

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

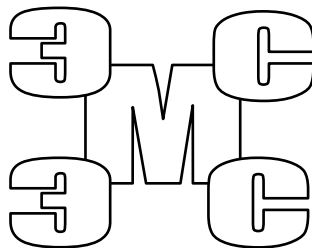
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра электромеханических систем и электроснабжения

# 207-2021

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам  
«Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для  
студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе  
возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 «Агроинженерия»  
(«Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных  
предприятий») всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 620.9

**Составители:**

канд. техн. наук А.В. Тикунов  
Т.Е. Черных,

Методические указания к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Тикунов, Т.Е. Черных. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2021, 19 с.

Основной целью методических указаний является получение обучающимися практических навыков разработки систем электроснабжения на базе фотоэлектрических преобразователей.

Предназначены для проведения практических занятий, а также выполнения курсового проекта по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» учащимися всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «Практикум ВИЭ.pdf».

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 2 назв.

**УДК 620.9**

**Рецензент** – Л.Н. Титова, канд. техн. наук, доц.  
доцент кафедры электромеханических систем  
и электроснабжения Воронежского государственного  
технического университета

*Издается по решению учебно-методического совета  
Воронежского государственного технического университета*

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ .....	4
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Определение суточной инсоляции для рассматриваемой местности .....	7
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Анализ и расчёт нагрузок. ....	11
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Разработка структурной схемы системы электроснабжения. ....	13
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Расчёт необходимого количества солнечных батарей. ....	15
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Расчёт необходимого количества аккумуляторных батарей .....	16
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. Выбор дополнительных устройств .....	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ....	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	19

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплин «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения.

Цель практических работ – закрепление теоретического материала, полученного на лекционных занятиях, а также получение навыков инженерных разработки систем электроснабжения на базе фотоэлектрических преобразователей.

Цель курсового проектирования – закрепление и расширение знаний, полученных на лекционных, лабораторных и практических занятиях по принципам разработки систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии, методике их расчета, а также развитие навыков самостоятельной работы и умений использования специальной технической литературы.

В результате выполнения практических работ и курсового проектирования студент должен:

Уметь:

- разрабатывать структурные схемы систем электроснабжения на основе фотоэлектрических преобразователей;
- выполнять расчеты систем электроснабжения, использующих в качестве источника фотоэлектрические преобразователи;
- выполнять выбор и расчет систем аккумуляирования для автономных систем электроснабжения.

Владеть:

- методами расчета, необходимыми для решения задач проектирования систем электроснабжения на базе ВИЭ.

## **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

Перед выполнением практических работ обучающийся должен строго выполнить весь объем домашней подготовки; знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности студента.

При выполнении работ студент должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие расчеты; пользоваться справочной и технической литературой; подготовить ответы на контрольные вопросы.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

При решении задач рекомендуется сначала наметить ход решения. В случае простых задач рекомендуется сначала найти решение в общем виде, лишь в конце поставив числовые значения. В случае задач с большим вычислением рекомендуется после того, как намечен ход решения, подставлять числовые значения и проводить вычисления в промежуточных формулах.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами.

Все схемы и рисунки, сопровождающие выполнение практических работ выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ.

Аттестация по дисциплине проводится с учетом выполнения каждой практической работы. При отсутствии студента по неуважительной причине студент выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.

Неаккуратное выполнение практической работы, несоблюдение принятых правил и плохое оформление чертежей и схем могут послужить причиной возвращения работы для доработки.

## **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Курсовой проект выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, выданным преподавателем. Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Оформление курсового проекта должно соответствовать СТП ВГТУ и ЕСКД.

Расчетно-пояснительная записка (РПЗ) должна содержать все необходимые расчеты, а также поясняющие схемы и рисунки.

