

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

## **Информационные технологии в системах энергоснабжения**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов специальности  
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Витебск  
2021

УДК 621.9 (07)

Составители:

В. В. Дрюков, С. В. Жерносек, А. С. Марущак

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 28.12.2020.

**Информационные технологии в системах энергоснабжения:**  
методические указания по выполнению расчетно-графических работ / сост.  
В. В. Дрюков, С. В. Жерносек, А. С. Марущак. – Витебск: УО «ВГТУ», 2021. –  
28 с.

В методических указаниях изложена методика выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Информационные технологии в системах энергоснабжения».

УДК 621.9 (07)

© УО «ВГТУ», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА 1 .....	5
Пример выполнения задания РГР 1 .....	16
РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 .....	20
Пример выполнения задания РГР 2 .....	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	23

Витебский государственный технологический университет

## Введение

Сегодня практически любая область инженерной деятельности во многом связана с проблемами энергосбережения, разработкой, внедрением и эксплуатацией ресурсосберегающих технологий, с вопросами трансформации и передачи энергии. Учебная дисциплина «Информационные технологии в системах энергоснабжения» призвана вооружить будущего специалиста знаниями в области энергоснабжения промышленных предприятий и организаций.

Инженеры-энергетики специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» в своей практической работе связаны с вопросами производства, передачи и распределения энергии; технического обслуживания объектов энергетики; управления технологическими процессами, подразделениями энергетического профиля. Вопросами разработки и освоения нового энергетического оборудования и процессов; оценки результатов, в том числе технико-экономического анализа технологических процессов и производственной деятельности; внедрения энергосберегающих технологий и оборудования; повышения эффективности использования энергоресурсов. Объектом профессиональной деятельности специалиста является энергетическая система предприятия (организации).

Задачами изучения дисциплины являются: получение знаний об использовании информационных технологий в системах энергоснабжения; заложение фундаментальных знаний о принципах работы, построения, проектирования и расчета энергетических сетей предприятий; получение знаний о современном программном обеспечении для решения задач оптимизации систем энергоснабжения; приобретение знаний по использованию ПЭВМ для проектирования систем энергоснабжения.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен знать: информационные технологии в системах энергоснабжения; методы расчета систем энергоснабжения; основные нормативы и требования к системам энергоснабжения; современное программное обеспечение для решения задач оптимизации систем энергоснабжения; уметь использовать современное программное обеспечение для решения задач оптимизации систем энергоснабжения. Владеть программным обеспечением для проектирования систем энергоснабжения, информацией, необходимой для выбора наиболее рациональных, для данных производственных условий, систем энергоснабжения.

## РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

**Цель РГР 1.** Закрепление знаний по изучению текстовых редакторов, основ работы с MsWord. Форматирование текста. Структурирование текста. Размещение объектов в тексте. Создание текстовых эффектов. Основы работы с MsExcel. Вычисление по формулам. Построение графиков и диаграмм. Решение практических задач с использованием MsExcel.

В соответствии с индивидуальным заданием в среде Microsoft Word оформить расчетно-графическую работу. Построение графиков нагрузки и все необходимые расчеты выполнить в среде Microsoft Excel. Результаты расчетов и построений представить в электронном виде.

1. Изучить классификацию индивидуальных графиков нагрузки, электроприемников и их характеристики, систему показателей режима работы приемников и потребителей электроэнергии.

2. Исследовать взаимосвязь между показателями режима, безразмерными коэффициентами и физическими величинами графиков нагрузки;

3. Для одного из потребителей электроэнергии, включающего группу из пяти электроприемников, согласно варианту задания, выполнить следующее:

а) по заданной индивидуальной нагрузке электроприемников построить индивидуальные и групповой графики нагрузки с использованием MsExcel;

б) определить физические величины и безразмерные коэффициенты группового графика нагрузки с использованием MsExcel;

в) определить коэффициенты режима работы и пиковую нагрузку потребителя электроэнергии с использованием MsExcel.

### Теоретическая часть

Под нагрузкой в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительным прибором с достаточно малой инерцией, например стрелочным амперметром. Обычно имеют дело с тремя видами нагрузок: по току  $I$ , по активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощности. Кривая изменения нагрузки во времени  $I(t)$ ,  $P(t)$  или  $Q(t)$  называется графиком нагрузки. Следует различать индивидуальные и групповые графики нагрузки.

Индивидуальные графики нагрузки создаются отдельными электроприемниками и обозначаются строчными символами:  $i(t)$ ,  $p(t)$ ,  $q(t)$ .

Для большинства заводских электроприемников характерна цикличность их работы, обусловленная многократным повторением операций технологического процесса. Вследствие этого индивидуальные графики обладают регулярностью, которую необходимо учитывать при исследовании и расчетах нагрузок. Различают три основных характерных режима работы электроприемников, от которых зависит форма графиков нагрузки:

продолжительный; кратковременный; повторно-кратковременный (ПКР). В свою очередь электроприемники продолжительного режима работы делят на две разновидности по виду графиков нагрузки:

1. а) электроприемники с непрерывным режимом работы (большинство вентиляторов, насосов, компрессоров, электролизные установки и др.);

2. б) электроприемники, которые в процессе технологического цикла отключаются (неоднородный режим работы).

На рисунке 1.1 приведены графики нагрузки и изменения температуры нагрева частей электроприемника при различных режимах работы.

