

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ ВНЗ “НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”



ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра відновлюваних джерел енергії



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для курсового проектування
з дисципліни "Сонячна енергетика"
на тему: "Розрахунок системи автономного енергопостачання з
використанням фотоелектричних перетворювачів"

для студентів напрямів підготовки
6.050701 – Електротехніка та електротехнології,

Дніпро
ДВНЗ "НГУ"
2016

Методичні вказівки для курсового проектування з дисципліни "Сонячна енергетика" на тему: "Розрахунок системи автономного енергопостачання з використанням фотоелектричних перетворювачів" / Упорядн.: А.М. Гребенюк, О.О. Суворкін– Дніпропетровськ: Державний ВНЗ "Національний гірничий університет", 2016.- 16 с.

Затверджено на засіданні кафедри відновлюваних джерел енергії
(протокол № від 2014 р.)

Матеріали написані на основі багаторічного досвіду, накопиченого на кафедрі відновлюваних джерел енергії при викладанні дисциплін "Сонячна енергетика" та суміжних з ними дисциплін.

Друкується в редакційній обробці упорядника.

Відповідальний за випуск Д.В. Ципленков, заст. завідувача кафедри відновлюваних джерел енергії, канд. техн. наук, доцент.

Содержание

1. Цель и задание для расчёта.....	4
2. Основные требования к проекту.....	4
3. Рекомендации для выполнения курсового проекта.....	4
ГЛАВА 1. Расчёт освещения.....	5
ГЛАВА 2. Расчет фотоэлектрической системы.....	9
2.1 Определение нагрузки потребляемой энергии и необходимой мощности инвертора.....	9
2.2 Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества.....	13
ГЛАВА 3. Определение необходимого количества солнечных батарей.....	16
3.1 Перерасчёт солнечной энергии падающей на объект.....	16
3.2 Выбор типа солнечной батареи, которые планируется использовать.....	18
3.2.1 Выбор панелей из моно- или поликристаллического кремния.....	18
3.2.2. Выбор панелей из аморфного или микроаморфного кремния.....	19
3.3. Выбор защитного электрооборудования для ФЭС.....	20
ГЛАВА 4. Расчет капитальных вложений.....	23
ГЛАВА 5. Расчет заземляющего устройства.....	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	29

1. Цель и задание для расчёта

Курсовой проект имеет цель закрепить и расширить знания студентов полученные по дисциплине: «Солнечная энергетика». Ознакомить и дать возможность использования реальных инженерных решений проблем при проектировании фотоэлектрических станций.

Проект фотоэлектрической станции разрабатывается самостоятельно студентами на основе материалов, полученных при изучении соответствующей дисциплине.

При выполнении курсового проекта, студент должен проявить самостоятельность при выборе решения на возникающие вопросы, а также находить ответы в соответствующей литературе, возможность использования современных методов решений проблем.

Разработку проекта необходимо выполнять на базе современных достижений в данной отрасли. Необходимо при выполнении проявить инициативу путем использования новых материалов.

2. Основные требования к проекту

Курсовой проект состоит из расчётно-пояснительной записки и графических материалов.

Расчётно-пояснительная записка должна вмещать :

1. Исходные данные.

Для этого необходимо использовать лист с выходными данными, утвержденный преподавателем выдавшим проект.

2. Вступление.

3. Расчётную часть (в которой присутствуют часть графичной – эскизы, общий вид оборудования).

Графическая часть должна вмещать :

1. Чертежи, выполненные согласно ГОСТУ и ЭСКД (Каждый элемент должен быть указан и оформлено согласно стандартам).

3. Рекомендации для выполнения курсового проекта

Расчёт фотоэлектрической станции выполняется согласно с заданием. Ниже представлено последовательность выполнения курсового проекта.

ГЛАВА 1. Расчёт освещения

Расчёт методом удельной мощности

Выполнение светотехнических расчетов возможно методами:

- 1) методом коэффициента использования светового потока,
- 2) методом удельной мощности,
- 3) точечным методом.

Ниже представлен метод удельной мощности.

1. Согласно Государственным строительным нормам Украины ДБН В.2.5-28-2006 «Естественное и искусственное освещение» определяется требуемая освещенность E (лк) для заданного помещения (таблица 1.1).

Удельная мощность освещения определяется отношением суммарной мощности ламп к освещаемой площади и является одним из важнейших энергетических показателей осветительной установки. Этот способ основан на методе коэффициента использования и дает несколько приближенное, но очень простое решение задачи.

Освещенность рассчитывают по удельной мощности освещения. Для данного помещения по таблицам выбирают *удельную мощность освещения* в ваттах на квадратный метр площади объекта. Затем определяют общую мощность ламп, необходимую для освещения, путем умножения удельной мощности на площадь данного помещения.

Сущность этого метода заключается в том, что для данного помещения выбирают *удельную мощность освещения* в Вт / м², а затем определяют общую мощность ламп, необходимую для освещения, путем умножения удельной мощности на площадь помещения. Полученную общую мощность ламп делят на их число, находя тем самым мощность одной лампы, и затем подбирают ближайшую по мощности лампу. Число ламп определяют размерами помещения, их расположением и мощностью стандартных ламп.