РПЗ должна быть выполнена в печатном виде на листах формата А4 по ГОСТ 9327 (210x297 мм). Текст следует набирать, соблюдая следующие размеры полей: правое — 10 мм; левое — 20 мм; верхнее — 20 мм; нижнее — 10 мм;

Набор текста в текстовом редакторе должен удовлетворять следующим требованиям: шрифт Times New Roman, кегль 14, цвет шрифта – черный, межстрочный интервал – 1,5. Текст должен быть отформатирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов, первая строка с абзацным отступом 1,25 см.

Страницы РПЗ следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения.

Номер страницы проставляют в центре нижней части страницы без точки.

Титульный лист включается в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Наименования структурных элементов «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ», «ПРИЛОЖЕНИЕ» служат заголовками этих структурных элементов. Заголовки структурных элементов следует располагать по центру строки без точки в конце и печатать прописными буквами, не подчеркивая. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно одной строке. Каждый структурный элемент КП следует начинать с новой страницы. Страница КП должна быть заполнена текстом не менее чем на 1/3 часть. Содержание включает все структурные элементы КП с указанием номеров страниц, с которых они начинаются.

Для основной части приводятся наименования всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование). Приложения указываются с их наименованием. Иллюстрации (чертежи, графики, диаграммы, схемы, фотоснимки, компьютерные распечатки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице.

РПЗ содержит титульный лист, задание на курсовой проект, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы и чертежи, оформленные в виде приложений.

Основная часть работы содержит электромагнитный, тепловой и вентиляционный расчеты.

Графическая часть проекта состоит из сборочного чертежа спроектированного электродвигателя и спецификации к нему. Вся графическая документация должна быть выполнена в соответствии с требованиями ЕСКД.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1 – Определение суточной инсоляции для рассматриваемой местности

На современном этапе развития солнечной электроэнергетики в основном выделяются два направления: солнечные электростанции с гелиотермодинамическим циклом и солнечные электростанции на базе полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Последние получили значительно более широкое распространение, поэтому в данном пособии рассмотрены вопросы расчёта именно таких систем.

Исходными данными для энергетического расчёта автономной системы электроснабжения на базе энергии солнечного излучения являются информация о значении минимальной суточной инсоляции  $W_{\text{сут}}$  для местности, в которой расположен объект и величина его полного суточного потребления электроэнергии  $W_{\Sigma}$ .

В России регистрация прихода солнечного излучения осуществляется государственной метеорологической службой с использованием сети актинометрических станций. Измерения проводятся стандартными термоэлектрическими приборами: интенсивность прямого солнечного излучения – актинометром АТ-50; интенсивность суммарного излучения (прямого плюс рассеянного) — пиранометром баллометрического типа М-80. Измерения осуществляются для горизонтальной плоскости. Данные регулярно публикуются с 1961 г. в ежемесячниках и справочниках.

Как известно поток лучистой энергии Солнца, падающий на поверхность земли состоит из следующих компонент:

- прямое солнечное излучение;
- диффузное (рассеянное) солнечное излучение,
- отражённое от окружающего ландшафта излучение.

Таким образом, интенсивность суммарного солнечного излучения

$$I_{\Sigma} = I_{\text{п}} + I_{\text{д}} + I_{\text{от}}, \quad (1.1)$$

где  $I_{\text{п}}$ ,  $I_{\text{д}}$ ,  $I_{\text{от}}$  интенсивности прямого, рассеянного и отражённого солнечного излучения в Вт/м<sup>2</sup> соответственно.

Пиранометр позволяет отдельно измерить интенсивность суммарного солнечного излучения или сумму отражённого и рассеянного солнечного излучения. Прямая составляющая излучения может быть определена либо как разница указанных выше показаний пиранометра, либо прямым измерением при помощи актинометра.

Значения интенсивности прямого солнечного излучения в отсутствие облачности на пути прохождения зависят от широты места, времени суток, порядкового номера дня в году, определяющих сечение потока солнечной

энергии, падающего на рассматриваемую единичную площадку, и дистанцию, проходящую им в атмосфере Земли.

Рассеянное излучение поступает на площадку со всего небосвода и зависит от наличия и распределения облачности.

