатель и находится как отношение  $\Delta \text{ЭЭФ}$  на всем возможном диапазоне выпуска продукции к  $\Delta \Pi$  [12]:

$$\text{КЧ} = \frac{\Delta \text{ЭЭФ}}{\Delta \Pi} \quad (4.2)$$

где  $\Delta \text{ЭЭФ}$  – потенциал горизонтального повышения ЭЭФ относительно минимального объема выпуска продукции, %;  $\Delta \Pi$  – рабочий диапазон выпуска продукции от минимального, %.

Физический смысл коэффициента чувствительности по ЭЭФ заключается в оценке темпов роста энергоэффективности относительно темпов роста объема выпуска продукции. Низкие значения (тысячные, сотые доли) КЧ указывают, что данное производство находится в зоне устойчивых (близких к технологическим) значениям удельного расхода.

**Пример 4.1.** На основе однофакторной модели зависимости удельного расхода тепловой энергии (ТЭ) от годового объема выпуска продукции для производства карбамида (табл. 4.3, вариант 1) оценим потенциал повышения ЭЭФ относительно минимального объема выпуска продукции и коэффициент чувствительности модели по ЭЭФ.

Однофакторная модель  $W_{\text{уд}} = \frac{w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}}{\Pi}$  для тепловой энергии производства карбамида представлена в табл. 4.1.

На рис. 4.1 представлена графическая зависимость удельного расхода ТЭ от объема выпуска продукции для производства карбамида. В табл. 4.2 сведены результаты дифференциации удельного расхода тепловой энергии от объемов производства.

На основе данных модели и существующего годового диапазона изменения продукции  $\Delta\Pi$  от 1038 до 1582 т/год по формуле (4.1) произведена оценка горизонтальной регулировочной способности по ЭЭФ, результаты сведены в табл. 4.2. Как видно из таблицы, горизонтальная регулировочная способность по ЭЭФ для производства карбамида составляет 0,6 % при диапазоне выпуска продукции 52,4 %.

Таблица 4.2

**Дифференцирование удельного расхода от объема продукции и оценка показателей ЭЭФ и оценка горизонтальной регулировочной способности по ЭЭФ**

П <sub>год</sub> , т	Удельный расход энерго-ресурса $W_{уд}$ , Мкал/т	Горизонтальная регулировочная способность по ЭЭФ, %	Отношение $W_{усл.-пост} / W_{техн} \cdot 100$ %, %	Общий расход ТЭР, Гкал	Отношение $W_{усл.-пост} / W_{общ} \cdot 100$ %, %
1038	685,0	Базис	1,63	711,0	1,61
1116	684,2	-0,1	1,52	763,4	1,50
1193	683,6	-0,2	1,42	815,8	1,40
1271	683,0	-0,3	1,33	868,2	1,32
1349	682,5	-0,4	1,26	920,6	1,24
1427	682,0	-0,4	1,19	972,9	1,18
1504	681,6	-0,5	1,13	1025,3	1,12
1582	681,2	-0,6	1,07	1077,7	1,06
<b>Диапазон продукции <math>\Delta\Pi</math>, %</b>	<b>Отношение <math>\Delta ЭЭФ/\Delta\Pi</math>, КЧ ЭЭФ, о. е.</b>	<b>Отношение <math>(W_{усл.-пост} / W_{техн})/\Delta\Pi</math>, о. е.</b>	<b>Диапазон отношения <math>W_{усл.-пост} / \Delta W_{техн}</math>, %</b>	<b>Диапазон изменения общего расхода ТЭР, %</b>	<b>Диапазон отношения <math>W_{усл.-пост} / W_{общ}</math>, %</b>
-52,4	0,01	-0,66	34,39	-51,57	34,02

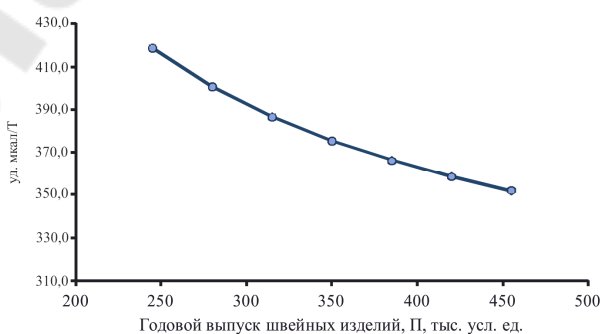


Рис. 4.1. Модель изменения удельного расхода ТЭ от объемов выпуска продукции для производства карбамида

Для рассматриваемого примера – производства карбамида – КЧ составляет 0,01. Последнее указывает на то, что к рассмотрению принимались технологические удельные расходы, которые практически не зависят от объема выпуска продукции для данного производства. Очевидно, что в данном случае необходимо для повышения ЭЭФ оценивать вертикальный потенциал повышения ЭЭФ.

**Задание 4.1.** Согласно заданному преподавателем варианту (табл. 4.3) необходимо по модели зависимости удельного расхода энергоресурса от объема выпуска продукции рассчитать ряд удельных расходов ТЭР в заданном диапазоне минимального и максимального выпуска продукции производства. Исследовать зависимость удельного расхода ТЭР от продукции:

- оценить горизонтальную регулировочную способность по ЭЭФ;
- оценить коэффициент чувствительности модели по ЭЭФ;
- изучить закономерность изменения веса  $W_{\text{усл.-пост}}$  в суммарном расходе энергоресурса при изменении объема выпуска продукции;
- выполнить прогноз потребления энергоресурса на следующий год под плановое значение выпуска продукции.

Таблица 4.3

**Исходные данные для выполнения задания 4.1**

Вариант	Производство	Наименование продукции	Объем выпуска продукции			Вид модели
			единица измерения	максимальное количество $P_{\text{макс}}$	минимальное количество $P_{\text{мин}}$	
1	Карбамид	Карбамид	т	1582	1038	Годовая модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 674 + 11434,8/P$
2	Предприятие азотных удобрений	Жидкие азотные удобрения	т	2913	638	Годовая модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 73,81 + 29459,7/P$
3	Предприятие азотных удобрений	Жидкие азотные удобрения	т	2913	638	Годовая модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 101,2 + 87581,1/P$
4	Предприятие азотных удобрений	Производство метанола	т	329,5	145,7	Годовая модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 187,2 + 388930,3/P$

Вариант	Производство	Наименование продукции	Объем выпуска продукции			Вид модели
			единица измерения	максимальное количество $P_{\max}$	минимальное количество $P_{\min}$	
5	Предприятие азотных удобрений	Производство метанола	т	329,5	145,7	Годовая модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 101,2 + 87581,1/P$
6	Предприятие азотных удобрений	Производство капролактама	т	210	70	Годовая модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 144,8 + 103008,9/P$
7	Стеклозавод	Производство листового стекла	т	780	700	Годовая модель газ $W_{\text{уд}} = 0,023 + 106,2/P$
8	Шинный комбинат	Сверхкрупногабаритные шины	усл. шины	1300	260	Месячная модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 5214 + 2196933/P$
9	Шинный комбинат	Сверхкрупногабаритные шины	усл. шины	1300	260	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 4103 + 1241190/P$
10	Шинный комбинат	Крупногабаритные шины	усл. шины	60000	15000	Месячная модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 146 + 15403745/P$
11	Шинный комбинат	Крупногабаритные шины	усл. шины	60000	15000	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 116 + 2553840/P$
12	Шинный комбинат	Массовые шины	усл. шины	1400000	600000	Месячная модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 12 + 7503943/P$
13	Шинный комбинат	Массовые шины	усл. шины	1400000	600000	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 5,9 + 3869630/P$
14	Инструментальное	Выпуск пресс-форм	н · ч	6500	4000	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 6,1 + 2761,5/P$
15	Пластмассовое	Изделия из пластмассы	т	6	4,5	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 878 + 23766/P$