2. Принимается, что для создания средней освещенности 100 лк на каждый квадратный метр площади освещаемого помещения требуется удельная мощность $P_{уд}$ 16 – 20 Вт/м² при прямом освещении лампами накаливания и 6 – 10 Вт/м² при прямом освещении люминесцентными лампами. При освещении светодиодными лампами удельная мощность (Вт/кв.м) может быть уменьшена и составляет 2.5 Вт/м², что значительно меньше по сравнению с мощностью для люминесцентных ламп. Эти расчеты верны при светлых потолках и стенах. Большие значения удельной мощности принимаются для помещений с меньшей площадью.

3. Находится удельная мощность для требуемого уровня освещенности:

$$P_{уд}^{тр} = P_{уд} \cdot \frac{E}{100},$$

где E – требуемая освещенность, в лк.

4. Определяется общая требуемая мощность ламп $P_{тр}$:

$$P_{mp} = P_{уд}^{mp} \cdot F ,$$

где F - площадь помещения.

5. Задается мощность используемой лампы $P_{\text{лампы}}$.

6. Определяется количество ламп, требуемое для освещения помещения (результат округляется до большего целого):

$$N = \frac{P_{mp}}{P_{\text{лампы}}} .$$

7. При замене люминесцентной лампы светодиодной важно учесть различия этих видов осветительных приборов, которые заключаются в следующих особенностях:

- мощности;
- силе светового потока.

Именно поэтому к подбору светодиодного аналога необходимо отнестись со всей ответственностью – важно произвести светотехнический расчет, обратив внимание на разницу между используемыми сейчас люминесцентными лампами и их потенциальной светодиодной заменой. Так, важно понимать, что вычислить правильный показатель эффективного светового потока простым умножением количества ламп на их световой поток нельзя. Ведь при этом важна разница в особенностях работы обоих видов ламп. Так, люминесцентная лампа освещает 360° вокруг своей оси, а светодиод - 120° . Именно поэтому для качественной замены рекомендуется ориентироваться не на заменяемую люминесцентную лампу, а на государственные нормативные акты, регулирующие качество освещения.

Таким образом, главная задача при замене устаревшей энергосберегающей лампы на светодиодную, найти ей правильную альтернативу, отвечающую стандартам качества и способную обеспечить комфортность человека, который находится в освещаемом помещении. Сам процесс замены может происходить по-разному в зависимости от того, подходит ли новая светодиодная лампа к используемому светильнику или требуется полная замена осветительного прибора. В первом случае растраты будут минимальными, во втором нужно будет позаботиться о создании индивидуального проекта осветительных приборов и дождаться изготовления уникальных изделий под заказ. Однако, как показывает практика, они будут более экономичными в употреблении.

Порядок расчета освещения по способу коэффициента использования светового потока:

а) определяется расчетная высота H_p , тип и количество осветительных приборов в помещении.

Расчетная высота подвеса осветительного прибора определяется исходя из геометрических размеров помещения

$$H_p = H - h_c - h_p, \text{ м,}$$

где H – высота помещения, м,

h_c – расстояние осветительного прибора от перекрытия («свес» осветительного прибора, принимается в границах от 0, при установке осветительных приборов на потолке, до 1,5 м), м,
 h_p – высота рабочей поверхности над полом (обычно $h_p = 0,8$ м).

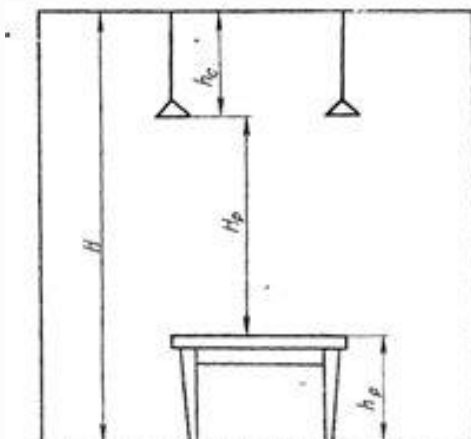


Рис. 1. Определение расчетной высоты при расчетах электронного освещения

б) по таблицам находят: коэффициент запаса k_z поправочный коэффициент z , нормированная освещенность $E_{\text{мин}}$,

в) определяется индекс помещения i (он учитывает зависимость коэффициента использования светового потока от характеристик помещения):

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B)),$$

где $A \cdot B$ – ширина и длина помещения, м,

г) коэффициент использования светового потока ламп η зависимо от типа осветительного прибора, коэффициентов отражения стенок, потолка и рабочей поверхности $\rho_c, \rho_{\text{п}}, \rho_p$;

д) находится по формуле нужный поток одной лампы F ;

е) выбирается стандартная лампа с близким по величине световым потоком.

Если в итоге расчета окажется, что лампа больше по мощности, чем используемые в избранном осветительном приборе, либо если требуемый поток больше, чем могут дать стандартные лампы, следует прирастить количество осветительных приборов и повторить расчет либо найти нужное количество ламп, задавшись их мощностью (а как следует и световым потоком лампы F):

$$n = (E_{\text{мин}} \cdot S \cdot k_z \cdot z) / (F \cdot \eta).$$

Порядок расчета для точечных источников света:

а) Определяется расчетная высота H_p , тип и размещение в осветительных приборах в помещении и чертится в масштабе план помещения со светильниками,

б) на план наносится контрольная точка А и находятся расстояния от проекций осветительных приборов до контрольной точки – d ;