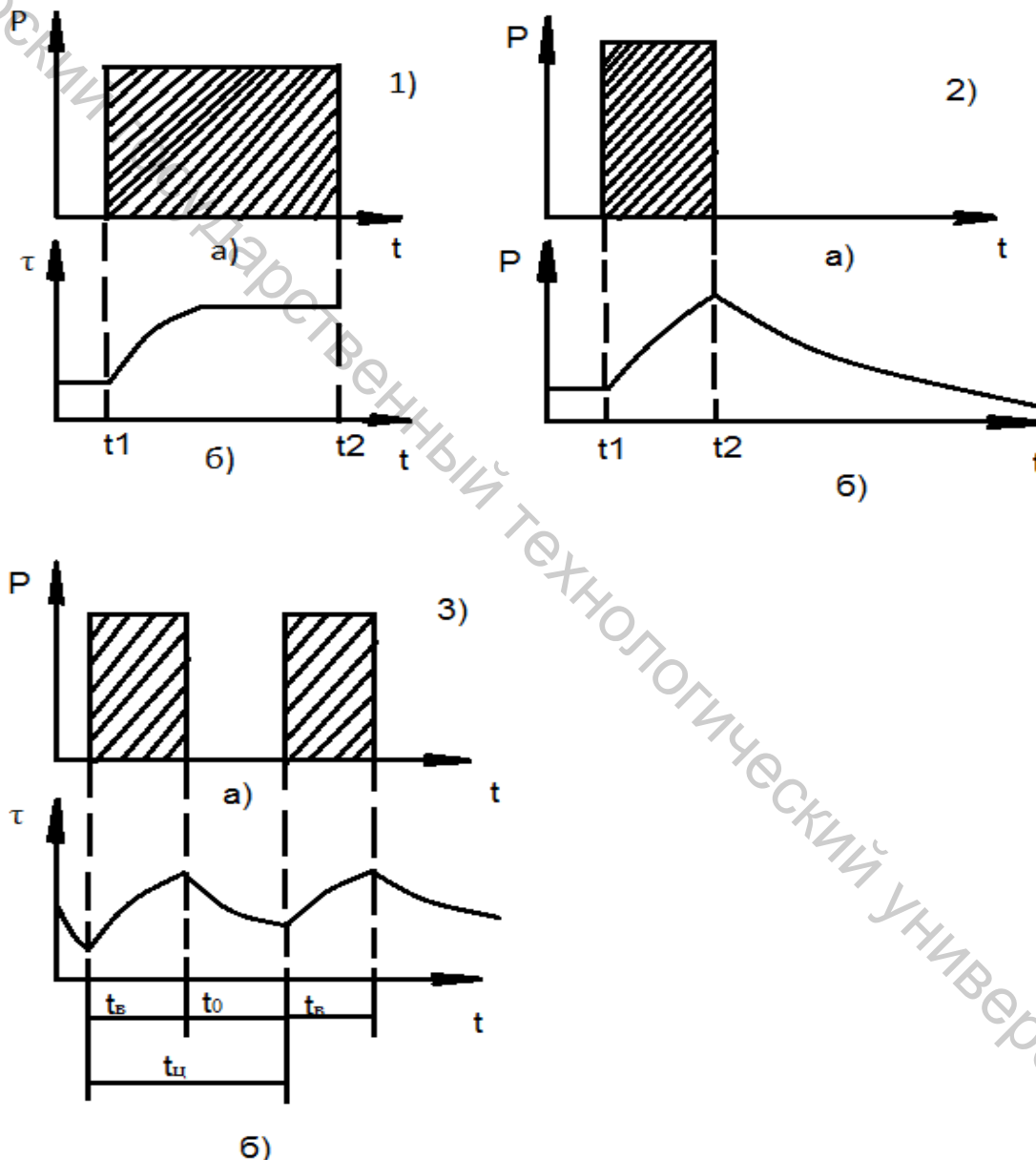


Рисунок 1.1 – Графики нагрузки (а) и изменения температуры нагрева частей электроприемника (б) при различных режимах работы:

1) продолжительный режим работы электроприемника; 2) кратковременный режим работы электроприемника; 3) повторно-кратковременный режим работы электроприемника (ПКР)

**Продолжительный режим** работы электроприемника соответствует номинальной неизменной нагрузке, продолжающейся столь долго, что температура  $\tau$  его частей достигает установившихся значений (рис. 1.1, 1).

Установившейся температурой считается температура, изменение которой в течение 1 ч не превышает  $1^\circ\text{C}$ .

Кратковременный режим работы электроприемника (рис. 1.1, 2) характеризуется тем, что он работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении электроприемник длительно не работает, и его температура снижается до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременный режим работы электроприемника – это такой режим, при котором кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки чередуются с паузами (рис. 1.1, 3). Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы перегревы отдельных частей электроприемника при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений. При повторно-кратковременном режиме работы электроприемник можно сильнее нагружать, чем при продолжительном номинальном режиме.

Повторно-кратковременный режим работы характеризуется продолжительностью включения (ПВ), равной отношению времени включения  $t_{\text{в}}$  к времени всего цикла  $t_{\text{ц}}$ :

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{о}} + t_{\text{в}}} \cdot 100 = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100, \quad \text{\%}, \quad (1.1)$$

где  $t_{\text{о}}$  – продолжительность отключения (паузы).

Значение  $t_{\text{ц}}$  при ПКР не должно превышать 10 мин.

Электротехническая промышленность выпускает оборудование со стандартными значениями ПВ, равными 15, 25, 40 и 60 %.

Фактические значения ПВ в процессе работы изменяются в значительных пределах. Соотношение между мощностями  $P_1$  и  $P_2$  электроустановки, работающей в повторно-кратковременном режиме при соответствующих ПВ<sub>1</sub> и ПВ<sub>2</sub>, имеет вид:

$$P_1 \cdot \sqrt{\text{ПВ}_1} = P_2 \cdot \sqrt{\text{ПВ}_2} = P_{\text{прод}}, \quad (1.2)$$

где  $P_{\text{прод}}$  – мощность, соответствующая продолжительному режиму работы (ПВ = 100 %).

Электроприемники продолжительного режима характеризуются коэффициентом включения,  $o. e.$ :

$$k_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{в}} + t_{\text{п}}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}}. \quad (1.3)$$

Величина  $t_{ц}$  при продолжительном режиме должна быть более 10 мин.

По виду изменения нагрузки, времени включения  $t_{в}$  и пауз  $t_{п}$  индивидуальные графики делятся на периодические, циклические, нециклические, нерегулярные (рис. 1.2).

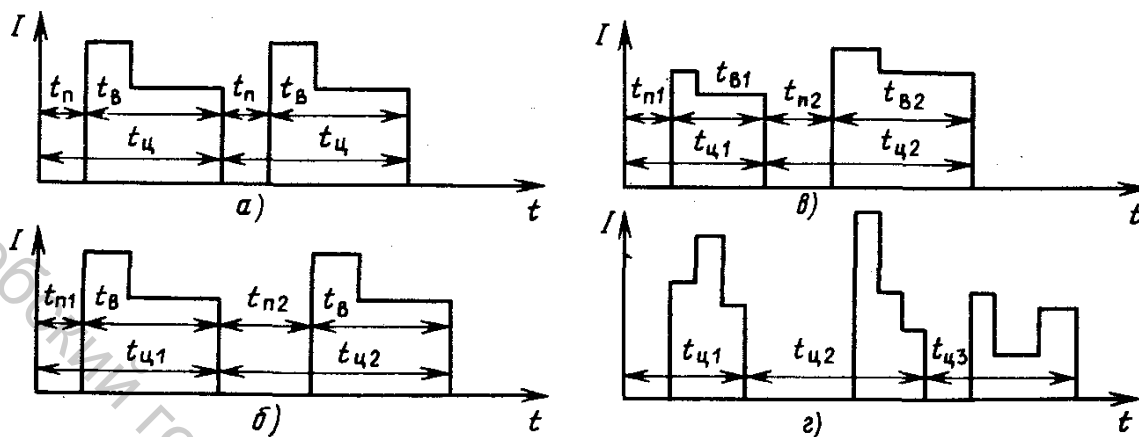


Рисунок 1.2 – Индивидуальные графики нагрузки различных типов

**Периодические графики** (рис. 1.2 а) отвечают строго ритмичному производству с одинаковыми токами и временами  $t_{п}$ ,  $t_{в}$ ,  $t_{ц}$  за разные циклы. Такие графики имеют, например, отдельные станки в автоматических поточных линиях.