Вариант	Производство	Наименование продукции	Объем выпуска продукции			Вид модели
			единица измерения	максимальное количество $P_{\max}$	минимальное количество $P_{\min}$	
16	Обувное	Обувь	тыс. усл. ед.	25	17	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 1,86 + 3,284/P$
17	Швейное 1	Швейные изделия	тыс. усл. ед.	120	20	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 348,6 + 102683,4/P$
18	Швейное 2	Костюмы	тыс. усл. ед.	55	10	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 4,08 + 51,4/P$
19	Полимерное производство	Выдувная полимерная многослойная пленка	т	50	5	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 932,4 + 13687,4/P$
20	Пищевая промышленность	Производство водки	дал	80000	40000	Месячная модель ЭЭ $W_{\text{уд}} = 0,4 + 4111,8/P$
21	Пищевая промышленность	Производство водки	дал	80000	40000	Месячная модель ТЭ $W_{\text{уд}} = 0,7 + 14881/P$

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде таблицы и графика, содержащих результаты расчета удельных расходов энергоресурса на заданном диапазоне выпуска продукции. Оценка горизонтальной регулировочной способности по энергоэффективности и КЧ по ЭЭФ.

## Контрольные вопросы

1. Назовите критерии для оценки ЭЭФ промышленных производств и потребителей ТЭР.
2. Назовите подходы для оценки ЭЭФ производств.
3. Дайте определение понятия регулировочной способности по ЭЭФ.
4. Что такое горизонтальная регулировочная способность по ЭЭФ? Как она рассчитывается?
5. Как рассчитывается коэффициент чувствительности по ЭЭФ?
6. Назовите физический смысл КЧ по ЭЭФ.

## *Лабораторная работа № 5*

### **Разработка балансов расхода электроэнергии для объектов соцкультбыта**

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с особенностями составления балансов ЭЭ для объектов соцкультбыта на основе расчетно-аналитического метода.
2. Научиться выполнять анализ балансов ЭЭ для объектов соцкультбыта по установленной мощности оборудования и расходу ЭЭ.
3. Рассчитать электрический баланс собственной квартиры с предложением мероприятий по экономии ЭЭ.

### **Теоретическая часть**

К организациям коммунальной и социально-культурной сферы относят учебные заведения, лечебные учреждения, детские учреждения, торговые предприятия и организации, предприятия общественного питания, дома для престарелых и инвалидов, дома отдыха, коммунальные учреждения (гостиницы, бани, прачечные и т. д.), рабочие и студенческие общежития, спортивные объекты, учреждения и организации культуры, предприятия и организации службы быта, выполняющие непроизводственные виды услуг и другие предприятия, организации и учреждения, не занимающиеся выпуском продукции.

В структуре электропотребления народного хозяйства доля коммунально-бытовых предприятий составляет 25–35 %.

Электрические балансы организаций коммунальной и социально-культурной сферы составляют по установленной мощности электрического оборудования или по потребленной ЭЭ за требуемый период, используя при этом фактические показания счетчиков ЭЭ.

Фактические балансы ЭЭ относят к продолжительности, равной одному году (желательно календарному, т. е. с 1 января по 31 декабря), либо к кварталу, либо к осенне-зимнему и весенне-летнему периоду. На формирование структуры электропотребления объектов соцкультбыта и коммунальной сферы оказывает влияние сезонная составляющая электропотребления. Так, в осенне-зимний период возрастает расход ЭЭ на отопительные нужды и освещение, в весенне-летний период осветительная составляющая в балансе ЭЭ падает, зато появляется составляющая вентиляции и кондиционирования.



Основной расчетной формулой для определения объема потребления ЭЭ отдельным ЭП является:

$$W = P_{\text{уст}} N k_{\text{ир}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5.1)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность силового электрооборудования, определенная по паспортным данным, кВт;  $T_p$  – продолжительность работы оборудования за соответствующий период, ч;  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования оборудования, определяемый по справочным материалам, либо по данным замеров. В табл. 5.1 приведены  $k_{\text{и}}$  по оборудованию объектов соцкультбыта;  $N$  – количество однотипного оборудования, шт.

Годовой расход ЭЭ на освещение производственных участков и помещений предприятия определяется по формуле

$$W_{\text{осв}} = P_{\text{уст}} k_c T_o, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5.2)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность освещения, кВт;  $k_c$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки, о. е.;  $T_o$  – число часов работы освещения за год, принимается по справочным данным (табл. 3.2 и 3.3) [8], [9] либо на основе сведений от проживающих при составлении балансов квартир.

Таблица 5.1

**Коэффициенты использования и примерный годовой расход электроэнергии по бытовым приборам**

Наименование оборудования	W, кВт · ч/год	$k_{\text{и}}$
Электроплиты	440	0,6
Электроподогрев	–	0,5
Кофемолки	65	0,8
Машины для измельчения мяса	–	0,7
Машины посудомоечные	475	0,8
Морозильный аппарат	427	0,6
Холодильник	584	0,6
Стиральные машины	275	0,7
Машина швейная	–	0,2
Кондиционер бытовой	–	0,7
Телевизор	180	0,8
Видеомагнитофон	150	0,8
Компьютерное оборудование	40	0,4

Наименование оборудования	W, кВт · ч /год	$k_n$
Пылесос	65	0,6
Утюг	30	0,6
Аудиоаппаратура	35	0,8

**Пример 5.1.** Разработка месячного баланса ЭЭ для квартиры (табл. 5.2).

Ставится задача разработки электрического баланса для квартиры, общая площадь которой составляет 81 м<sup>2</sup>, количество проживающих – 3 человека. Расход ЭЭ за месяц составил 230 кВт · ч.

Для составления электрического баланса переписано все электрооборудование и сведено в табл. 5.2. По формуле (3.1), учитывая реальное оцененное жильцами время работы каждого ЭП, рассчитан расход ЭЭ. Суммарное электропотребление за месяц по расчету составило 229 кВт · ч, что фактически совпадает с показанием счетчика.

Таблица 5.2

#### Месячный баланс электроэнергии для квартиры

Наименование ЭП	$T_{уст.}$ ед.	$P_{уст.}$ Вт	$K_n$ о. е.	Время работы, ч	Годовой расход ЭЭ W, кВт · ч
<i>Кухня</i>					
Холодильник	1	150	0,6	720	64800
Телевизор	1	100	0,8	150	12000
Мультиварка	1	860	0,6	30	15480
Освещение	6	18	1	112	12096
Мясорубка	1	800	0,7	2	1120
<i>Итого</i>		1928			105496
<i>Зал</i>					
Телевизор	1	100	0,8	196	15680
Освещение	8	18	1	84	12096
Утюг	1	1800	0,6	12	12960
Пылесос	1	2000	0,8	1,5	2400
<i>Итого</i>		3918			43136
<i>Комната</i>					
Персональный компьютер	1	300	0,8	56	13440

Окончание табл. 5.2

Наименование ЭП	$T_{уст}, \text{ед.}$	$P_{уст}, \text{Вт}$	$K_{и}, \text{о. е.}$	Время работы, ч	Годовой расход ЭЭ $W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$
Ноутбук	1	150	0,8	168	20160
Освещение	6	18	1	84	9072
<i>Итого</i>		468			42672
<i>Спальня</i>					
Освещение	4	20	1	56	4480
Подзарядное устройство	3	50	0,6	24	2160
<i>Итого</i>		70			6640
<i>Ванная</i>					
Фен	1	2000	0,6	2	2400
Стиральная машина	1	1500	0,7	24	25200
Освещение	2	20	1	84	3360
<i>Итого</i>		3720			30960
<i>Прихожая</i>					
Освещение	4	20	1	4	320
<i>Итого</i>					229224

**Задание 5.1.** Рассчитать электрический баланс собственной квартиры с предложением мероприятий по экономии ЭЭ.

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде таблицы, содержащей результаты расчета расхода ЭЭ по квартире. Мероприятия по энергосбережению с оценкой ожидаемой экономии ЭЭ.