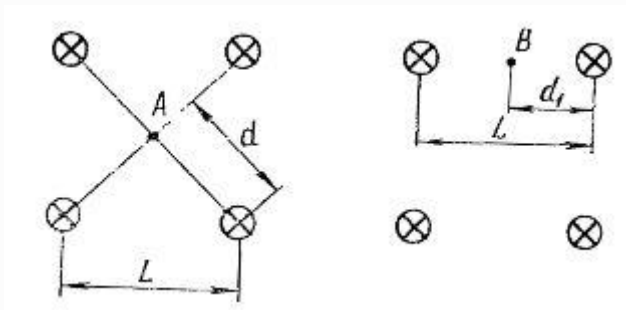


Рис. 2. Размещение контрольной точки А при размещении осветительных приборов по углам квадрата и В по сторонам прямоугольника

в) по пространственным изолюксам горизонтальной освещенности находится освещенность E_e от каждого осветительного прибора;

г) находится общая условная освещенность от всех осветительных приборов $\sum e$;

д) рассчитывается горизонтальная освещенность от всех осветительных приборов в точке А:

$$E_a = (F \cdot \mu / 1000 \cdot k_3) \cdot \sum e,$$

где μ – коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность от удаленных осветительных приборов и отраженного светового потока,

k_3 – коэффициент припаса.

Вместо пространственных изолюксов условной горизонтальной освещенности может быть внедрение таблиц значений горизонтальной освещенности при условной лампе 1000 лм.

ГЛАВА 2. Расчет фотоэлектрической системы

2.1 Определение нагрузки потребляемой энергии и необходимой мощности инвертора

Перечислить всю нагрузку переменного тока с указанием ее номинальной мощности и числа часов работы в неделю (параметры взять из листа с исходными данными), а также включить нагрузку светильников для освещения (см. ГЛАВА 1). Занести данные в таблицу 2.1.

ПРИМЕЧАНИЕ: для оформления таблицы необходимо умножить мощность потребителя на число часов работы для каждого прибора и сложить получившиеся значения для определения суммарной потребляемой энергии переменного тока в неделю $W_{пер}$.

Таблица 2.1

Нагрузка переменного тока.

	Нагрузка переменного тока	Мощность в Вт	x	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1						
2						
n						
Всего						

2.1 Далее нужно посчитать, сколько энергии постоянного тока потребуется. Для этого необходимо умножить получившееся значение на коэффициент $k=1,2$, учитывающий потери в инверторе:

$$W_{mp} = W_{пер} \cdot k.$$

2.2 Определить значение входного напряжения инвертора $U_{инв}$ по характеристикам выбранного инвертора. Обычно это 12 или 24 В, для мощных систем 48 В и более.

Инвертор выбирается таким образом, чтобы его мощность была выше мощности переменного тока умноженной на k . Где $k=1,2$.

$$W_{инв} = W_{пер.сут.} \cdot k$$

2.3 Выбор инвертора для солнечной электростанции

Рассмотрим основные параметры инверторов, на которые стоит обратить внимание при выборе:

1. Входное напряжение.

Выбор входного напряжения необходимо согласовывать с мощностью инвертора, поскольку с увеличением выходной мощности растут входные токи, что приводит к более

тяжелым условиям работы транзисторов выходного каскада и к большим потерям на соединительных проводах. Снизить входные токи и соответственно уменьшить потери позволяет выбор более высокого входного напряжения, которое бывает одним из следующих: 12, 24, 48 В.

Рекомендуется выбирать напряжение:

- 12 В при мощности до 600 Вт,
- 24 В при мощности от 600 до 1500 Вт,
- 48 В при мощности более 1500 Вт.

2. Номинальная и пиковая выходная мощность.

В идеале, номинальная выходная мощность инвертора должна быть равна сумме мощностей всех нагрузок. Однако, в реальности чаще делают выбор по нагрузке с максимальной мощностью. При этом необходимо учитывать и пусковые токи всех нагрузок, которые могут быть в 10 раз больше рабочих (например у холодильников или насосов). Умножив пусковой ток на напряжение (220 В) мы получим пусковую мощность, которая должна быть меньше пиковой.

Стоит отметить, что если производитель не указывает отдельно пиковую выходную мощность, то скорее всего указанная в качестве номинальной в действительности является пиковой.

3. Вес.

Одним из косвенных признаков качественных инверторов является их вес. Дело в том, что в дешевых некачественных моделях используют бестрансформаторную схему, которая подвержена выходу из строя в момент включения нагрузки из-за очень больших переходных токов. Соответственно, такие модели очень легкие.

Все, без исключения, качественные инверторы используют выходной трансформатор, который имеет большой вес. Грубо можно оценить вес по простой формуле — 1 килограмм на 100 Ватт выходной номинальной мощности, т.е. например 600 Вт — 6 кг. Если же 600-Ваттная модель имеет вес всего лишь 2-3 кг, то в ней точно нет выходного трансформатора.

4. Вентилятор охлаждения.

Если выбранная модель оснащена вентилятором для принудительного охлаждения, то стоит поинтересоваться, работает ли он всегда или только при перегреве, регулируется ли его скорость? В качественных моделях вентилятор отключается при небольшой нагрузке, делая работу инверторов абсолютно бесшумной, что бывает немаловажным при домашнем использовании.

5. Защиты.

Качественный инвертор должен обладать максимальным количеством защит:

- от высокого и низкого напряжения аккумуляторной батареи,
- от короткого замыкания (КЗ) по выходу,
- от перегрузки по выходу,
- от перегрева.

Наличие защит предотвратит выход из строя в экстренных ситуациях.

6. КПД.

Коэффициент полезного действия солнечного инвертора в конечном счете определяет сколько энергии будет потрачено впустую (просто на то, чтобы он работал). Современные модели имеют КПД 90-95%. При КПД ниже 90% более 10% энергии будет истрачено впустую, что не допустимо для солнечной электростанции, где каждый Ватт на счету.