**Циклические графики** (рис. 1.2 б) характерны для электроприемников поточных линий, где имеются ручные операции, например, установка, подгонка деталей, их съем и т. д. Времена пауз  $t_{п}$  и циклов  $t_{ц}$  у таких графиков за разные циклы неравны и изменяются по случайному закону.

**Нециклические графики** (рис. 1.2 в) имеют электроприемники, когда выполняемые ими операции строго не регламентированы, например, станки на ремонтных участках. В этом случае случайными являются все времена  $t_{в}$ ,  $t_{п}$  и  $t_{ц}$ , меняется и величина нагрузки от цикла к циклу. При этом нециклический график, подобно периодическому и циклическому, характеризуется стабильностью потребления электроэнергии за среднее время цикла.

**Нерегулярные графики** (рис. 1.2 г) встречаются редко. Их имеют электроприемники, которые обслуживают технологические процессы с неустановившимся характером. При этом условие стабильности потребления электроэнергии уже не соблюдается. Например, электропривод для бурения скважин большой глубины будет создавать нерегулярный график нагрузки, так как твердость породы и ее толщина все время меняются.

**Номинальная мощность электроприемников** – величина, как правило, заранее известна. Номинальная мощность электроприемников всегда относится к длительному режиму их работы ( $P_{в} = 100\%$ ).

Для электродвигателей номинальная мощность – это механическая мощность на валу  $P_{ном}$ , кВт. Номинальной мощностью плавильных электропечей, выпрямителей, преобразователей и сварочных машин является



мощность питающих их трансформаторов  $S_{\text{ном}}$ , кВ·А. Номинальной мощностью для печей сопротивления и осветительных электроприемников является мощность, потребляемая этими установками из сети, кВт.

Для электроприемников, работающих в ПКР, номинальная мощность определяется по выражениям:

$$\begin{aligned} p_{\text{ном}} &= p_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}; \\ s_{\text{ном}} &= s_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}; \\ q_{\text{ном}} &= s_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} \cdot \sin \varphi_{\text{ном}}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Номинальные токи определяют по выражениям:

$$\begin{aligned} i_{\text{ном}} &= \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}}; \\ i_{\text{ном}} &= s_{\text{ном}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Групповые графики нагрузки создаются группами электроприемников и обозначаются прописными символами:  $I(t)$ ,  $P(t)$ ,  $Q(t)$ .

Графики электрической нагрузки отображают режим работы электроприемников и потребителей электроэнергии и характеризуются физическими величинами и безразмерными коэффициентами.

### Расчетная нагрузка

Для каждого сечения проводников, кабелей и шинпроводов в зависимости от условий их прокладки указывается неизменная во времени длительно допустимая по условиям их нагрева нагрузка  $I_{\text{д.доп}}$ . Для выбора сечения проводников по графику переменной нагрузки график необходимо сначала заменить эквивалентным по эффектам нагрева простейшим графиком  $I = \text{const} = I_{\text{р}}$ , где  $I_{\text{р}}$  и есть расчетная нагрузка для данного графика. Следует различать две величины расчетной нагрузки:  $I_{\text{р1}}$  – по максимуму температуры нагрева проводника и  $I_{\text{р2}}$  – по тепловому износу его изоляции. Расчетной нагрузкой по максимуму температуры нагрева называется такая неизменная во времени нагрузка  $I_{\text{р1}}$ , которая вызывает в проводнике тот же максимальный перегрев над окружающей температурой, что и заданная переменная нагрузка  $I(t)$ . Расчетной нагрузкой по тепловому износу изоляции называется такая неизменная во времени нагрузка  $I_{\text{р2}}$ , которая вызывает в проводнике ту же величину теплового износа изоляции, что и заданная переменная нагрузка  $I(t)$ .

Расчетной нагрузкой  $I_{\text{р}}$  для данного графика  $I(t)$  называется наибольшая из отвечающих ему величин  $I_{\text{р1}}$  и  $I_{\text{р2}}$ .

Из-за отсутствия в справочной литературе ряда показателей, необходимых для правильного расчета теплового износа изоляции разных видов на практике в качестве расчетной нагрузки принимается  $I_{\text{р1}}$ .

Расчетные активная  $P_p$ , реактивная  $Q_p$  и полная  $S_p$  мощности определяются по выражениям:

$$P_p = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_p; \quad (1.6)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p; \quad (1.7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (1.8)$$

Из-за сложности определения расчетных  $\cos \varphi_p$  и  $\operatorname{tg} \varphi_p$  допускается их принимать равными средним:

$$\cos \varphi_p = \cos \varphi_{\text{ср}}, \operatorname{tg} \varphi_p = \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср}}. \quad (1.9)$$

Средние значения  $\cos \varphi_p$  и  $\operatorname{tg} \varphi_p$  определяются по справочным данным, полученным для характерных групп электроприемников.

**Средняя нагрузка за время  $t$**  представляет собой постоянную во времени нагрузку, обеспечивающую такой же расход электроэнергии, что и реальная изменяющаяся за это же время нагрузка. Для действующих промышленных предприятий определяется по показаниям счетчиков электрической энергии по формулам:

$$P_c = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T}; \quad P_{\text{ср}} = \frac{W_t}{t}; \quad Q_{\text{ср}} = \frac{V_t}{t}; \quad (1.10)$$

$$S_{\text{ср}} = \sqrt{P_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{ср}}^2}; \quad I_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (1.11)$$

где  $W_t$  и  $V_t$  – активная и реактивная энергия соответственно за время  $t$  (цикл, смена, месяц, год).