### Контрольные вопросы

1. Объясните назначение электрического баланса.
2. Запишите расчетную формулу для определения объема потребления ЭЭ отдельным ЭП.
3. Объясните физический смысл коэффициента использования ( $k_{и}$ ).

4. Каким образом можно определить коэффициент использования по отдельному ЭП?

5. Назовите отличие расчета расхода ЭЭ по силовым и осветительным установкам.

6. Какие мероприятия по экономии ЭЭ вы можете предложить для внедрения в квартире?

## Лабораторная работа № 6

### Общетехнические мероприятия по экономии энергоэффективности: оценка эффективности регулирования уровня напряжения в цеховых сетях промышленного предприятия

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с показателями качества ЭЭ согласно ГОСТ 32144–2013.
2. Изучить влияние отклонения напряжения на режим работы ЭП.
3. Освоить методику оценки эффективности регулирования уровня напряжения в цеховых сетях ПП.

### Теоретическая часть

Согласно ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Показатели качества ЭЭ» устанавливаются следующие показатели качества электроэнергии (ПКЭ) [1]: установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ; размах изменения напряжения  $\delta U_t$ ; доза фликера  $P_f$ ; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ ; коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ ; коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$ ; коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ ; отклонение частоты  $\Delta f$ ; длительность провала напряжения  $\Delta t_n$ ; импульсное напряжение  $U_{имп}$ ; коэффициент временного перенапряжения  $K_{перU}$ .

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей; изменения мощности компенсирующих устройств; регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем; изменения схемы и параметров электрических сетей.

Отклонение напряжения определяется разностью между действующим  $U$  и номинальным  $U_{ном}$  значениями напряжения, В:

$$\delta U = U - U_{ном},$$

$$\text{или } \%: \delta U = \frac{(U - U_{ном})}{U_{ном}} 100, \%$$

$$\text{Установившееся отклонение напряжения } \delta U_y = \frac{(U_y - U_{\text{ном}})}{U_{\text{ном}}} 100, \%,$$

где  $U_y$  – установившееся (действующее) значение напряжения за интервал усреднения.

Стандартом [13] нормируются отклонения напряжения на выводах приемников ЭЭ. Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения равны соответственно  $-5$  и  $+10$  % от номинального значения напряжения и в точках общего присоединения потребителей ЭЭ должны быть установлены в договорах энергоснабжения для часов минимума и максимума нагрузок в энергосистеме с учетом необходимости выполнения норм стандарта на выводах приемников ЭЭ в соответствии с нормативными документами.

### ***Влияние режима напряжения на работу ЭП***

*Асинхронные двигатели.* При отсутствии влияния скорости вращения двигателя на производительность механизмов целесообразно поддерживать напряжение на зажимах двигателей не выше номинального при больших коэффициентах загрузки и ниже номинального при малых коэффициентах загрузки.

Проведенные эксперименты позволили сделать общий вывод относительно характеристик электродвигателей малой мощности, заключающийся в том, что максимум КПД и коэффициента мощности при загрузке двигателей по активной мощности  $(0,6-0,75) P_{\text{ном}}$  наступает при напряжении на зажимах двигателей  $(0,93-0,97) U_{\text{ном}}$  [14], [15].

По опыту эксплуатации АД считается, что если их средняя загрузка составляет менее  $45$  %  $P_{\text{ном}}$ , то замена АД менее мощными является целесообразной. При загрузке АД более  $70$  % номинальной мощности можно считать, что замена в общем случае нецелесообразна. Если средняя загрузка АД составляет  $45-70$  % номинальной мощности, то целесообразность их замены должна быть подтверждена технико-экономическим расчетам. В случае невозможности замены малозагруженных АД двигателями меньшей номинальной мощности *целесообразным может оказаться снижение напряжения на их зажимах.* Снижение напряжения, подводимого к обмоткам АД, до определенного минимально допустимого значения приводит к уменьшению реактивной мощности, потребляемой электродвигателем, за счет уменьшения тока намагничивания. При этом одновременно снижаются потери активной мощности и, следовательно, увеличивается КПД электродвигателя.

На практике известны следующие способы снижения напряжения у малозагруженных АД [14]:

- переключение статорной обмотки с треугольника на звезду;
- секционирование статорных обмоток;
- понижение напряжения в сетях, питающих асинхронные двигатели, путем переключения ответвлений цехового трансформатора.

Для приближенных расчетов можно принимать, что для наиболее распространенных трехфазных двигателей серии 4А мощностью 20–100 кВт повышение напряжения на 1 % приводит к росту реактивной мощности приблизительно на 3 %. Для двигателей меньшей номинальной мощности соответствующее увеличение потребляемой реактивной мощности достигает 5–7 %.

При изменении напряжения на зажимах двигателя изменяется его скольжение, а следовательно, и скорость вращения. При снижении напряжения скорость вращения двигателей заметно снижается, особенно для двигателей меньшей мощности. Наоборот, повышение напряжения приводит к увеличению скорости двигателей. При работе двигателей с малыми  $k_3$  влияние изменения напряжения на скорость двигателей практически очень мало (рис. 6.1).

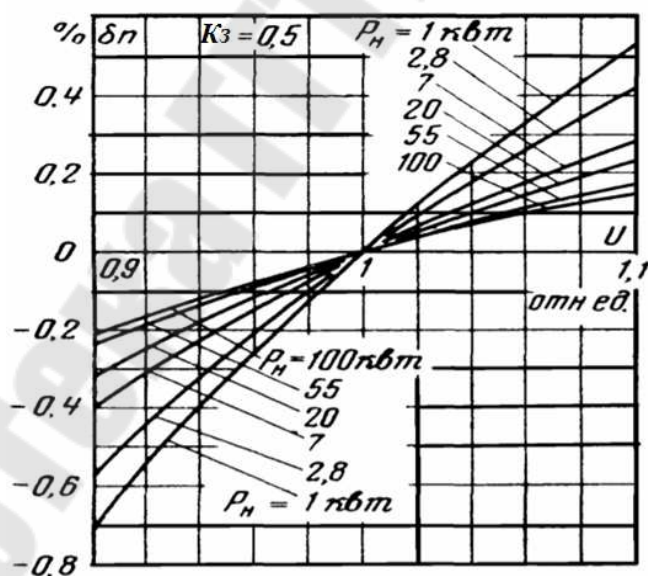


Рис. 6.1. Зависимость частоты вращения АД от уровня напряжения  $\delta n = f(U)$

*Осветительные электроприемники.* Лампы накаливания характеризуются следующими основными параметрами: потребляемой мощностью, световым потоком и средним номинальным сроком

службы. Эти показатели в значительной мере зависят от величины напряжения на зажимах ламп.