7. Потребляемая мощность без нагрузки и в режиме ожидания.

Одним из важных параметров также является потребляемая мощность без нагрузки. Этот параметр должен быть в районе 1% от номинальной мощности. То есть, например, если номинальная мощность равна 600 Вт, то потребление без нагрузки должно быть около 6 Вт.

Если Вы не собираетесь каждый раз выключать инвертор для солнечной батареи после использования, то нужно выбирать модель с минимальным потреблением в режиме ожидания, чтобы минимум энергии тратился на поддержание работы системы. Большим плюсом в этом случае является наличие дежурного режима, потребление в котором сокращается еще более значительно.

8. Наличие дежурного режима (режима ожидания).

Наличие дежурного режима позволяет значительно сэкономить энергию, запасенную в аккумуляторах. Однако и здесь есть нюанс. Чтобы не возникло проблем с подключением нагрузок малой мощности, нужно, чтобы дежурный режим можно было отключать вручную. Поскольку, если его нельзя отключить, то может возникнуть ситуация, когда инвертор не выйдет из дежурного режима при подключении нагрузки.

9. Рабочий температурный диапазон.

В случае, если Вы планируете использовать инвертор в неотапливаемом помещении, необходимо обратить внимание на рабочий температурный диапазон выбранной модели. Кроме того, широкий температурный диапазон обычно указывает на то, что подразумевается не только бытовое, но и профессиональное использование устройства, что в свою очередь косвенно говорит о высоком качестве.

Вообщем, идеальной конструкцией солнечной электростанции следует считать ту, где разные группы нагрузок получают питание от разных инверторов, и количество и мощность инверторов соответствует количеству и мощности автоматических выключателей в распределительном щитке. Эти параметры выбираются при конструировании домашней

электросети. Например, в распределительном щитке - 4 автомата на 16 А (максимально допустимая нагрузка на бытовые сети: розетки и освещение) и 2 автомата на 25 А (для питания силовой техники). Идеальным считаем применение 4 инверторов мощностью $16\text{А} \times 220\text{В} = 3520$ Ватт и двух инверторов мощностью $25\text{А} \times 220\text{В} = 5500$ Ватт. Причём питание эти инверторы могут получать от одной группы аккумуляторов, заряжаемых одной группой солнечных батарей.

Обычно изготовители указывают не мощность в Ваттах, а пиковую мощность в вольт-амперах, т.к. этот параметр выше по значению примерно на 20-30%. Многие фирмы выпускают инверторы с самыми различными свойствами. Они могут отличаться формой выходного сигнала (наиболее простые и дешёвые на выходе дают прямоугольный сигнал, так называемый «меандр», изготовители которого, правда, чаще называют его: модифицированной синусоидой, имитированной синусоидой, псевдо синусоидой, квазисинусоидой и т.д.), способом компенсации нагрузок (за счёт сохранения амплитуды напряжения или площади кривой), применяемым схемным решением (одно или два преобразования напряжения, импульсным или аналоговым преобразованием сигнала).

Некоторые инверторы имеют встроенное зарядное устройство от существующей сети, другие могут осуществлять подпитку сети и направлять энергию, полученную от солнца, в сеть. Вообще, конструкция инвертора может быть самой разнообразной.

Но в целом качественный инвертор должен выдавать чистый синусоидальный сигнал с искажениями меньше 3 %, не менять значение амплитуды напряжения при подключении нагрузки более 10 %, осуществлять двойное преобразование (первое - постоянного тока, второе – переменного), иметь аналоговую часть вторичного преобразования с качественным трансформатором, иметь значительный запас по перегрузке и набор защитных функций от короткого замыкания в нагрузке, от неправильного подсоединения к аккумуляторам, от перегрузки, от неисправности аккумуляторов, не допускать глубокого разряда аккумуляторов. Все остальные функции могут быть, а могут и отсутствовать. Иногда лишние сервисные функции затрудняют пользование подобным прибором, пользователь должен в идеале включить прибор и забыть об его существовании.

Ещё один достаточно важный вопрос, на который необходимо обратить внимание при выборе солнечных систем, вопрос запаса параметров. При использовании солнечной энергии мы применяем непредсказуемые природные явления. Поэтому для обеспечения стабильности электроснабжения необходимо иметь запас по источникам энергии (солнечным батареям), по хранилищам энергии (аккумуляторам) и по преобразователям энергии (инверторам). Естественно, подходить к вопросу избыточности надо разумно. Иногда бывает лучше и дешевле применять гибридную схему электроснабжения с применением других источников энергии: разного рода генераторов, существующего подключения к электросети и т.д.

Еще стоит обратить внимание на то, что инвертор должен обладать системой GRID, более полную информацию о инверторах и их конструкции можно взять с сайта ATMOSHERA <http://www.atmosfera.ua/produkcija/inventory-i-bloki-bezperebojnogo-pitaniya/>

2.3 Число ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{mp}}{U_{инв}}$$

2.4 Посчитать нагрузку постоянного тока $W_{пост}$ и занести результат в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Нагрузка постоянного тока.

	Нагрузка постоянно тока	Мощность в Вт	x	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1						
2						
n						
	Всего					

2.5 Определить напряжение в системе постоянного тока $U_{пост}$. Обычно это 12 или 24 В.