При заданном графике нагрузки за время  $t$  средняя активная нагрузка определяется как:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i \cdot \Delta t_i}{t}, \quad (1.12)$$

где  $P_i$  – усредненная за интервал времени  $\Delta t_i$  активная нагрузка;  $m$  – количество интервалов усреднения графика нагрузки.

**Среднеквадратичная (эффективная) нагрузка** за время  $t$  представляет собой постоянную во времени нагрузку, обеспечивающую такие же потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения, что и реальная

изменяющаяся за это же время нагрузка. При заданном графике нагрузки за время  $t$  определяется по выражению:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2(t) dt}; \quad P_{\text{с.к}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \cdot \Delta t_i}{t}} \quad (1.13)$$

**Пиковая нагрузка**  $I_{\text{п}}$  ( $P_{\text{п}}$ ) представляет собой кратковременные максимальные значения графика нагрузки, которые необходимо знать для определения параметров срабатывания коммутационно-защитной аппаратуры. Пиковая нагрузка образуется при включении (пуске) электроприемников (электроприемники с электродвигателями и др.), а также при работе электроприемников с резкопеременной и импульсной нагрузкой и при совпадении времени работы таких электроприемников.

Основными безразмерными показателями индивидуальных графиков нагрузки являются: коэффициент загрузки  $k_z$ ; коэффициент включения  $k_{\text{в}}$ ; продолжительность включения ПВ; коэффициент использования мощности  $k_{\text{и}}$ ; коэффициент формы  $k_{\text{ф}}$ .

**Коэффициент загрузки** для электроприемников с длительным режимом работы определяется по выражению:

$$k_z = p_{\text{ср.в}} / p_{\text{ном}}, \quad (1.14)$$

где  $p_{\text{ср.в}}$  – средняя нагрузка электроприемника за время его включения в течение цикла работы  $t_{\text{ц}}$ .

Для электроприемников, работающих в импульсном и повторнократковременном режимах,  $k_z$  правильнее определять по выражению:

$$k_z = \frac{i_{\text{ср.в}}}{i_{\text{пасп}}} \approx \frac{p_{\text{ср.в}}}{p_{\text{пасп}}} \approx \frac{s_{\text{ср.в}}}{s_{\text{пасп}}}, \quad (1.15)$$

где  $i_{\text{пасп}}$ ,  $p_{\text{пасп}}$ ,  $s_{\text{пасп}}$  – паспортные ток и мощности электроприемников;  $i_{\text{ср.в}}$ ,  $p_{\text{ср.в}}$ ,  $s_{\text{ср.в}}$  – средние ток и мощности за время включения.

Коэффициент загрузки является важной характеристикой режима работы электроприемника, которая влияет на его КПД, а также на потери мощности и энергии. Знание этой характеристики необходимо также для расчета электрических нагрузок, показателей качества электроэнергии др. На величину  $k_z$  влияет много факторов, поэтому для определения общих закономерностей изменения этого показателя необходимо применение теории вероятностей.

**Коэффициент включения** характеризует использование электроприемников по времени и определяется по выражению (1.3).

**Продолжительность включения.** Этот показатель применяется для характеристики использования по времени электроприемников повторнократковременного и импульсного режимов работы. Его величина определяется по формуле (1.1).

**Коэффициент использования** характеризует использование электроприемника по мощности и по времени и определяется по выражению:

$$k_{и} = \frac{P_{ср.ц}}{P_{ном}} = k_3 \cdot k_B = \frac{W_{ц}}{t_{ц} \cdot P_{ном}}, \quad (1.16)$$

где  $P_{ср.ц}$  – средняя нагрузка за цикл работы электроприемника;  $W_{ц}$  – потребление активной энергии электроприемником за цикл.

**Коэффициент формы** характеризует неравномерность графика нагрузки во времени за цикл и определяется по выражению:

$$k_{ф} = \frac{P_{с.к}}{P_{ср.ц}} \quad (1.17)$$

Наименьшее, равное единице значение  $k_{ф}$  принимает при неизменной во времени нагрузке.

Для групповых графиков нагрузки основными безразмерными показателями являются: коэффициент использования мощности  $K_{и}$ , коэффициент максимума  $K_{м}$  и коэффициент заполнения графика  $K_{з.г.}$ , коэффициент формы графика  $K_{ф}$ , коэффициент спроса  $K_{с}$ .

**Групповой коэффициент использования** в действующих установках определяется по показаниям счетчиков за смену:

$$K_{и} = \frac{W_{см}}{t_{см} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном.i}} \quad (1.18)$$

При проектировании групповой коэффициент использования можно определить через индивидуальные  $k_{иi}$ :

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{иi} \cdot P_{насп.i}}{\sum_{i=1}^n P_{насп.i}} \quad (1.19)$$

Коэффициент максимума определяется по выражению:

$$K_{м} = P_p / P_{ср}, \quad (1.20)$$

где  $P_p$  – расчетный получасовой максимум нагрузки.

Коэффициент заполнения графика определяется по выражению:

$$K_{з.г.} = 1/K_{м} = P_{ср} / P_p \quad (1.21)$$

**Коэффициент спроса** определяется по выражению:

$$K_c = \frac{P_p}{\sum_1^n P_{\text{пасп}i}} = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (1.22)$$

Значения  $K_c$  для различных потребителей электроэнергии приводятся в справочной литературе.

Коэффициент формы группового графика нагрузки:

$$K_{\text{ф.г.}} = P_{\text{с.к}}/P_{\text{ср}}. \quad (1.23)$$

### Задание РГР 1

Для варианта задана группа из пяти трехфазных приемников электрической энергии напряжением 380 В (табл. 1.1), нагрузка каждого из них за смену приведена в виде графика (табл. 1.2), паспортные параметры приемников электроэнергии приведены в таблице 1.3, средневзвешенный коэффициент активной мощности заданной группы электроприемников  $\cos\varphi_{\text{ср.взв.}} = 0,6$ .

Необходимо построить групповой график нагрузки и определить основные физические величины (среднюю, среднеквадратичную, часовую максимальную и пиковую нагрузки) и безразмерные показатели группового графика (коэффициенты использования, максимума, спроса, заполнения и формы графика).