Из газоразрядных ламп для освещения промышленного предприятия применяют в основном люминесцентные лампы и лампы типа ДРЛ. При пониженном напряжении люминесцентные лампы или не загораются совсем, или их горение сопровождается интенсивным распылением оксидного вещества с катодов лампы. Это приводит к миганиям и резкому сокращению срока службы лампы. При повышении напряжения нарушается тепловой баланс, увеличивается давление ртутных паров, что снижает экономичность работы лампы и срок ее службы [14].

*При повышении напряжения увеличиваются световой поток и мощность лампы, но резко снижается срок службы.* В случае снижения напряжения резко уменьшается световой поток, а следовательно, и освещенность рабочей поверхности. При относительно небольших изменениях напряжения (в пределах  $\pm 10\%$  от  $U_n$ ) зависимость потребляемой мощности от напряжения может быть выражена аналитически следующим приближенным выражением [14]:

$$P = (U/U_n)^{1,6} \approx 1 + 1,5U.$$

*Электротермические установки.* На предприятиях различных отраслей промышленности значительное распространение имеют электротермические установки, служащие для нагрева изделий, расплавления, их закалки и т. п.

Работа печей при наличии отклонений от номинального напряжения затрудняется, может иметь место снижение их производительности, а в ряде случаев и расстройство технологического процесса. Это может привести к значительному экономическому ущербу.

*Регулирование напряжения в цеховых сетях предприятий.* Для изменения режима напряжения в цеховых электрических сетях напряжением до 1 кВ наиболее эффективным средством является варьирование коэффициента трансформации цехового трансформатора с помощью устройства ПБВ.

Поскольку для изменения коэффициента трансформации трансформатора с ПБВ требуется отключать его от сети, то регулирование напряжения таким способом осуществляется редко. Практически такие переключения осуществляются не чаще двух раз в год (сезонное регулирование).

**Пример 6.1.** Оценка эффективности регулирования напряжения в цеховой сети ремонтного бокса автопредприятия



Исходные данные: При обследовании предприятия выяснилось, что напряжение в цеховых электрических сетях на стороне 0,4 кВ поддерживается на верхнем уровне ( $U_{\text{НОМ}} + 5\%$ ), а иногда достигает и более высоких значений. Эти данные были получены экспериментальным путем в часы максимальных нагрузок энергосистемы. Устройство ПБВ трансформатора ТМФ-630-10/0,4 кВ ремонтного бокса находится в III положении. В табл. 6.1 приведены исходные данные по ремонтному цеху и приведен расчет [15].

Таблица 6.1

Исходные данные для расчета

Наименование цеха	Средняя мощность цеха $P_p = W_{\text{год}} / T_p$ , кВт	Число часов работы цеха $T_p$ , ч	Число часов работы освещения $T_{\text{осв}}$ , ч	Среднее напряжение потребителей $U_{\text{ср}}$ , В	Годовое электропотребление (без учета освещения) $W_{\text{год}}$ , тыс. кВт·ч
Ремонтный бокс	11,23	2040	765	405	22,9

а) Силовая нагрузка

Фактический линейный ток, А:

$$I_{\text{л}} = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{ср}}} = \frac{11,23 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 405} = 16,02 \text{ А.}$$

Эквивалентное сопротивление нагрузки, Ом:

$$R_{\text{эк}} = \frac{U_{\text{ср}}}{I_{\text{л}}} = \frac{405}{16,02} = 25,28 \text{ Ом.}$$

Суммарный линейный ток при  $U_{\text{НОМ}}$ , А:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_{\text{эк}}} = \frac{380}{25,28} = 15,03 \text{ А.}$$

Суммарная расчетная мощность при  $U_{\text{НОМ}}$ , кВт:

$$P_{\text{р.НОМ}} = \sqrt{3}I_{\text{л}}U_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot 15,03 \cdot 380 = 9,88 \text{ кВт.}$$

Изменение потребляемой мощности за счет снижения напряжения, кВт:

$$\Delta P = P_p - P_{p.\text{ном}} = 11,22 - 9,88 = 1,34 \text{ кВт.}$$

Годовая экономия ЭЭ при снижении напряжения до номинального, тыс. кВт · ч:

$$\Delta W = \Delta P T_p = 1,34 \cdot 2040 \cdot 10^{-3} = 2,74 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

б) *Осветительная нагрузка*

Потребляемая мощность, кВт:

$$P = P_o \left( 0,95 \left( \frac{405}{380} \right) \right)^{1,6} = 9,67 \left( \frac{0,95}{1,07} \right)^{1,6} = 8,05 \text{ кВт.}$$

Снижение потребляемой мощности, кВт:

$$\Delta P = P_p - P_{p.\text{ном}} = 9,68 - 8,05 = 1,63 \text{ кВт.}$$

Годовая экономия ЭЭ при снижении напряжения до номинального, тыс. кВт · ч:

$$\Delta W = \Delta P T_p = 1,63 \cdot 765 \cdot 10^{-3} = 1,24 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

В табл. 6.2 представлены сводные данные по силовой и осветительной нагрузке.

Таблица 6.2

### Результаты расчета экономии ЭЭ

Наименование цеха	$\Delta P$ , кВт		ЭЭ, тыс. кВт · ч		Экономия электроэнергии $\Delta W$ , тыс. кВт · ч	
	Силовая нагрузка	Освещение	Силовая нагрузка	Освещение	Силовая нагрузка	Освещение
Ремонтный бокс	1,34	1,63	2,74	1,24	3,98	0,53

**Задание 6.1.** Рассчитать эффективность регулирования напряжения в цеховых сетях (табл. 6.3).

**Исходные данные по цехам для расчета эффективности регулирования напряжения**

Вариант	Наименование цеха	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка		
		$T_p$ , ч	$U_{cp}$ , В	$W_{год}$ , тыс. кВт·ч	$T_p$ , ч	$T_p$ , ч	$U_{cp}$ , В
1	Слесарное отделение	1400	390	18,7	765	390	4,1
2	Фрезерно-шлифовальное	1100	390	36,4	765	390	2,5
3	Токарное отделение	1050	390	8,4	765	390	3,4
4	Участок ЧПУ	1050	390	23,8	765	390	5,4
5	Пластмассовое производство	3100	390	916,7	1100	390	54,8
6	Аккумуляторная	2040	400	1,7	765	400	1,2
7	Тракторный гараж	2040	405	38,5	765	405	8,9
8	Стройцех	2040	400	1,5	765	400	1
9	Ремонтный бокс тракторной техники	2040	395	0,3	765	395	0,25

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде расчета эффективности регулирования уровней напряжения в цеховой сети потребителя.
4. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какие показатели качества ЭЭ установлены в ГОСТ 32144–2013?
2. Назовите причины отклонения напряжения.
3. Напишите формулу для расчета отклонения напряжения в именованных единицах и процентах.
4. Как влияет отклонение напряжения на работу АД?
5. Назовите способы снижения напряжения у малозагруженных асинхронных двигателей.
6. Как влияет отклонение напряжения на работу осветительной нагрузки?
7. Назовите средство регулирования напряжения в цеховых электрических сетях напряжением до 1 кВ.