Отражённая составляющая определяется отражающими свойствами объектов, которые «видит» тестируемая площадка, то есть объектов, находящихся выше её плоскости. Отражающая способность этих объектов определяется коэффициентом отражения  $\rho$ , называемым альбедо:

$$I_{\text{от}} = \rho(I_{\text{п}} + I_{\text{д}}). \quad (1.2)$$

На рис. 1 приведены основные угловые характеристики, определяющие инсоляцию горизонтальной площадки, расположенной в точке А.

На рисунке:

$\phi$  – широта места;

$\delta$  – солнечное склонение (угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора);

$\omega$  – часовой угол движения Солнца, равный  $0^\circ$  в полдень (каждый час времени  $i$  от восхода до заката соответствует  $15^\circ$  долготы);

$\theta$  – угол между направлением на солнце и зенит (угол падения прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность).

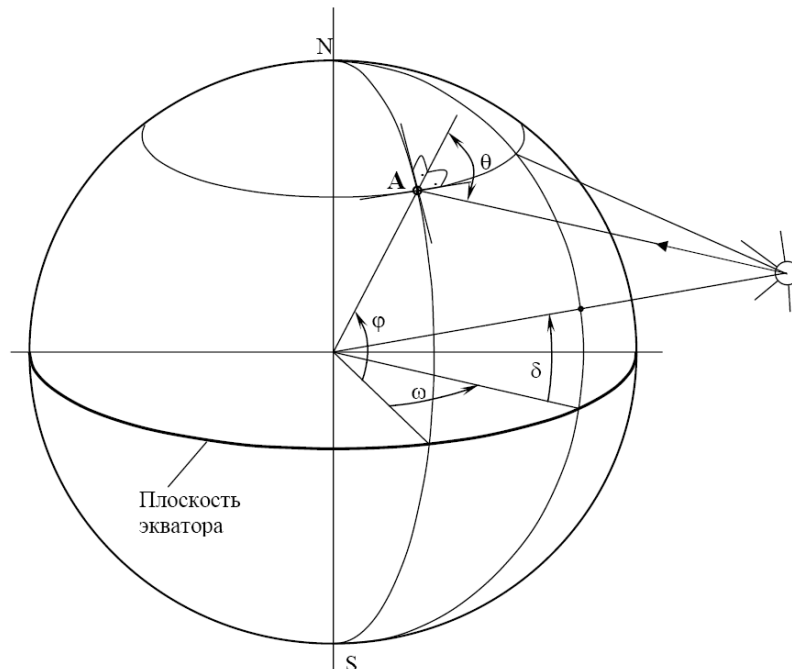


Рис. 1. Угловые величины, характеризующие положение Солнца относительно тестируемой горизонтальной площадки



Значение угла солнечного склонения для любого дня года определяется по формуле Купера

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (1.3)$$

где  $n$  – порядковый номер дня в году, отсчитываемый с 1 января.

Связь между углом падения прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность и другими угловыми характеристиками (рисунок 1.1) определяется выражением

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega. \quad (1.4)$$

Максимальное количество лучистой энергии Солнца можно уловить, если  $\theta = 0^\circ$ , то есть, используя солнечные батареи, установленные на гелиостате, обеспечивающем непрерывную ориентацию плоскости приёмника перпендикулярно прямому солнечному излучению. Однако наличие гелиостатов значительно увеличивает стоимость системы, в связи с чем, в современной мировой практике в основном применяется установка солнечных батарей под углом к горизонту  $\beta$ , равном широте места с ориентацией активной поверхности на юг (для северного полушария).

Тогда угол падения излучения на наклонную поверхность  $\xi$  (угол между направлением на Солнце и нормалью к наклонной поверхности, ориентированной на юг) связан с прочими угловыми характеристиками следующим образом:

$$\cos\xi = \sin\delta \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos\delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos\omega, \quad (1.5)$$

а соотношение между прямыми составляющими солнечного излучения, падающими на горизонтальную и наклонную поверхности:

$$I_{H1} = I_{H2} \frac{\cos\xi}{\cos\theta}. \quad (1.6)$$

При равномерном распределении рассеянного излучения по небосводу (либо нет облаков, либо сплошные облака или дымка) интенсивность рассеянного излучения, падающего на наклонную поверхность

$$I_{H2} = I_D \frac{1 + \cos\beta}{2}. \quad (1.7)$$

то есть определяется тем, какую часть небосвода «видит» площадка.