Таблица 1.1 – Данные по составу электроприемников в группе

Номер варианта	Номер электроприемника					Номер варианта	Номер электроприемника				
	1	3	9	20	26		2	3	6	11	14
1	1	3	9	20	26	26	2	3	6	11	14
2	2	4	10	12	22	27	1	11	14	18	26
3	3	7	17	19	25	28	4	7	12	14	16
4	4	5	8	14	24	29	3	10	11	22	26
5	5	6	11	15	23	30	3	8	14	15	23
6	6	9	10	21	26	31	5	7	9	10	24
7	7	11	14	17	18	32	6	11	22	23	26
8	8	9	11	15	19	33	7	13	15	17	21
9	9	12	14	16	17	34	11	15	16	20	22
10	10	11	19	20	26	35	10	13	17	18	20
11	2	3	6	14	18	36	9	13	16	19	26
12	4	11	17	19	26	37	15	20	21	23	26
13	1	5	6	24	26	38	13	16	17	24	25
14	5	10	14	18	23	39	14	15	16	22	23
15	6	8	12	15	22	40	12	18	19	21	22
16	8	13	16	20	26	41	16	20	23	24	25
17	7	12	17	19	20	42	18	19	20	24	26
18	10	12	13	16	17	43	6	7	12	14	25
19	9	11	14	17	21	44	8	10	11	14	23
20	11	14	16	17	19	45	9	15	20	24	25
21	13	15	16	18	20	46	10	20	22	25	26
22	12	14	18	19	24	47	8	12	20	21	24
23	16	17	18	20	23	48	1	9	11	16	18
24	15	18	19	22	26	49	2	5	6	8	10
25	14	16	20	23	25	50	3	6	13	23	26

Таблица 1.2 – Данные по сменной нагрузке электроприемников

№ п/п	Потребляемая мощность в часы смены, кВт							
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
1	5	8	10	16	7	17	18	2
2	10	16	8	25	14	5	28	18
3	5	7	2	10	8	4	11	3
4	1	4	2	3	1,5	3,5	4	0,5
5	3	8	11	4	2	13	5	7
6	7	10	5	11	10	8	4	2
7	35	55	60	40	20	70	65	15
8	2	3,5	5,5	1,5	4	1	2	0
9	0	4	8	10	3	6	10	1
10	20	30	40	15	10	0	15	10
11	10	15	5	25	0	36	15	5
12	1	4	2	3,5	1,5	0	3	4
13	0	2,5	6	1	5	2,5	6,5	1,5
14	0	1,4	0,5	1	0,2	1,5	0	1
15	10	35	50	25	16	48	0	40
16	0,5	5	2	0	4,5	1,5	3	0
17	40	80	56	66	29	83	44	15
18	9	13	0	8	4,5	10	3	7
19	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0
20	5	20	4	18	2,5	0	16	2,5
21	1,5	4	0	2,5	0,5	3,5	0,45	0
22	10	36	15	33	8	0	38	5
23	25	40	11	34	8	39	39	1,5
24	15	25	11	20	21	8	6	7,5
25	9	22	18	10	15	8,5	0	4
26	44	71	56	23	18	0	36	20

Таблица 1.3 – Параметры электрических приемников

№ электроприемника	$P_{\text{насп}},$ кВт	$S_{\text{насп}},$ кВ·А	$\cos\varphi_{\text{H}}$	$\eta_{\text{H}},\%$	$i_{\text{П}}/i_{\text{H}},$ о. е.	ПВ, %
1	18,5	–	0,88	89,5	7,0	100
2	30	–	0,87	92,0	7,5	100
3	–	28	0,6	–	3	60
4	4	–	0,84	85,0	6,5	50
5	–	21,5	0,55	–	2,5	65
6	11	–	0,86	87,5	7,5	100
7	75	–	0,89	92,5	7,5	100
8	5,5	–	0,8	85,0	7	100
9	15	–	0,85	88,0	6,5	40
10	45	–	0,89	92,5	7,5	100
11	–	65	0,65	–	3,5	50
12	–	16	0,5	–	3	60
13	–	14	0,6	–	3	40
14	2,2	–	0,74	81,0	6	100
15	55	–	0,86	92,5	7	100
16	7,5	–	0,81	85,5	6,5	80
17	90	–	0,86	93,0	6,5	100
18	22	–	0,83	90,0	6,5	60
19	1,5	–	0,72	77,0	4,5	40
20	–	40,5	0,7	–	2	65
21	–	9	0,5	–	3	80
22	–	122	0,4	–	2	60
23	–	75	0,6	–	3,5	65
24	30	–	0,8	91,0	6,5	60
25	37	–	0,7	85,0	7	40
26	75	–	0,88	94,0	7,5	100

Групповой график нагрузки складывается из индивидуальных графиков путем суммирования соответствующих ординат.

### Пример выполнения задания РГР 1

Для группы из пяти электроприемников (12, 14, 18, 19, 24) построим групповой график и рассчитаем его параметры. Исходные данные по группе представлены в таблицах 1.4, 1.5. Номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 380$  В.

### Постановка и ход выполнения задания



Таблица 1.4 – Исходные данные нагрузки группы электроприемников

№ эл. приемника	Потребляемая мощность в часы смены, кВт								Средняя нагрузка, $P_{ср}$ , кВт
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
12	1	4	2	3,5	1,5	0	3	4,0	2,38
14	0	1,4	0,5	1	0,2	1,5	0	1	0,70
18	9	13	0	8	4,5	10	3	7	6,81
19	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0	0,35
24	15	25	11	20	21	8	6	7,5	14,19
<b>Итого</b>	<b>25,00</b>	<b>44,10</b>	<b>13,70</b>	<b>33,50</b>	<b>27,30</b>	<b>19,50</b>	<b>12,80</b>	<b>19,50</b>	<b>24,43</b>

Как видно из таблицы 1.4, максимальная нагрузка группы электроприемников  $P_{max} = 44,1$  кВт. Групповой график нагрузки представлен на рисунке 1.3.