## Лабораторная работа № 7

### Исследование влияния уровня напряжения на работу люминесцентных ламп

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с показателями качества ЭЭ согласно ГОСТ 32144–2013.
2. Изучить влияние уровня напряжения на режим работы люминесцентных ламп.

#### Теоретическая часть

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей; изменения мощности компенсирующих устройств; регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем; изменения схемы и параметров электрических сетей.

Отклонение напряжения определяется разностью между действующим  $U$  и номинальным  $U_{\text{ном}}$  значениями напряжения, В:

$$\delta U = U - U_{\text{ном}},$$

или, %: 
$$\delta U = \frac{(U - U_{\text{ном}})}{U_{\text{ном}}} \cdot 100, \%$$

Установившееся отклонение напряжения 
$$\delta U_y = \frac{(U_y - U_{\text{ном}})}{U_{\text{ном}}} \cdot 100, \%$$

где  $U_y$  – установившееся (действующее) значение напряжения за интервал усреднения.

Стандартом [13] нормируются отклонения напряжения на выводах приемников ЭЭ. Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения равны соответственно –5 и +10 % от номинального значения напряжения и в точках общего присоединения потребителей ЭЭ должны быть установлены в договорах энергоснабжения для часов минимума и максимума нагрузок в энергосистеме с учетом необходимости выполнения норм стандарта на выводах приемников ЭЭ в соответствии с нормативными документами.

Из газоразрядных ламп для освещения в промышленных предприятиях применяют в основном люминесцентные лампы и лампы типа ДРЛ. При пониженном напряжении люминесцентные лампы или

не загораются совсем, или их горение сопровождается интенсивным распылением оксидного вещества с катодов лампы. Это приводит к миганиям и резкому сокращению срока службы лампы. При повышении напряжения нарушается тепловой баланс, увеличивается давление ртутных паров, что снижает экономичность работы лампы и срок ее службы.

Люминесцентные лампы – наиболее массовый источник света для создания общего освещения в помещениях общественных зданий: офисах, школах, учебных и проектных институтах, больницах, магазинах, банках, предприятиях текстильной и электронной промышленности и др. Люминесцентная лампа – это газоразрядный источник света низкого давления, световой поток которого определяется в основном свечением люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения электрического разряда. Световая отдача до 85 лм/Вт, срок службы более 10 тыс. ч. Применяются главным образом для общего и местного освещения.

Поскольку люминесцентная лампа не предназначена для непосредственного включения в сеть, значение напряжения на лампе при ее маркировке не приводится. В комплекте с ПРА лампы обычно рассчитаны на питание от сети переменного тока промышленной частоты. Для питания от сети постоянного тока требуются специальные ПРА.

### Порядок проведения работы

В работе исследуется стартерная схема включения лампы. Исследование производится по схеме, представленной на рис. 7.1, которую необходимо смонтировать по монтажной схеме.

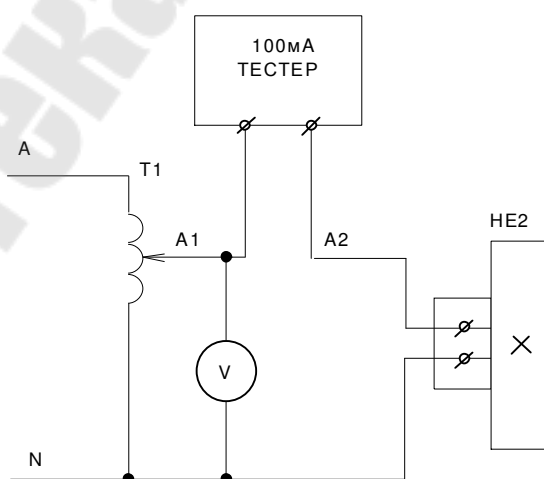


Рис. 7.1. Монтажная схема для исследования режима напряжения на работу люминесцентной лампы

Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Подготовить стенд к работе от сети: вывести регулятор ЛАТРа в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению, убедиться, что остальные аппараты, не используемые в работе, не попадут под напряжение при включении стенда.

После проверки схемы преподавателем запитать стенд от сети и подать в схему напряжение. Проверить работу схемы. Затем плавно увеличивая подводимое напряжение с помощью ЛАТРа, определяют напряжение устойчивого включения лампы, а также ток розжига лампы и его величину в рабочем режиме. Эксперимент повторяют несколько раз. Данные замеров заносятся в табл. 7.1.

Плавно понижая напряжение, определяют величину напряжения гашения лампы. Опыт повторяют несколько раз. Затем вновь плавно понижая напряжение от номинального значения, необходимо снять значения рабочего тока лампы в режиме свечения в нескольких фиксированных точках.

Таблица 7.1

**Результаты экспериментов влияния уровня напряжения на работу люминесцентной лампы**

Номер опыта	1	2	3	4	5	Среднее значение
<i>Опыт розжига лампы</i>						
$U_{\text{розжига}}$ , В						
$I_{\text{розжига}}$ , мА						
<i>Опыт гашения лампы</i>						
$U_{\text{гашения}}$ , В						
<i>Зависимость <math>I_{\text{раб}} = f(U_{\text{раб}})</math></i>						
$U_{\text{раб}}$ , В						
$I_{\text{раб}}$ , мА						

По данным эксперимента рассчитывают средние значения искомых величин  $U_{\text{розжига}}$ ,  $I_{\text{розжига}}$ ,  $U_{\text{гашения}}$ ,  $U_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$  и сравнивают опытные данные для номинального режима с паспортными.

**Структура отчета**

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.

3. Результаты работы в виде заполненной табл. 7.1.
4. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие показатели качества ЭЭ установлены в ГОСТ 32144–2013?
2. Назовите причины отклонения напряжения.
3. Напишите формулу для расчета отклонения напряжения в именованных единицах и процентах.
4. Как нормируется отклонение напряжения на выводах приемников ЭЭ согласно ГОСТу?
5. Как влияет отклонение напряжения на работу осветительной нагрузки?
6. Напишите формулу, представляющую зависимость потребляемой мощности осветительной нагрузки от напряжения.
7. Назовите средство регулирования напряжения в цеховых электрических сетях напряжением до 1 кВ.
8. Каков принцип работы люминесцентной лампы?
9. Перечислите преимущества люминесцентных ламп.
10. Назовите схемы включения люминесцентных ламп.

## Лабораторная работа № 8

### Общетехнические мероприятия по экономии электроэнергии: компенсация реактивной мощности

*Цель и задачи работы:*

1. Ознакомиться с современными техническими решениями компенсации реактивной мощности.
2. На лабораторной установке изучить влияние конденсаторов на коэффициент мощности электрической цепи.
3. Изучить методику расчета коэффициента мощности.

### Теоретическая часть

Протекание реактивной мощности в электрических сетях сопровождается дополнительными затратами на увеличение сечений проводников сетей и мощностей трансформаторов, создает дополнительные потери электроэнергии. Кроме того, увеличиваются потери напряжения за счет реактивной составляющей, пропорциональной реактивной нагрузке и индуктивному сопротивлению, что понижает качество электроэнергии по напряжению.

Вследствие этого важное значение имеет компенсация реактивных нагрузок и повышение коэффициента мощности в системах электроснабжения промпредприятий. Под компенсацией имеется в виду установка местных источников реактивной мощности, благодаря которым повышается пропускная способность сетей и трансформаторов, а также уменьшаются потери электроэнергии.