Для отражённого излучения выражение аналогично, а в целом

$$I_H = I_{H1} + I_{H2} + I_{H3} = I_H \frac{\cos \xi}{\cos \theta} + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho (I_H + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (1.8)$$

На практике с учётом того, что отражённая составляющая при отдельных измерениях составляет не более 6%, а при измерениях прямой и рассеянной составляющих в значительной степени учитывается в рассеянной составляющей, третьим слагаемым можно пренебречь без ощутимой потери точности и использовать для расчётов выражение

$$I_H = I_{H1} + I_{H2} = I_H \frac{\cos \xi}{\cos \theta} + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2}. \quad (1.9)$$

Если  $\beta = \phi$ , то (1.5) принимает вид:

$$\cos \xi = \sin \delta \cdot \sin(0^\circ) + \cos \delta \cdot \cos(0^\circ) \cdot \cos \omega = \cos \delta \cdot \cos \omega. \quad (1.10)$$

Таким образом, если известно почасовое распределение интенсивностей прямой и дисперсной составляющих солнечного излучения для конкретного дня года, можно рассчитать почасовое распределение суммарной интенсивности солнечного излучения, падающего на наклонную площадку, и суточную инсоляцию.

В качестве примера используем данные по инсоляции поверхности, наклонённой под углом, равным широте места по месяцам и за год для Воронежской области. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные по месячным и годовой инсоляции поверхности, наклоненной под углом, равным широте места, кВт·ч/м<sup>2</sup> (потенциальные ресурсы, принципиально доступные для практического использования)

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
дней	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Средняя продолжит. светового дня, час	8 ч 17'	9 ч 57'	11 ч 51'	13 ч 53'	15 ч 39'	16 ч 39'	16 ч 11'	14 ч 37'	12 ч 39'	10 ч 41'	8 ч 50'	7 ч 49'	-
<b>М-станция</b>													
<b>Воронеж</b>	49	76	117	118	152	147	146	137	122	83	38	29	1214
<b>Нижнедевицк</b>	49	74	116	119	148	143	147	138	122	85	38	29	1208
<b>Анна</b>	49	77	121	126	154	148	147	139	123	82	38	29	1233

Борисоглебск	52	82	126	134	156	150	151	145	122	82	40	29	1269
Новохоперск	52	81	124	133	157	150	148	145	122	84	39	31	1266
Каменная степь	54	81	124	131	158	150	149	145	122	84	39	32	1269
Лиски	54	80	120	124	154	150	147	141	122	87	41	31	1251
Острогожск	54	78	120	124	154	151	148	139	122	86	41	31	1248
Бутурли- новка	53	81	122	128	157	151	148	141	122	86	41	32	1262
Павловск	53	81	121	130	156	152	148	142	122	88	41	32	1266
Калач	53	80	124	131	159	154	149	143	123	88	42	32	1278
Россошь	55	79	120	131	155	154	149	143	125	88	42	32	1273
Митрофа- новка	54	80	121	132	155	154	151	144	127	90	42	32	1282
Богучар	56	81	122	132	158	154	151	145	127	90	42	32	1290