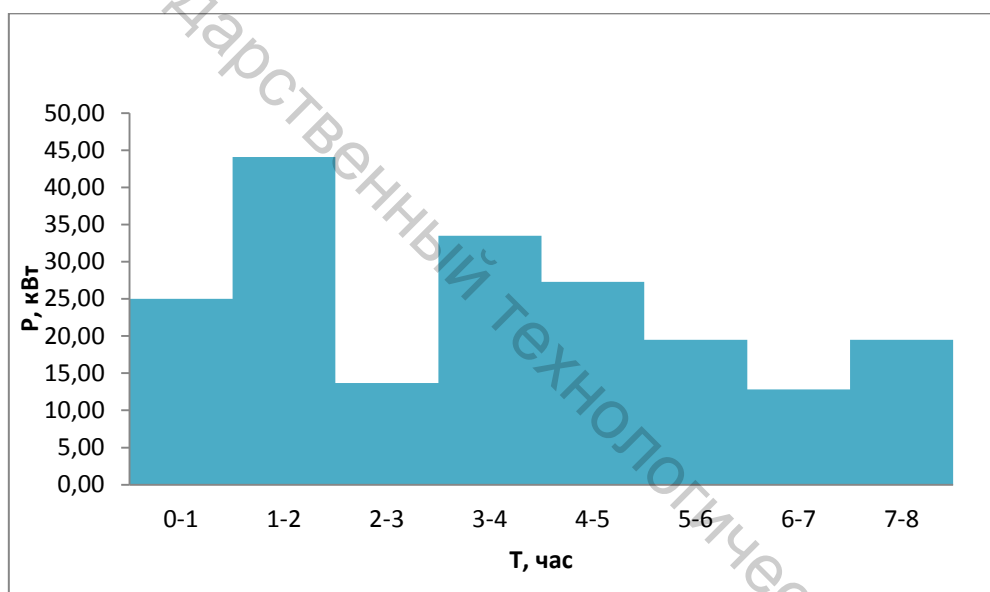


Рисунок 1.3 – График нагрузки заданной группы электроприемников

Таблица 1.5 – Номинальные данные электроприемников группы

№ электроприемника	$P_{пасп}$ , кВт	$S_{пасп}$ , кВт	$\cos\phi_n$	$\eta_n, \%$	$i_n/i_n$	ПВ, %
12	8	16	0,5	92,5	3	60
14	2,2	2,97	0,74	81	6	100
18	22	26,51	0,83	90	6,5	60
19	1,5	2,08	0,72	77	4,5	40
24	30	37,5	0,8	91	6,5	60
<b>Итого</b>	<b>63,7</b>					

Определяем параметры группового графика нагрузки:

1.1. Часовая нагрузка группового графика  $P_{\text{час}}$  определяется путем суммирования мощностей всех электроприемников в каждом интервале времени:

$$P_{\text{час}(i-j)} = P_{1(i-j)} + P_{2(i-j)} + P_{3(i-j)} + P_{4(i-j)} + P_{5(i-j)};$$

$$P_{\text{час } 0-1} = 1 + 0 + 9 + 0 + 15 = 25 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 1-2} = 4 + 1,4 + 13 + 0,7 + 25 = 44,1 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 2-3} = 2 + 0,5 + 0 + 0,2 + 11 = 13,7 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 3-4} = 3,5 + 1 + 8 + 1 + 20 = 33,5 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 4-5} = 1,5 + 0,2 + 4,5 + 0,1 + 21 = 27,3 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 5-6} = 0 + 1,5 + 10 + 0 + 8 = 19,5 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 6-7} = 3 + 0 + 3 + 0,8 + 6 = 12,8 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{час } 7-8} = 4 + 1 + 7 + 0 + 7,5 = 19,5 \text{ кВт}.$$

Из полученных результатов видно, что  $P_{\text{max}} = P_{\text{час } 1-2} = 44,1 \text{ кВт}$ .

1.2. Средняя нагрузка за смену для данного группового графика:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_i}{n} = \frac{25 + 44,1 + 13,7 + 33,5 + 27,3 + 19,5 + 12,8 + 19,5}{8} = 24,43 \text{ кВт}.$$

1.3. Среднеквадратичная нагрузка данного группового графика:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{N}}, \text{ где } N \text{ число часовых интервалов.}$$

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{625 + 1944,81 + 187,69 + 1122,25 + 745,29 + 380,25 + 163,84 + 380,25}{8}} = 26,34 \text{ кВт}.$$

1.4. Находим безразмерные показатели группового графика:

а) групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{24,43}{63,7} = 0,38;$$

б) коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ср}}} = \frac{44,1}{24,43} = 1,81;$$

в) коэффициент спроса:

$$K_c = \frac{P_{max}}{P_{ном}} = \frac{44,1}{63,7} = 0,69;$$

г) коэффициент заполнения графика:

$$K_{з.г.} = \frac{P_{ср}}{P_{max}} = \frac{1}{K_M} = \frac{24,43}{44,1} = 0,55;$$

д) коэффициент формы графика:

$$K_{ф.г.} = \frac{P_{ск}}{P_{ср}} = \frac{26,34}{24,43} = 1,08;$$

1.5. Определяем пиковый ток:

$$I_{пик} = i_{п.м} + (I_M - k_{И} \cdot i_{ном}),$$

где  $i_{п.м}$  – наибольший из пусковых токов электроприемников в группе;  $I_M$  – максимальный ток группы электроприемников;  $i_{ном}$  – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;  $k_{И}$  – коэффициент использования мощности электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток  $i$ -го электроприемника определяется по выражению:

$$i_{ни} = \frac{P_{паспi} \cdot \sqrt{ПВi}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_{ни} \cdot \cos \varphi_{ни}}, \text{ A},$$

для электроприемника № 12 составит:

$$i_{н12} = \frac{8000 \cdot \sqrt{0,6}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,925 \cdot 0,5} = 20,36 \text{ A}.$$

Для других электроприемников:

$$i_{н14} = 5,58 \text{ A}; i_{н18} = 34,66 \text{ A}; i_{н19} = 2,6 \text{ A}; i_{н24} = 48,5 \text{ A}.$$

Пусковые токи электроприемников:

$$i_{пi} = i_{ни} \cdot \frac{i_{пi}}{i_{ни}}, \text{ A};$$

$$i_{п12} = 20,36 \cdot 3 = 61,07 \text{ A},$$

для остальных приемников группы:

$$i_{п14}=33,46 \text{ А}; i_{п18}=225,29 \text{ А}; i_{п19}=11,7 \text{ А}; i_{п24}=315,24 \text{ А}.$$

Определим  $k_{и}$  приемника № 24 с максимальным пусковым током:

$$k_{и} = \frac{P_{ср}}{P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ}} = \frac{14,19}{30 \cdot \sqrt{0,6}} = 0,611,$$

где  $P_{ср26} = \frac{15+25+11+20+21+8+6+7,5}{8} = 14,19 \text{ кВт};$   
 $P_{н26} = 30 \text{ кВт}$  из таблицы 1.2.

Максимальный ток группы электроприемников:

$$I_M = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi_{ср.взв.} \cdot U_{ном}} = \frac{44,1}{\sqrt{3} \cdot 0,6 \cdot 0,38} = 111,67 \text{ А}.$$

Определим пиковый ток группы электроприемников:

$$I_{пик} = 315,24 + (111,67 - 0,611 \cdot 48,5) = 397,3 \text{ А}.$$

## РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА 2

**Цель РГР 2.** Закрепление знаний по изучению раздела, теплоснабжение. Информационные технологии в системах теплоснабжения. Устройство и конструкции тепловых сетей. Тепловые потери энергии при транспортировке. Тепловая изоляция теплопроводов. Электронные модели теплоснабжения (ЭМТС). Основы работы с MsWord. Основы работы в среде трехмерного компьютерного моделирования. Вычисление по формулам. Решение практических задач с использованием MsExcel.