Наибольшее распространение на промпредприятиях получили конденсаторы. Конденсаторы включаются в сеть параллельно электроприемникам, вследствие чего такая компенсация носит название поперечной (параллельной) в отличие от продольной, при которой конденсаторы включаются в сеть последовательно.

Возможна также индивидуальная компенсация, когда конденсаторы наглухо подключаются к обмоткам отдельных электродвигателей или трансформаторов и коммутируются вместе с ними. Она может применяться для электроприводов, работающих в длительном режиме. Мощность конденсаторов в этом случае выбирается по реактивной мощности холостого хода.

Наряду с большими достоинствами (статические устройства, малые потери) конденсаторы имеют следующие недостатки:



– зависимость мощности от квадрата напряжения, что снижает устойчивость, а при особо неблагоприятных условиях может привести к лавине напряжения;

– сложность регулирования мощности;

– большие размеры при больших батареях;

– перегрев при повышении напряжения и наличии в сети высших гармоник, ведущих к выходу конденсатора из строя.

*Современные технические решения компенсации реактивной мощности у мощных электродвигателей.* Одним из современных средств компенсации реактивной мощности является параметрический компенсатор мощности (далее – ПКМ), который производится на предприятиях концерна «Аэрокосмическое оборудование» и предназначен для индивидуальной компенсации реактивной мощности.

Предполагается, что ПКМ должна решать следующие проблемы энергопотребления: компенсация реактивной мощности на 98–99 %; уменьшение потребления активной мощности на 5–15 % в зависимости от режима работы двигателя; уменьшение величины потребляемого тока на 15–35 %; увеличение  $\cos \varphi$  до 0,97–0,99; уменьшение значений высших гармоник; уменьшение вибрации двигателя.

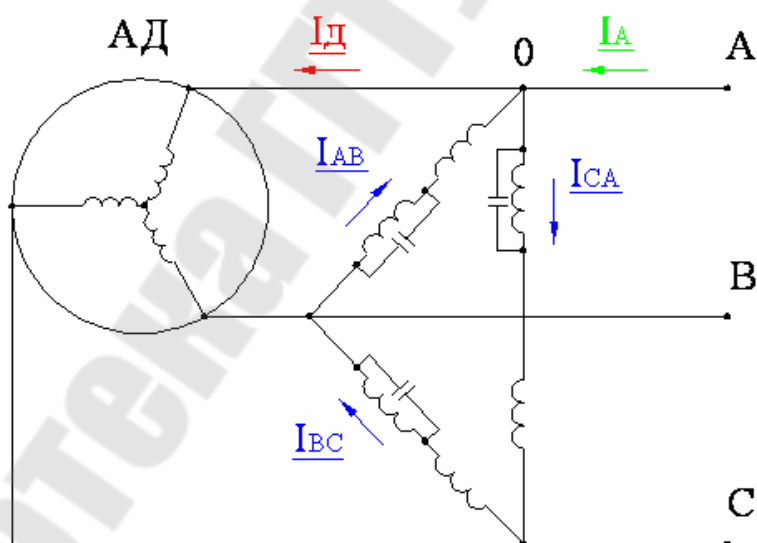


Рис. 8.1. Компенсация токов с помощью ПКМ

Снижение потребления активной мощности при подключении ПКМ вызвано двумя факторами: выведением реактивной составляющей тока в кабелях, питающих двигатель (рис. 8.1), и увеличением динамического КПД двигателя под действием резонанса токов [16].

Также установка ПКМ действует подобно фильтру высших гармоник. Для резонансной настройки цепочки с параметрами  $L$  и  $C$  на  $n$ -ю гармонику должно быть выполнено следующее условие:

$$n\omega L = \frac{1}{n\omega C}.$$

Тогда эта цепочка будет представлять собой короткое замыкание для  $n$ -й гармоники тока, в результате чего напряжение на питающих шинах не будет содержать этой гармоники [17].

Гармоники 2, 5, 8, 11 и т. д. образуют обратную последовательность, т. е. создают в асинхронном двигателе момент, направленный против вращения ротора [18]. Следовательно, при фильтрации данных гармоник уменьшаются вибрации двигателя.

Оценка эффективности от внедрения ПКМ на электродвигателях 4А355М6У3 (160 кВт) вентиляторов обдува стекольных печей ВДН 01а и АД 55 кВт приведены в табл. 8.1 [19].

Таблица 8.1

**Усредненные значения параметров АД 160 кВт с ПКМ и без устройства**

Асинхронный двигатель	Режим	Измеренные значения					
		$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВт · А	$I$ , А	$U$ , В	$\cos \varphi$
АД 160 кВт	Без ПКМ	47,4	51,3	69	106	381	0,68
	С ПКМ	43,8	0,2	43,9	67	382	0,99–1,0
$\Delta P$ , кВт %		3,6 (7,6 %)	51,1 (99 %)	25,1 (36,4 %)	39 (36,8 %)	–	–
АД 55 кВт	Без ПКМ	40,8	18,8	44,9	68,4	380	0,88
	С ПКМ	37,2	0,8	37,2	57,2	380	0,99
$\Delta P$ , кВт (%)		3,6 (8,8 %)	17,6 (96 %)	7,7 (17,1 %)	11,2 (16,3 %)	–	–

Как видно из табл. 8.1, ПКМ индивидуальные компенсаторы реактивной мощности позволяют в разы снизить потребление реактивной мощности, потери активной мощности, увеличить  $\cos \varphi$  до 0,99.

### Порядок проведения работы

Собрать электрическую схему (рис. 8.2) для исследования повышения коэффициента мощности с использованием батареи конден-

саторов (схема индивидуальной компенсации мощности). В качестве активно-индуктивной нагрузки используется асинхронный электродвигатель М1. Подключение батареи конденсаторов производится выключателем SA1. Ваттметры W1, W2 индицируют активную трехфазную мощность, потребляемую электродвигателем.

Проверить с помощью тестера правильность сборки. После проверки преподавателем подать напряжение на стенд и включить автомат QF1. При выключенном выключателе SA1 (рычажок в среднем положении) произвести запуск двигателя М1 черной кнопкой кнопочного поста SB1. Зафиксировать показания амперметра А1 и трехфазных ваттметров W1, W2. Тестером измерить фазное напряжение. Данные занести в таблицу (табл. 8.2). Не отключая двигателя, подключить батарею конденсаторов С1–С3 выключателем SA1 (рычажок в нижнем положении) и отметить уменьшение величины тока на амперметре А1. Снять данные с амперметра и ваттметра и занести в таблицу. Отключить электродвигатель красной кнопкой кнопочного поста SB1. Отключить автомат QF1 и обесточить стенд. Провести вычисления в таблице и сравнить значения коэффициента мощности в опыте без батареи конденсаторов и с ней.