Таблица 2

Время су- ток	$I_{\Sigma}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$I_{п.}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$I_{д.}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Высота Солн- ца, °
7.00	50	5,0	45,0	15
7.30	80	16,0	64,0	
8.00	177	70,8	106,2	30
8.30	310	158,4	151,6	
9.00	420	261,2	158,8	45
9.30	505	351,5	153,5	
10.00	610	469,7	140,3	60
10.30	630	510,0	120,0	
11.00	635	539,1	95,9	75
11.30	650	555,4	94,6	
<b>12.00</b>	<b>680</b>	<b>584,8</b>	<b>95,2</b>	<b>90</b>
12.30	681	581,9	99,1	
13.00	640	543,4	96,6	75
13.30	631	510,8	120,2	
14.00	606	466,6	139,4	60
14.30	581	404,4	176,6	
15.00	530	329,7	200,3	45
15.30	455	232,5	222,5	
16.00	227	90,8	136,2	30
16.30	114	22,8	91,2	
17.00	57	5,7	51,3	15

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 – Анализ и расчёт нагрузок

Все электротехнические устройства, поступающие на рынок, обычно характеризуются следующими параметрами:

- род тока (постоянный или переменный);
- номинальное напряжение питания  $U_{ном}$ , В;
- необходимость стабилизации напряжения;

- номинальная потребляемая мощность  $P_{\text{НОМ}}$ , Вт;
- режим работы (продолжительный, повторно-кратковременный и т.д.);
- степень защиты и т.д.

Анализ электрических нагрузок включает в себя определение количества электроприёмников каждого типа и их времени работы в течение суток для расчёта суммарной потребляемой мощности в любой момент времени (определение графика нагрузок) и общего количества электроэнергии потребляемой в течение суток.

В процессе анализа необходимо разработать максимально точный реальный график нагрузок, поскольку стоимость основных генерирующих, преобразующих и аккумулирующих элементов достаточно высока и необоснованные запасы значительно увеличивают себестоимость электроэнергии. В процессе анализа удобно воспользоваться таблицей 3.

Таблица 3

№	Название электроприёмника	Род тока	U <sub>ном</sub> , В	Потребл. мощность, Вт	Время работы, час			Количество, шт	Потребление энергии группой, Вт·ч	Тёмное/светлое	КПД дополнительных устройств, включённых последовательно				Потребление энергии группой с учётом потерь, Вт·ч		Суточное потребление энергии группой, Вт·ч
					t <sub>вкл</sub>	t <sub>выкл</sub>	T				η <sub>1</sub>	η <sub>2</sub>	η <sub>3</sub>	η <sub>4</sub>	Светлое время	Тёмное время	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Лампа накаливания	=	12	40	18.00	22.00	04.00	4									
2	Лампа накаливания	=	12	20	18.00	23.00	05.00	6									
3	Музыкальный центр	~	220	60	16.00	22.00	06.00	1									
4	Телевизор	=	12	60	17.00	23.00	05.00	1									
5	Насос водяной	=	40	100	07.00	19.00	12.00	1									
6	Холодильник	~	220	300	**	**	06.00	1									
7	Кондиционер	~	220	600	11.00	17.00	06.00	1									
9																	
Всего для поля солнечных батарей с напряжением 12 В:																	

В первую колонку таблицы заносится номер электроприёмника (i).

Во вторую – его название и назначение (если из названия оно не вытекает).

Третья колонка предназначена для указания рода потребляемого тока (постоянный, переменный).

В колонке 4 указывается номинальное напряжение электроприёмника в вольтах ( $U_{\text{НОМ}}$ ), а в пятой указывается номинальная потребляемая мощность в ваттах ( $P_i$ ).

В колонках 6 и 7 необходимо указать время включения  $t_{\text{вкл}}$  и время выключения  $t_{\text{вык}}$  каждого электроприёмника (или группы электроприёмников).  
Время работы рассчитывается по формуле:

$$T_p = t_{\text{вык}} - t_{\text{вкл}}. \quad (1.1)$$

Полученный результат заносится в колонку 8.

В колонку 9 записывается количество электроприёмников данного типа N.

Количество электроэнергии энергии, потребляемое данной группой рассчитывается по формуле:

$$W_{i\Sigma} = P_i \cdot N_i \cdot T_{pi}, \quad (1.2)$$

а результат заносится в колонку 10. При этом следует отличать электроэнергию, потребляемую в светлое время суток, и электроэнергию, потребляемую в тёмное время суток. Например, для тёмного времени суток можно использовать надстрочный индекс «\*». Данная информация необходима позже для расчёта необходимого количества аккумуляторов электрической энергии.