В соответствии с индивидуальным заданием в среде Microsoft Word оформить расчетно-графическую работу. Все необходимые расчеты выполнить в среде Microsoft Excel. Построить, согласно варианту задания, 3D-модель участка трубопровода в среде САПР КОМПАС. Результаты расчетов и построений представить в электронном виде.

Пример построения приведен в приложении Г.

### Задание на расчетно-графическую работу

По трубопроводу диаметром  $d_1/d_2$  (мм) с коэффициентом теплопроводности стали  $\lambda_{ст} = 50$  (Вт/м·град), с тепловой изоляцией из

торфофасонных плит с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_T = 0,08$  (Вт/м·град) и толщиной  $\delta_{из}$  (мм), протекает насыщенный водяной пар давлением  $p$  (бар). Определить потерю тепла (в кг пара) участком трубопровода длиной  $l$  (м) и температуру наружной поверхности изоляции  $t_{из}$  °С за время работы паропровода  $\tau$  (ч). Коэффициенты теплоотдачи от пара к стенке  $\alpha_1 = 200$  (Вт/м<sup>2</sup>·град) и от внешней поверхности изоляции в окружающую среду  $\alpha_2 = 8$  (Вт/м<sup>2</sup>·град).

Температура окружающего воздуха равна  $t^0$  °С. Решить задачу для случая тепловой изоляции из минеральной ваты (плотная набивка) с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{из} = 0,045$  (Вт/м град) и определить экономический эффект за счет замены изоляции, выраженный в кг пара и в экономии условного топлива за заданный фонд времени  $\tau$ .

Данные варианта определяется по номеру зачетки таблице 2.1 и по таблице приложения В.

Таблица 2.1 – Задание на РГР 2

Последняя цифра зачетки	$d_1/d_2$ (мм)	$\delta_{из}$ (мм)	$p$ (бар)	Предпоследняя цифра зачетки	$l$ (м)	$\tau$ , (ч)	$t^0$ °С
0	25/29	25	10	0	200	2000	10
1	30/35	30	8	1	500	3000	5
2	40/45	40	9	2	600	2500	-5
3	50/56	40	7	3	400	1000	-10
4	70/76	50	10	4	700	3000	8
5	100/110	60	9	5	500	2000	10
6	120/130	70	10	6	300	1500	5
7	140/155	75	10	7	600	2500	0
8	150/165	80	10	8	1000	1000	-2
9	150/160	70	9	9	500	4000	-12

Примечание: если температура поверхности изоляции  $t_{из}$  при расчетах  $t_{из} > 50^\circ\text{C}$ , необходимо подобрать толщину слоя теплоизоляции из условия  $t_{из} \leq 50^\circ\text{C}$ .

### Пример выполнения задания РГР 2

Коэффициент теплопередачи многослойной цилиндрической стенки определяем по уравнению

$$K_{ц} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_{из}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{из}}}, \text{ (Вт/м}^2\text{*град)}. \quad (2.1)$$

Тепловой поток

$$Q_{\text{ц}} = K_{\text{ц}} * \pi * l * (t_{\text{н}} - t_0) * 10^{-3}. \quad (2.2)$$

Тепловой поток  $Q_{\text{ц}}$  – определяется для двух вариантов тепловой изоляции за время работы паропровода  $\tau$ . Температура наружной поверхности слоя изоляции находится из уравнения

$$t_{\text{из}} = t_0 + \frac{q_1}{\pi} * \frac{1}{\alpha_1 d_{\text{из}}}, (\text{°C}), \quad (2.3)$$

где  $q_1 = \frac{Q_{\text{ц}}}{l}$  – линейный тепловой поток (Вт/м).

Температура насыщенного пара  $t_{\text{н}}$  и энтальпия определяются по таблице приложения В.

Потеря тепла в кг пара

$$D = \frac{\Delta Q_{\text{из}}}{i''} * 3600, \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right). \quad (2.4)$$

Экономия условного топлива

$$\Delta V_{\text{у.т.}} = \frac{\Delta Q_{\text{из}} * 3600}{Q_{\text{н(усл)}}^{\text{р}}}, (\text{кг/ч}), \quad (2.5)$$

где  $Q_{\text{н(усл)}}^{\text{р}} = 29300$  кДж/кг – теплота сгорания условного топлива.

Экономия условного топлива за время работы паропровода

$$V_{\text{у.т.}} = \Delta V_{\text{у.т.}} * \tau * 10^{-3}, (\text{т.у.т/год}) \quad (2.6)$$

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Орлов, С. А. Организация ЭВМ и систем / С. А. Орлов, Б. Я. Цилькер. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2014, 2018. – 688 с. – 2 экз.
2. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения: учебник / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. – Новосибирск: НГТУ, 2015. – 258 с. – 3 экз. – имеется электронный аналог.
3. Ус, А. Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А. Г. Ус, Л. И. Евминов. – Мн.: «Пион», 2002. – 457 с.
4. Радкевич, В. Н. Проектирование систем электроснабжения / В. Н. Радкевич. – Мн.: НПО «Пион», 2001. – 292 с.
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В двух томах; под общей ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Богданова, С. В. Информационные технологии [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / С. В. Богданова, А. Н. Ермакова. – Электрон. текстовые данные. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, Сервисшкола, 2014. – 211 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/48251>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
7. Михеева, Е. В. Информационные технологии в профессиональной деятельности: учеб. пособие для сред. проф. образ. / Е. В. Михеева. – 6-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 384 с.
8. Гурина, И. А. Информационные технологии в электроснабжении [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Информационные технологии в электроснабжении» для студентов специальности «Электроснабжение» / Гурина И. А. – Электрон. текстовые данные. – Черкесск: Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, 2014. – 34 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27198>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю.
9. Потребители электроэнергии: курс лекций для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной и заочной форм обучения / Ю. Н. Колесник. – Гомель: ГГТУ, 2009. – 72 с.
10. Электронные информационные ресурсы.

## Приложение А

Пример оформления титульного листа

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология и оборудования машиностроительного  
производства»

### Расчетно-графическая работа №1

по дисциплине

«Информационные технологии в системах энергоснабжения»

«ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМА РАБОТЫ  
ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ»

Выполнил:  
ст.гр.Тээ-1  
Иванов И.И.