2.6 Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки постоянного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пост} = \frac{W_{пост}}{U_{пост}}$$

2.7 Суммарная требуемая емкость аккумуляторной батареи, то есть количество А*ч (Ампер-часов), потребляемых в неделю:

$$q_{нед} = q_{нед}^{пер} + q_{нед}^{пост}$$

2.8 Суточное значение потребляемых А*ч определяется делением $q_{сут}$ на 7 дней:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7}$$

2.2 Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества

2.9 Определить максимальное число последовательных "дней без солнца" $N_{бс}$ (то есть когда солнечной энергии недостаточно для заряда аккумуляторной батареи и соответственно для работы нагрузки из-за непогоды или облачности), пользуясь таблицей 2.3 и ориентируясь

на режим эксплуатации. При круглогодичной эксплуатации фотоэлектрической системы с дублиром, в том числе при работе с общей энергосетью, для уменьшения затрат можно выбрать минимально возможное количество дней без солнца – 1. Это обуславливается подзарядкой от резервного источника в любое время. Также возможно принять за этот параметр выбранное количество дней, в течение которых аккумуляторные батареи будут питать нагрузку самостоятельно без подзарядки.

Если система применяется для загородного дома, посещаемого только по выходным, необходима большая емкость батарей, потому что они могут заряжаться в течение всей недели, а отдавать энергию только в выходные дни.

Таблица 2.3

Количество дней без солнца, обусловленное погодными условиями.

Широта местности	Период		
	Летние месяцы	Осенние и весенние месяцы	Зимние месяцы
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-25

2.10 Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца N_{bc} :

$$q_N = q_{cym} \cdot N_{bc}$$

2.11 Задать величину глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи. При этом необходимо учесть, что чем больше глубина разряда, тем быстрее батареи выйдут из строя. Рекомендуется значение глубины разряда 20% - 50% (используется 20% - 50% от значения номинальной емкости). Соответственно коэффициент использования γ составит от 0,2 до 0,5. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%.

2.12 Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma}$$

2.13 Выбрать коэффициент α из таблицы 2.4, который учитывает температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Обычно это средняя температура в зимнее время. Коэффициент учитывает уменьшение емкости при понижении температуры.

Таблица 2.4

Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи.

Температура в градусах		Коэффициент
Цельсия	Фаренгейта	
26,7С	80F	1,00
21,2С	70F	1,04
15,6С	60F	1,11
10,0С	50F	1,19
4,4С	40F	1,30
-1,1С	30F	1,40
-6,7С	20F	1,59

2.14 Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{общ} = q_{\gamma} \cdot \alpha .$$

2.15 Выбрать тип аккумуляторной батареи, который будет использоваться (лучше свинцово-кислотные аккумуляторы). Привести изображение батареи и его технические параметры.

2.16 Разделить общую требуемую емкость батарей $q_{общ}$ на номинальную емкость выбранной аккумуляторной батареи и округлить полученное значение до ближайшего большего целого. Это будет количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_{пар}^{АКБ} = \frac{q_{общ}}{q_{ном}} .$$

2.17 Разделить номинальное напряжение постоянного тока системы $U_{инв}$ на номинальное напряжение аккумуляторной батареи (чаще 2, 6 или 12 В). Округлить полученное значение до ближайшего большего целого. Результат задаст количество последовательно соединенных батарей:

$$N_{посл}^{АКБ} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}} .$$

2.18 Подсчитать требуемое количество аккумуляторных батарей:

$$N^{АКБ} = N_{пар}^{АКБ} \cdot N_{посл}^{АКБ}$$

Более подробную информацию о аккумуляторах, в частности, гелиевых можно найти на <http://pulsar.kiev.ua/support/wiki/gelevie-accumulatori-gel-vrla>.

ГЛАВА 3. Определение необходимого количества солнечных батарей

3.1 Перерасчёт солнечной энергии падающей на объект

Для определения среднемесячного поступления солнечного излучения в кВт*ч/месяц на площадку, имеющую тот же угол наклона, что и солнечные батареи, необходимо разделить на количество дней месяца.

Под пиковыми часами понимаются часы с интенсивностью 1000 Вт/м². Таким образом, при эксплуатации системы в летний период можно считать по месяцу с наименьшим значением. Если электроснабжение полностью должно обеспечиваться за счет солнечных батарей, то подсчет должен проводиться по наиболее холодному месяцу. Недостатком в этом случае будет большое число требуемых солнечных батарей, а, значит, и несравнимо большие затраты вследствие очень малого значения пиковых солнце-часов. Для мощных систем установка солнечных батарей становится экономически нецелесообразной. Данные о пиковых солнце-часах необходимо взять из официального интернет-источника NASA.

Поэтому при наличии резервного источника питания рекомендуется проводить расчет по среднегодовому значению пиковых солнце-часов. Это позволит сократить затраты на фотоэлектрическую систему.

В теплое время года вырабатываемая энергия может передаваться в общую сеть, а в холодное соответственно забираться из сети или от резервного источника питания.

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом β к горизонту, то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность, может быть найдено по формуле:

$$E_n = R \cdot E,$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность;

R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Коэффициент пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2},$$

где E_p – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность;

$\frac{E_p}{E}$ – среднемесячная дневная доля рассеянного (диффузионного) солнечного излучения;

R_n – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

β – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту;

ρ – коэффициент отражения (альbedo) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{zn} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta},$$

где φ – широта местности, град; β - угол наклона солнечной батареи к горизонту, град; δ - склонение Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора) в средний день месяца, град:

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

n – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января (номер среднего расчетного дня для каждого месяца года).