В колонку 11 следует внести пометку о необходимости стабилизации постоянного напряжения питания, поскольку напряжение на выходных клеммах солнечных батарей постоянно изменяется и может значительно отличаться от напряжения питания потребителей.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3 – Разработка структурной схемы системы электроснабжения**

По результатам анализа электрических нагрузок объекта является разработка структурной схемы системы электроснабжения. В общем случае автономная система может иметь конфигурацию, приведённую на рис. 2. Конкретная схема может выглядеть несколько проще, например, при отсутствии нагрузки со стабилизированным напряжением 12 В постоянного тока или нагрузки, требующей нестабилизированного напряжения 12 В. В ходе расчётов следует учитывать, что все устройства (регуляторы, инверторы, аккумуляторы) обладают собственными к.п.д.

С учётом особенностей работы (наличие или отсутствие последовательно включённых в энергетические цепочки разработанной структурной схемы таких дополнительных устройств как: регуляторы напряжения, инверторы, аккумуляторы электроэнергии) следует заполнить колонки 12 -15 таблицы 3. При полном отсутствии дополнительных устройств в каждую колонку записывается 1, а при наличии – в соответствующие колонки заносятся

коэффициенты полезного действия соответствующего устройства.

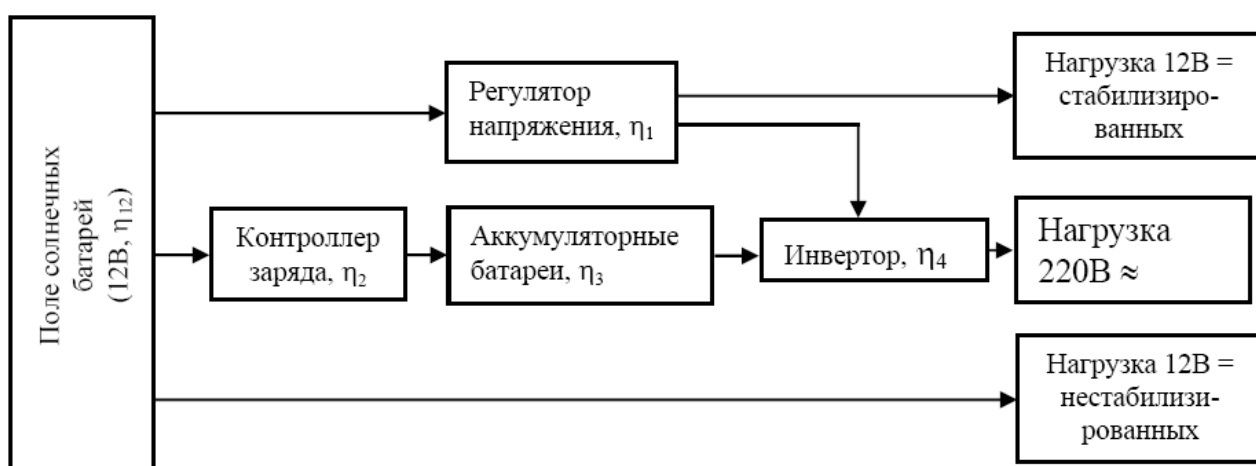


Рис.2. Вариант структурной схемы автономной системы электроснабжения на базе полупроводниковых фотопреобразователей

Полное суточное количество электроэнергии, потребляемое данной группой электроприёмников, определяется с учётом потерь в дополнительных устройствах:

$$\hat{W}_{i\Sigma} = \hat{W}_{i\Sigma} / (\eta_{R1} \cdot \eta_{R2} \cdot \eta_3 \cdot \eta_4). \quad (1.3)$$

Полученный результат записывается в колонку 18 таблицы 3.

В колонку 16 следует занести ту часть электроэнергии, которая необходима в светлое время суток  $\hat{W}_{i\Sigma d}$ , а в колонку 17 – часть, которая будет использоваться в тёмное время  $\hat{W}_{i\Sigma n}^*$ .