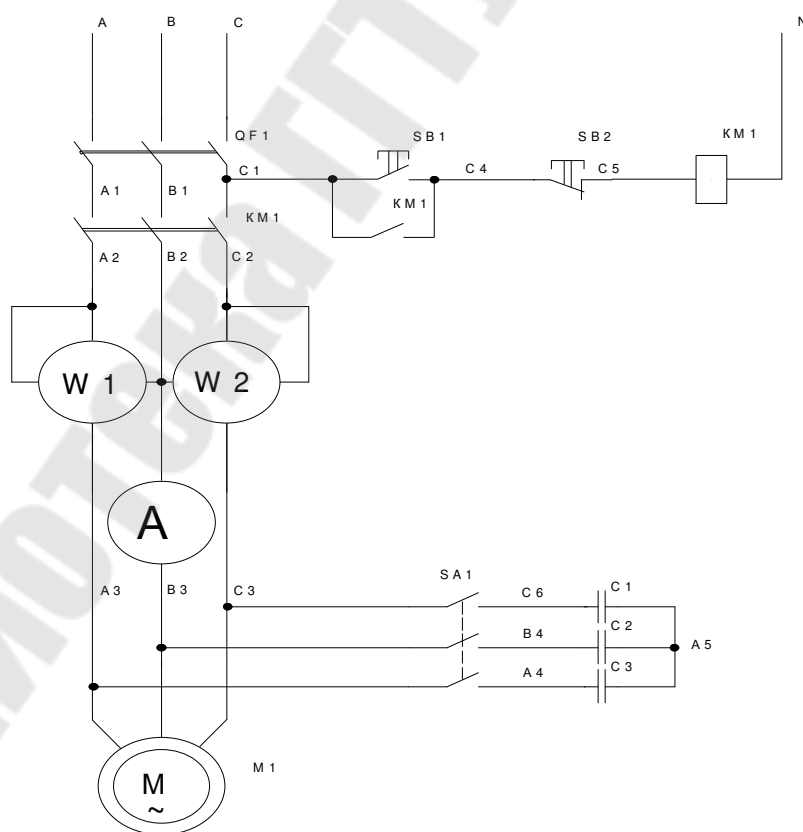


Рис. 8.2. Электрическая схема для проведения экспериментов

Расчет коэффициента мощности определяется по следующим формулам:

а) полная мощность:

$$S = 3U_{\Phi}I_{\Phi}, \text{ В} \cdot \text{А};$$

б) коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}.$$

Таблица 8.2

**Таблица результатов измерений**

Опыт	$U_{\Phi}, \text{ В}$	$I_{\Phi}, \text{ А}$	$P, \text{ Вт}$	$S, \text{ В} \cdot \text{ А}$	$\cos \varphi$
Без С1–С3					
С подключенными емкостями С1–С3					

### Структура отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде заполненной табл. 8.2.
4. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Для чего необходима компенсация реактивной мощности?
2. Что представляет собой индивидуальная компенсация реактивной мощности?
3. Перечислите недостатки конденсаторных батарей.
4. Что представляет собой параметрический конденсатор реактивной мощности?
5. Какие проблемы энергопотребления решает параметрический конденсатор реактивной мощности?

## Литература

1. Об энергосбережении : Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015 г. № 239-З : принят Палатой представителей 11 дек. 2014 г. ; одобр. Советом Респ. 18 дек. 2014 г. – Режим доступа: [minenergo.gov.by/dfiles/000437\\_303862\\_\\_ob\\_energoberezhennii\\_2015.pdf](http://minenergo.gov.by/dfiles/000437_303862__ob_energoberezhennii_2015.pdf). – Дата доступа: 27.12.2018.
2. Методика по формированию топливно-энергетического баланса и расчету на его основе макроэкономических статистических показателей, характеризующих уровень потребления топливно-энергетических ресурсов (с внесенными изменениями и дополнениями постановлением Белстата от 28.12.2016 № 207) : утв. постановлением Нац. стат. ком. Респ. Беларусь 28.12.2015 № 214. – Режим доступа: [www.belstat.gov.by/uploadbelstatword/.../m1\\_fuel21\\_01\\_2017.docx](http://www.belstat.gov.by/uploadbelstatword/.../m1_fuel21_01_2017.docx). – Дата доступа: 27.12.2018.
3. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 12-тэк «Отчет о расходе топливно-энергетических ресурсов» и указаний по ее заполнению : постановление М-ва статистики и анализа Респ. Беларусь от 14 авг. 2008 г. № 109. – Режим доступа: <http://www.busel.org/texts/cat5vj/id5qwocub.htm>. – Дата доступа: 27.12.2018.
4. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2017 / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_7863/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation/index_7863/). – Дата доступа: 05.11.2018.
5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение, оперативное и планируемое нормирование расхода электроэнергии, энергосбережение / Б. И. Кудрин // Электрика. – 2007. – № 4. – С. 3–6.
6. Токочакова, Н. В. Показатели энергоэффективности промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 3. – С. 66–75.
7. Инструкция по расчету целевых показателей по энергосбережению : утв. постановлением Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь 07.01.2011 № 1. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/downloads/laws/other/instCP20110207.doc>.
8. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
9. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
10. Грунтович, Н. В. Развитие методов комплексной оценки эффективности мероприятий по энергосбережению с использованием однофакторных математических моделей удельного расхода ТЭР от объема выпуска продукции / Н. В. Грунтович, Е. Л. Шенец, С. В. Зиновьева // Энергоэффективность. – 2013. – № 11. – С. 35–39.

11. Оценка горизонтальной регулировочной способности по энергоэффективности промышленных производств различных отраслей промышленности / Н. В. Грунтович [и др.] // Актуальные проблемы электроэнергетики : сб. ст. Всерос. науч.-техн. конф. / А. Б. Дарьенков (отв. ред.). – Н. Новгород, 2015. – С. 160–164.

12. Развитие методического обеспечения для диагностирования энергетической эффективности / Н. В. Грунтович [и др.] // Энергия и Менеджмент. – 2017. – № 1 (94). – С. 8–13.

13. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Режим доступа: <http://www.ivpromenergo.ru/page/normativ/GOST-32144-2013.pdf>. – Дата доступа: 31.12.2018.

14. Карпов, Ф. Ф. Регулирование напряжения в электрических сетях промышленных предприятий / Ф. Ф. Карпов, Л. А. Солдаткина ; под ред. Н. А. Мельникова. – М. : Энергия, 1970. – 224 с.

15. Кудрин, Б. И. О влиянии режима напряжения в цеховых электрических сетях на удельные расходы электроэнергии промышленных предприятий / Б. И. Кудрин, В. В. Прокопчик, Г. А. Елисеев // Пром. энергетика. – 1987. – № 2. – С. 33–35.

16. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для электротехн., энерг., приборостроит. специальностей вузов / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1996. – 638 с. : ил.

17. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети : учебник / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Минск : Технопринт, 2004. – 720 с.

18. Вольдек, А. И. Электрические машины : учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / А. И. Вольдек. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1974. – 840 с. : ил.

19. Грунтович, Н. В. Индивидуальные компенсаторы (резонаторы) для экономии электрической энергии и повышения коэффициента мощности / Ник. Вас. Грунтович, Над. Влад. Грунтович // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК : сб. материалов VIII Междунар. науч.-техн. конф. ; под общ. ред. Л. М. Маркарянц, Брянск. – 2014. – С. 89–92.

20. Удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплоэнергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2019 году в расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов / Сайт Департамента по энергоэффективности Госстандарта Респ. Беларусь. – Режим доступа: [http://energoeffekt.gov.by/programs/forming/spravka/20190204\\_rashod](http://energoeffekt.gov.by/programs/forming/spravka/20190204_rashod). – Дата доступа: 26.11.2019.