Значение δ можно взять из таблицы 2.5.

Таблица 2.5

Угол склонения Солнца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ , град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

ω_3 – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности:

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta).$$

ω_{zn} – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией:

$$\omega_{zn} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta].$$

3.2 Выбор типа солнечной батареи, которые планируется использовать

3.2.1 Выбор панелей из моно- или поликристаллического кремния

Для этого выписать номинальную мощность $P_{ном}^{CB}$ и напряжение $U_{ном}^{CB}$, а также ток в точке максимальной мощности I_{mpp} .

Умножить значение $q_{сут}$ на коэффициент $\zeta=1,2$ для учета потерь на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta.$$

Разделить значение $q_{з-р}$ на число пиковых солнце-часов для заданной местности i . В результате будет получено значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i}.$$

3.3 Для определения числа модулей, соединенных параллельно, разделить значение тока, вырабатываемого батареями, на максимальный ток I_{mpp} одного модуля и округлить полученное до ближайшего большего целого

$$N_{пар}^{CB} = \frac{I^{CB}}{I_{mpp}}.$$

3.4 Для определения числа модулей, соединенных последовательно, разделить напряжение постоянного тока системы $U_{инв}$ на номинальное напряжение солнечной батареи (обычно 12 или 24 В):

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}^{CB}}.$$

3.5 Общее количество требуемых фотоэлектрических модулей:

$$N^{CB} = N_{пар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB}.$$

3.6 Площадь солнечных батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB},$$

Где S_1^{CB} - площадь одной солнечной батареи.

Что бы сократить площадь панелей (при ограниченной территории) необходимо брать панели с более высокой мощностью. А так же суммарная мощность панелей которые смогут выработать должна не превышать то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность. В случае превышения – необходимо уменьшить удельную мощность панели.

3.2.2. Выбор панелей из аморфного или микроаморфного кремния

По сравнению с моно- и поликристаллическими модулями, панели из аморфного или микроаморфного кремния не требуют соблюдения определенного угла наклона (30-50 градусов) при монтаже и могут размещаться как в вертикальной так и в горизонтальной плоскости (отсутствует необходимость расчёта п. 3.1).

Таким образом, выработку фотоэлектрической панели будем рассчитывать по следующей формуле:

$$E_{сб} = E_{инс} \cdot P_{сб} \cdot \eta / P_{инс} ,$$

где $E_{сб}$ – выработка энергии солнечной батареей;

$E_{инс}$ – месячная инсоляция квадратного метра (из таблицы инсоляции, в месяцы с низкой прямой инсоляцией, брать полную или при преобладании диффузионной - брать соответствующую, так как панели из аморфного кремния прекрасно вырабатывают энергию и в пасмурную погоду);

$P_{сб}$ – номинальная мощность солнечной батареи;

η – общий КПД передачи электрического тока по проводам, контроллера солнечной батареи и инвертора при преобразовании низковольтного постоянного напряжения в стандартное (если предполагается использовать низковольтное напряжение напрямую, то при достаточно толстых и коротких проводах η можно приравнять к 1, т.е. не учитывать);

$P_{инс}$ – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1000 Вт).

Инсоляция и желаемая выработка должны быть в одних и тех же единицах (либо киловатт-часах, либо джоулях).

Соответственно, зная месячную инсоляцию, можно оценить номинальную мощность солнечной батареи, требуемую для обеспечения необходимой месячной выработки.

$$P_{сб} = P_{инс} \cdot E_{сб} / (E_{инс} \cdot \eta),$$

По полученной мощности выбрать необходимую панель из аморфного кремния или микрокремния.

Однако, стоит отметить что падение мощности панелей из аморфного кремния составляет в зависимости от производителя, но это следует учесть, так как срок службы этих панелей менее продолжителен нежели чем его аналоги.

Далее произвести аналогичный расчёт по пункту 3.2.1.

Необходимо учесть при расчёте площади панелей, не только территорию крыши, а и другие места которые возможно использовать под панели, однако стоит заметить что размеры панелей из аморфного кремния значительно превышают другие аналоги.

3.3. Выбор защитного электрооборудования для ФЭС

Выбор автоматических выключателей защиты

В прошлом, для защиты электропроводки и электрооборудования в быту от таких ненормальных режимов работы как перегрузка или короткое замыкание применялись электрические пробки, как правило, из керамики. Конструкция этих устройств достаточно проста.

Недостатком этих устройств является то, что при перегорании предохранителя, вопросами о выборе плавкой вставки для него никто не занимался. В последствии пробка могла не сработать в нужный момент, что не редко являлось причиной многих пожаров.

В нынешнее время на замену старым пробкам пришли автоматические выключатели (АВ), которые имеют много преимуществ и более надежны в эксплуатации по сравнению с пробками. Конструктивно АВ представляет собой модуль с двумя контактами вход/выход и кнопкой включения (однополюсный автомат).

Рабочий механизм автоматического выключателя находится в закрытом пластмассовом корпусе. В задней части автомат имеет специальную защелку, благодаря которой его можно надежно зафиксировать на DIN-рейку при подключении в электрощите.

Выбор автоматических выключателей является ответственной задачей, к которой нужно отнестись серьезно. В условиях возникновения аварийных ситуаций правильно выбранный автомат является гарантией защиты не только вашего оборудования, но и вашей жизни.

Автоматический выключатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрической цепи в момент возникновения коротких замыканий или перегрузок.

На схемах обозначаются буквами АВ либо QF (европейский стандарт).