Проверил:  
доцент  
Петров П.П.

Витебск, 2021



## Приложение Б

Пример оформления расчетов в Ms Excel РГР 1

№ эл. Приемника	Потребляемая мощность в часы смены, кВт								Средняя нагрузка, $P_{ср}$ , кВт
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	
12	1	4	2	3,5	1,5	0	3	4,0	2,38
14	0	1,4	0,5	1	0,2	1,5	0	1	0,70
18	9	13	0	8	4,5	10	3	7	6,81
19	0	0,7	0,2	1	0,1	0	0,8	0	0,35
24	15	25	11	20	21	8	6	7,5	14,19
<b>Итого</b>	<b>25,00</b>	<b>44,10</b>	<b>13,70</b>	<b>33,50</b>	<b>27,30</b>	<b>19,50</b>	<b>12,80</b>	<b>19,50</b>	<b>24,43</b>

№ электроприемника	$P_{насп}$ , кВт	$S_{насп}$ , кВт	$\cos\phi_n$	$\eta_n, \%$	$i_n/i_n$	ПВ, %
12	8	16	0,5	92,5	3	60
14	2,2	2,97	0,74	81	6	100
18	22	26,51	0,83	90	6,5	60
19	1,5	2,08	0,72	77	4,5	40
24	30	37,5	0,8	91	6,5	60
<b>Итого</b>	<b>63,7</b>					

$$K_{II} = 0,38$$

$$P_{ск} = 26,34$$

$$K_M = 1,81$$

$$i_{n12} = 20,36$$

$$i_{n12} = 61,07$$

$$k_{II} = 0,611$$

$$i_{n14} = 5,58$$

$$i_{n14} = 33,46$$

$$K_C = 0,69$$

$$i_{n18} = 34,66$$

$$i_{n18} = 225,29$$

$$I_M = 111,67$$

$$i_{n19} = 2,60$$

$$i_{n19} = 11,70$$

$$K_{з.г.} = 0,55$$

$$i_{n24} = 48,50$$

$$i_{n24} = 315,24$$

$$I_{ПНК} = 397,2956$$

$$K_{ф.г.} = 1,08$$

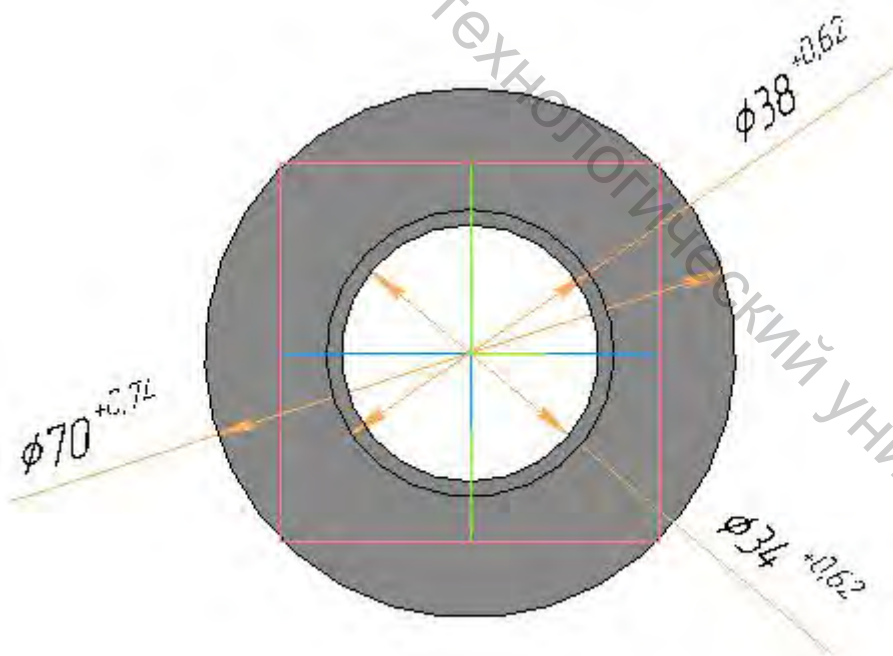
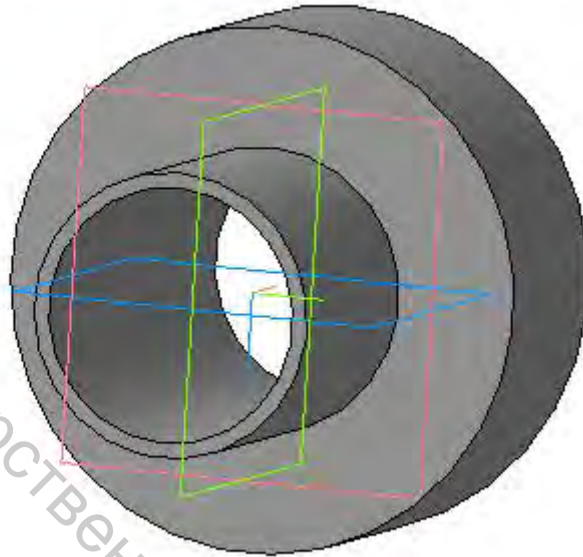
## Приложение В

Насыщенный водяной пар и вода (по давлениям)

р, бар	t, °С	i', кДж/кг
0,010	6,92	2513
0,025	21,94	2539
0,050	32,88	2561
0,075	40,32	2574
0,10	45,84	2584
0,15	54,00	2599
0,20	60,08	2609
0,25	64,99	2618
0,30	69,12	2625
0,40	75,88	2636
0,60	85,95	2653
0,8	93,52	2665
1,0	99,64	2675
2,0	120,23	2707
3,0	133,54	2727
4,0	143,62	2738
5,0	151,84	2749
6,0	158,84	2757
7,0	164,96	2764
8,0	170,42	2769
9,0	175,35	2774
10,0	179,88	2778

## Приложение Г

### Фрагмент участка трубопровода



Учебное издание

# Информационные технологии в системах энергоснабжения

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ

Составители:

Дрюков Василий Васильевич  
Жерносек Сергей Васильевич  
Марущак Алексей Сергеевич

Редактор *Т.А. Осипова*  
Корректор *Т.А. Осипова*  
Компьютерная верстка *С.В. Жерносек*

---

Подписано к печати 05.01.2021. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Усл. печ. листов 1,8.  
Уч.-изд. листов 2,2. Тираж 60 экз. Заказ № 3.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.