Общее количество электроэнергии, необходимое для обеспечения работы всех электроприёмников в течение суток определяется суммированием результатов в колонках дневного и ночного потребления и нахождением общей суммы:

$$\hat{W}_{\Sigma} = \Sigma \hat{W}_{i\Sigma} + \Sigma \hat{W}_{i\Sigma}^*. \quad (1.4)$$

С учётом потерь в проводах, предварительно принимаемых в размере 10% от  $\hat{W}_{\Sigma}$ , и коэффициента полезного действия солнечной батареи  $\eta_e$  суточное количество электроэнергии в кВт·ч, которое должно выработать поле солнечных батарей

$$\hat{W}_{\Sigma ПСБ} = 1,1 \hat{W}_{\Sigma} / \eta_e. \quad (1.5)$$

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4 – Расчёт необходимого количества солнечных батарей

Расчёт необходимого количества солнечных батарей автономной системы электроснабжения на базе полупроводниковых ФЭП производится на основе информации о полном суточном потреблении электроэнергии объектом  $\hat{W}_{\Sigma\text{ПСБ}}$  и данных о суточной инсоляции (суточном приходе солнечной радиации)  $W_{\text{сут}}$  для рассматриваемой местности. Она определяется при наиболее неблагоприятных условиях (минимальная продолжительность светлого времени суток при максимальной облачности – день зимнего солнцестояния).

Необходимая электрическая мощность поля солнечных батарей определяется по формуле

$$P_{\text{ПСБ}} = \hat{W}_{\Sigma\text{ПСБ}} / t, \quad (1.6)$$

где  $t$  – продолжительность светлого времени суток.

Пусть суточное количество электроэнергии, которое должно выработать поле солнечных батарей  $\hat{W}_{\Sigma\text{ПСБ}} = 5,5$  кВт·ч. Выразим продолжительность светлого времени суток  $t$ , найденную в предыдущей задаче (7 ч 49 мин) в часах:

$$t = 7 + 49/60 = 7,82 \text{ ч.}$$

Тогда необходимая средняя мощность поля солнечных батарей

$$P_{\text{ПСБ}} = 5,5/7,82 = 0,703 \text{ кВт.}$$

В условиях конкретной местности (например, при инсоляции  $W_{\text{сут}} = 0,935$  кВт·ч/м<sup>2</sup>, рассчитанной в предыдущей задаче) определяется средняя интенсивность солнечного излучения:

$$I_s = W_{\text{сут}} / t. \quad (1.7)$$
$$I_s = 0,935/7,82 = 0,12 \text{ кВт/м}^2.$$

Предположим, что мы проектируем систему напряжением 24 В в наличии имеются солнечные батареи типа TGM 600-24 ( $P_{\text{ном}} = 60$  Вт,  $U_{\text{xx}} = 30$  В,  $I_{\text{ном}} = 0,6$  А,  $U_{\text{ном}} = 24,8$  В,  $\eta = 12\%$ ). Каждая батарея содержит 60 фотоэлементов размерами 20×102 мм, которые соединены последовательно - параллельно. Учитывая то, что мощность, развиваемая солнечной батареей изменяется пропорционально интенсивности солнечного излучения ( $P_{\text{ном}} = 60$  Вт при

$I_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$ ), а номинальное напряжение изменяется мало, при меньшей интенсивности её мощность приближённо можно определить из пропорции:

$$P_{\text{шом}} = (I/I_0) \cdot P_{\text{ном}}. \quad (1.8)$$

Подставив в формулу численные значения, получим:

$$P_{\text{шом}} = (0,12/1) \cdot 60 = 7,2 \text{ Вт.}$$

Необходимое количество солнечных батарей определим в соответствии с выражением

$$N_{\text{сб}} = P_{\text{ПСБ}} / P_{\text{шом}}. \quad (1.9)$$

Подставив численные значения, получим

$$N_{\text{сб}} = 703/7,2 = 97,6 \text{ шт.}$$

Принимаем ближайшее большее целое число 98 солнечных батарей.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5 – Расчёт необходимого количества аккумуляторных батарей**