Критерий выбора автоматических выключателей

Основными показателями на которые ссылаются при *выборе автоматов* являются :

- количество полюсов;
- номинальное напряжение;
- максимальный рабочий ток;
- отключающая способность (ток короткого замыкания).

1. Количество полюсов

Количество полюсов автомата определяется из числа фаз сети. Для установки в однофазной сети используют однополюсные или двухполюсные.

Для трехфазной сети применяют трех- и четырехполюсные (сети с системой заземления нейтрали TN-S). В бытовых секторах обычно используют одно- или двухполюсные автоматы.

2. Номинальное напряжение

Номинальное напряжение **автомата** это напряжение на которое рассчитан сам автомат. Не зависимо от места установки напряжение автомата U_{AB} должно быть равным или большим номинальному напряжению сети U_C :

$$U_{AB} \geq U_C$$

3. Максимальный рабочий ток

Максимальный рабочий ток. Выбор автоматов по максимальному рабочему току заключается в том чтобы номинальный ток автомата (номинальный ток расцепителя) $I_{ABном}$ был больше или равен максимальному рабочему (расчетному) току I_{max} который может длительно проходить по защищаемому участку цепи с учетом возможных перегрузок:

$$I_{ABном} \geq I_{max}$$

Чтобы узнать максимальный рабочий ток для участка сети (например для квартиры, дома) нужно найти суммарную мощность. Для этого суммируем мощность всех приборов, которые будут подключатся через данный автомат (холодильник, телевизор, св-печь и т.п.).

Величину тока из полученной мощности можно найти двумя способами: методом сопоставления или по формуле.

Для сети 220 В при нагрузке в 1 кВт, ток составляет 5 А. В сети с напряжением 380 В величина тока для 1 кВт мощности составляет 3 А. С помощью такого варианта сопоставления можно найти ток через известную мощность.

Для более точного нахождения тока можно воспользоваться известной формулой:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos(\varphi)}$$

Для бытовых электроприборов :

$$\cos(\varphi) = 1$$

4. Отключающая способность

Отключающая способность. Выбор автомата по номинальному току отключения сводится к тому, чтобы ток который автомат способен отключить $I_{н.отлк}$ был больше тока короткого замыкания $I_{кз}$ в точке установки аппарата:

$$I_{н.отлк} \geq I_{кз}$$

Номинальный ток отключения это наибольший ток к.з. который автомат способен отключить при номинальном напряжении.

При выборе автоматов промышленного назначения их дополнительно проверяют на:

- *электродинамическую стойкость*:

$$i_y \geq i_{np.c}$$

- *термическую стойкость*:

$$B_K = I_T^2 \cdot t_T$$

Автоматические выключатели выпускаются с такой шкалой номинальных токов: 4, 6, 10, 16, 25, 32, 40, 63, 100 и 160 А.

В жилых секторах (дома, квартиры) как правило **устанавливают двухполюсные автоматы** с номиналом в 16 или 25 А и током отключения 3 кА.

ГЛАВА 4. Расчет капитальных вложений

По исходным данным, исходя из рассчитанной мощности системы и необходимого количества оборудования, а также оценки строительно-монтажных издержек, составляем таблицу 4.1, в которую вносим необходимые капитальные затраты.

Таблица 4.1

Капитальные вложения в первый год работы проекта

Наименование	Количество	Стоимость единицы	Общая стоимость
Итого:			

Капитальные вложения осуществляются один раз во время внедрения проекта, а также каждый год для поддержания его работоспособности (капитальный ремонт, текущий ремонт).

Капитальные вложения в 1 год работы проекта определяем по формуле:

$$K_1 = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_i,$$

где C_i – стоимость единицы i -оборудования;

N_i – количество i -оборудования.

Расчет ведем для каждой строки таблицы 4.1.

Капитальные вложения в последующие годы работы проекта для осуществления плановых ремонтов определяем по формулам:

$$K_{fn} = K_1 \cdot k_n,$$

$$K_{fc} = K_1 \cdot k_c,$$

где

$k_n = 0,01$ для текущего ремонта;

$k_c = 0,05$ для капитального ремонта.

Капитальный ремонт проводим каждый 10 год работы проекта. Текущий ремонт – каждый год.

Стоит отметить что срок службы панелей из аморфного кремния составляет 7 лет (по истечению 7 лет необходима замена панелей, что стоит учесть при расчёте окупаемости).

4.1 Расчет производственных затрат.

Для расчета производственных затрат оцениваем количество обслуживающего персонала и его заработную плату. Кроме того, исходя из данных предыдущего расчета, определяем стоимость энергии, взятой из энергосети в холодное время года. Данные представляем в табличной форме (таблица. 4.2).

Таблица 4.2

Производственные затраты за 1 год работы системы

Покупка электроэнергии из сети	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
Зарплата персонала	Количество человек	Средняя заработная плата 1 человека, грн	Фонд оплаты труда, грн
		Итого:	

Следует учесть если объект – частный дом, то заработную плату персонала можно не учитывать или учесть работы монтажа-демонтажа.

4.2 Расчет производственных доходов и замещения сетевой электроэнергии.

Для расчета доходов и замещения топлива, определяем стоимость произведенной электроэнергии, включая ту энергию, которая была отдана в сеть. Данные сводим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Производственные доходы за 1 год работы системы

Продажа электроэнергии в сеть	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
Замещение сетевой электроэнергии	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, грн	Стоимость электроэнергии, грн
		Итого:	

4.3 Расчет срока окупаемости системы без дисконтирования финансовых потоков.