## Приложения

**Приложение 1** (к Указаниям по заполнению формы государственной статистической отчетности 12-тэк «Отчет о расходе топливно-энергетических ресурсов»)

Таблица П.1.1

### Средние коэффициенты для перевода натурального топлива в условное

Наименование видов топлива	Единица измерения топлива	Средний коэффициент (К)
Уголь по бассейнам и месторождениям:		
Донецкий	на тонну	0,876
Кузнецкий	на тонну	0,867
Карагандинский	на тонну	0,726
Львовско-Волынский	на тонну	0,764
Украинский бурый	на тонну	0,398
Подмосковный	на тонну	0,335
Воркутинский	на тонну	0,822
Интинский	на тонну	0,649
Кизеловский	на тонну	0,684
Челябинский	на тонну	0,552
Свердловский	на тонну	0,585
Башкирский	на тонну	0,565
Якутский	на тонну	0,751
Читинский	на тонну	0,483
Канско-Ачинский	на тонну	0,516
Тувинский	на тонну	0,906
Тунгусский	на тонну	0,754
Сахалинский	на тонну	0,729
Магаданский	на тонну	0,701
Камчатский	на тонну	0,323
Приморский	на тонну	0,506
Экибастузский	на тонну	0,628

Продолжение табл. П.1.1

Наименование видов топлива	Единица измерения топлива	Средний коэффициент (К)
Казахский	на тонну	0,674
Грузинский	на тонну	0,589
Узбекский	на тонну	0,530
Киргизский	на тонну	0,570
Таджикский	на тонну	0,553
Ставропольский	на тонну	0,669
Алтайский	на тонну	0,782
Силезский	на тонну	0,800
Хакасский	на тонну	0,727
Сланцы горючие:		
Эстонские	на тонну	0,324
Ленинградские	на тонну	0,300
Торф топливный:		
фрезерный (при условной влажности 40 %)	на тонну	0,34
кусовой (при условной влажности 33 %)	на тонну	0,41
Торфяная крошка (при условной влажности 40 %)	на тонну	0,37
Брикеты топливные (при условной влажности 16 %)	на тонну	0,60
Дрова для отопления	на плотный м <sup>3</sup>	0,266
Нефть, включая газовый конденсат	на тонну	1,43
Газ горючий природный	на тыс. м <sup>3</sup>	1,15
Газ горючий попутный	на тыс. м <sup>3</sup>	1,3
Мазут топочный	на тонну	1,37
Мазут флотский	на тонну	1,43
Топливо для тихоходных дизелей (моторное)	на тонну	1,43
Топливо дизельное	на тонну	1,45
Топливо печное бытовое	на тонну	1,45
Бензин автомобильный	на тонну	1,49
Бензин авиационный	на тонну	1,49
Керосин для технических целей (тракторный)	на тонну	1,47
Керосин осветительный	на тонну	1,47
Топливо для реактивных двигателей (керосин авиационный)	на тонну	1,47



Окончание табл. П. 1.1

Наименование видов топлива	Единица измерения топлива	Средний коэффициент (K)
Газ нефтепереработки сухой	на тонну	1,50
Газ сжиженный	на тонну	1,57
Кокс металлургический сухой 25 мм и выше	на тонну	0,99
Коксик 10–25 мм в пересчете на сухой вес	на тонну	0,93
Коксовая мелочь <10 мм в пересчете на сухой вес	на тонну	0,90
Уголь древесный	на складской м <sup>3</sup>	0,93
Древесные обрезки, стружки, опилки	на тонну	0,36
Древесные опилки	на складской м <sup>3</sup>	0,11
Сучья, хвоя, щепя	на складской м <sup>3</sup>	0,05
Пни	на складской м <sup>3</sup>	0,12
Бревна разобранных старых зданий, пришедшие в негодность шпалы, столбы связи, рудничная стойка	на плотный м <sup>3</sup>	0,266
Кора	на тонну	0,42
Отходы сельскохозяйственного производства	на тонну	0,50
Отработанные масла	на тонну	1,30

## Приложение 2

### Коэффициенты использования и мощности по электроприемникам

Таблица П.2.1

Электроприемники	Коэффициенты	
	исполь- зования $k_{\text{и}}$	мощ- ности $\cos \varphi$
1. Горнообогатительные комбинаты, аглофабрики		
Насосы водяные	0,7	0,8
То же, песковые	0,75	0,8
Вентиляторы	0,7	0,75
Вентиляторы высокого давления аглофабрик	0,75	0,85
Дробилки	0,8	0,85
Мельницы шаровые	0,8	0,8
Грохоты	0,5	0,6
Транспортеры ленточные свыше 170 кВт с асинхронными двигателями	0,6	0,7
Транспортеры ленточные до 170 кВт	0,5	0,65
Конвейеры до 10 кВт	0,4	0,4
То же, свыше 10 кВт	0,55	0,7
Питатели пластинчатые, тарельчатые, барабанные и дисковые	0,5	0,75
Элеваторы, шнеки	0,6	0,7
Сгустители	0,7	0,8
Барабаны смесительные и чашевые охладители	0,6	0,8
Столы и баки концентрационные, чаны, сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Классификаторы спиральные и речные	0,65	0,8
Флотационные машины	0,9	0,8
Электрофильтры	0,4	0,87
Насосы водяные	0,7	0,8
Насосы питательные мартеновских цехов	0,9	0,9
Вентиляторы доменных цехов	0,8	0,8
Вентиляторы принудительного сырья	0,7	0,8
Компрессоры	0,7	0,8
Краны разные	0,25	0,6
Сушильные шкафы	0,8	1
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1

Электроприемники	Коэффициенты	
	использования $k_{II}$	мощности $\cos \varphi$
2. Машиностроительная и металлообрабатывающая промышленность		
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные и др.	0,12	0,4
То же при крупносерийном производстве	0,16	0,5
То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные	0,17	0,65
То же с особо тяжелым режимом работы: молоты, ковочные машины, волочильные станы и др.	0,2	0,65
Многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,2	0,5
Краны тельферы	0,15	0,5
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,6	0,8
Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,8
Сварочные трансформаторы	0,3	0,4
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,35	0,7
То же стыковые и точечные	0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы типа АДС	0,4	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75	0,95
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой	0,6	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,7	0,75
Двигатель-генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,8
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,65
Элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры не заблокированные	0,4	0,75
То же заблокированные	0,55	0,75

## Содержание

<i>Лабораторная работа № 1. Обобщенные энергозатраты.</i>	
Условное топливо.....	3
<i>Лабораторная работа № 2. Показатели энергоэффективности .....</i>	9
<i>Лабораторная работа № 3. Нормирование расхода электроэнергии</i> <i>аналитическим методом.....</i>	19
<i>Лабораторная работа № 4. Регулировочная способность</i> <i>по энергоэффективности промышленных потребителей .....</i>	33
<i>Лабораторная работа № 5. Разработка балансов расхода</i> <i>электроэнергии для объектов соцкультбыта .....</i>	40
<i>Лабораторная работа № 6. Общетеchnические мероприятия</i> <i>по экономии энергоэффективности: оценка эффективности</i> <i>регулирования уровня напряжения в цеховых</i> <i>сетях промышленного предприятия .....</i>	45
<i>Лабораторная работа № 7. Исследование влияния уровня</i> <i>напряжения на работу люминесцентных ламп .....</i>	52
<i>Лабораторная работа № 8. Общетеchnические мероприятия</i> <i>по экономии электроэнергии: компенсация реактивной мощности ...</i>	56
Литература.....	61
Приложения.....	63

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Грунтович Надежда Владимировна  
Грунтович Николай Васильевич  
Дебой Виктор Казимирович**

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

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

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор  
Компьютерная верстка

*Н. В. Гладкова  
И. П. Минина*

Подписано в печать 23.12.19.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Ризография. Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 4,17.

Изд. № 3.

<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