Суммарная ёмкость аккумуляторов при известном номинальном напряжении ( $U_{\text{АБ}}$ ) и к.п.д. аккумулятора ( $\eta_{\text{АБ}}$ ) рассчитывается по формуле

$$C_{\Sigma\text{АБ}} = \Sigma \hat{W}_{i\Sigma}^* / (U_{\text{АБ}} \cdot \eta_{\text{АБ}}), \quad (1.11)$$

где  $\Sigma \hat{W}_{i\Sigma}^*$  – количество электроэнергии, необходимое для питания потребителей в тёмное время суток.

Пусть  $\Sigma \hat{W}_{i\Sigma}^* = 10,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ;  $U_{\text{АБ}} = 12 \text{ В}$  и  $\eta_{\text{АБ}} = 85\%$ , тогда суммарная ёмкость аккумуляторных батарей

$$C_{\Sigma\text{АБ}} = 10,5 / (12 \cdot 0,85) = 1,03 \text{ кА}\cdot\text{ч.}$$

Учитывая приемлемую степень разряда 60% ( $\tau_{\text{АБ}} = 0,6$ ), необходимая суммарная ёмкость аккумуляторов равна

$$C'_{\Sigma\text{АБ}} = C_{\Sigma\text{АБ}} / \tau_{\text{АБ}}. \quad (1.12)$$



$$C'_{\Sigma AB} = 1,03/0,6 = 1,72 \text{ кА} \cdot \text{ч} = 1720 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

откуда необходимое количество аккумуляторов с номинальной ёмкостью САБ равно

$$N_{AB} = C'_{AB} / C_{AB}. \quad (1.13)$$

Например, при ёмкости аккумуляторной батареи равной 100 А·ч

$$N_{AB} = 1720/100 = 17,2 \Rightarrow 18 \text{ шт.}$$

Число аккумуляторных батарей, рассчитанное по формуле (1.13), округляется в ближайшего большего целого.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6 – Выбор дополнительных устройств**

Выбор дополнительных устройств определяется мощностью электроприёмников. Возможны два варианта:

- а) каждый электроприёмник имеет собственные устройства;
- б) электроприёмники используют одни и те же устройства.

С технической точки зрения более мощные устройства имеют и более высокий к.п.д., более того надёжность системы возрастает с уменьшением количества элементов.

На этом энергетический расчёт системы заканчивается, но ещё необходимо решить ряд электротехнических проблем:

- а) выбор сечений проводов и проектирование проводки;
- б) выбор защитной аппаратуры;
- в) выбор контрольного оборудования;
- г) выбор коммутационной аппаратуры;
- д) организация обслуживания.

Окончательные решения принимаются после анализа возможностей рынка и экономических расчётов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты расчетов, полученные в ходе выполнения практических работ необходимо оформить в виде расчетно-пояснительной записки, согласно требованиям СТП ВГТУ. В курсовом проекте обязательно должны быть представлены все рисунки и схемы, использованные для проведения расчетов.

По окончании расчетного проектирования необходимо провести конструкторскую проработку проекта с целью разработки графической документации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляков П. Ю. Производство электроэнергии на базе энергии солнечного излучения : учеб. пособие / П. Ю. Беляков. – Воронеж : Междунар. ин-т компьют. технологий, 2008. – 159 с.

2. Методическое пособие для дипломного проектирования «Расчет системы автономного энергоснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей» для студентов специальностей 6.090504 «Нетрадиционные источники энергии», 6.050701 «Электротехника и электротехнологии», составители: Бекиров Э. А., Воскресенская С. Н., Химич А. П. – Симферополь: НАПКС, 2010 г.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения

Составители:

Тикунов Алексей Владимирович  
Черных Татьяна Евгеньевна

Компьютерный набор Т. Е. Черных

Подписано к изданию \_\_\_\_\_.

Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14