Определяем срок окупаемости системы без учета капитальных ремонтов каждые 10 лет работы:

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i},$$

где,

K_1 – капитальные затраты в первый год работы системы;

K_i – капитальные затраты в последующие годы работы системы;

C_i – издержки производства за 1 год работы;

P_i – доходы от производства за 1 год работы.

Уточняем значение времени окупаемости с учетом капитальных ремонтов:

$$T_2 = \frac{K_1 + K_{fc} \cdot N_{fc}}{P_i - C_i - K_i},$$

где,

$$N_{fc} = T_1/10$$

При необходимости уточняем время окупаемости еще раз по формуле:

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i}.$$

ГЛАВА 5. Расчет заземляющего устройства

Сопротивление растеканию заземляющего устройства для однофазной сети 220 В, должно быть не более 4 Ом (ПУЭ-2009 1.7.92).

Для определения схемы заземляющего устройства произведен расчет согласно «Справочнику проектировщика электрических сетей и подстанций» П.М. Диченко, «Электротехническому справочнику» М. Круглянского.

Количество заземлителей:

$$n = \frac{R_{0.пр}}{\eta \cdot R_3}, \text{ шт}$$

де $\eta=0,8$ при $\frac{a}{l} > 1$ (Липкин, ст.257, табл. 7.1),

Сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n}, \text{ Ом}$$

причем:

При напряжении фотоэлектрической станции ниже 1000В, принимаем $R_3= 4$ Ом (по нормам),

$$n = \frac{R_{0.пр}}{R_3}, \text{ шт}$$

Сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n}, \text{ Ом}$$

где, R_n – сопротивление протяжных заземлителей.

$$R_n = \frac{R_{np}}{\eta}, \text{ Ом}$$

$$R_{np} = \frac{0.366}{l} \cdot \rho \cdot K_n \cdot \ln \frac{2l^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}$$

Где

R_{np} – сопротивление (Ом) полосового или круглого заземлителя;

ρ – удельное сопротивление грунта (таблица 5.1).

K_n – коэффициент сезонности (таблица 5.2).

b , мм = 50 - ширина (диаметр) горизонтального заземлителя;

l – длина заземлителя в см (не меньше 2м);

t – глубина заложения заземлителя в см; обычно (50-75 см);

η_n – коэффициент использования (из табл. 5.3).

R_c – сопротивление стержневых заземлителей

$$R_c = \frac{R_0}{\eta_c \cdot n}, \text{ Ом}$$

$$R_0 = 0.00318 \cdot \rho \cdot K_c, \text{ Ом}$$

R_0 – сопротивление (Ом) стержневого заземлителя;

ρ – удельное сопротивление грунта; (таблица 5.1), $\rho=0,6 \cdot 10^4$ -суглинок.

K_c – коэффициент сезонности.

η_c – коэффициент использования (по таблице 5.4);

n – количество стержней.

Таблица 5.1

Рекомендуемые для приближенных расчетов средние значения удельного сопротивления грунта при влажности 10-20% к весу грунта.

<u>Слой земли (грунт)</u>	<u>Удельное сопротивление земли (Ом*см)</u>
Песок	$(4-7)*10^4$
Суглинок	$(0,5-1)*10^4$
Глина	$(0,4-0,7)*10^4$
Чернозем	$1*10^4$

Таблица 5.2

Рекомендуемые сезонные коэффициенты K_c и K_n

Тип заземлителя	Значения по климатическим зонам (зоны выбираются по СНиП «Климатология и геофизика»)			
	I	II	III	IV
Стержневые электроды длиной 1,8–5,0 м при глубине залегания 0,5–0,8 м; K_c в см	2,0	1,7	1,4	1,2
Для протяженных электродов на глубине 0,5-0,8 м рекомендуемый K_n	7,0	4,0	2,0	1,5

Таблица 5.3

Коэффициент использования полосы (η_p) для вертикальных заземлителей

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных по контуру		
Отношение расстояния к длине заземлителя a/l	Число электродов (стержневых) n	η_p	Отношение расстояния к длине заземлителя a/l	Число электродов (стержневых) n	η_p
2	4	0.890	2	4	0.550
	5	0.860		5	0.480
	8	0.790		8	0.430
	10	0.750		10	0.400
	20	0.569		20	0.320
	30	0.460		30	0.300

Таблица 5.4

Коэффициент использования η_c для вертикальных заземлителей

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных по контуру		
Отношение расстояния к длине заземлителя a/l	Число электродов (стержневых) n	η_c	Отношение расстояния к длине заземлителя a/l	Число электродов (стержневых) n	η_c
2	2	0.910	2	4	0.780
	3	0.860		6	0.730
	5	0.810		10	0.680
	10	0.740		20	0.630
	15	0.690		40	0.580
	20	0.670		60	0.520

Литература

1. Автономные источники питания. – Лекции. Бекиров Э.А. (книга). – Симферополь, 2010г.
2. Источники электропитания РЭА. Справочник под ред. Г. С. Найвельта, М., «Радио и связь», 1986, 576 с. с ил.
3. Ирвинг М. Готтлиб «Источники питания. Инверторы, конверторы. Линейные и импульсные стабилизаторы». Пер. с англ., «Постмаркет», М., 2000.
4. И.И.Белопольский, Е.И.Каратникова, Л.Г.Тикалова. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. М., Энергетика, 1973г.
5. Горюнов. Справочник по диодам стабилитронам, полупроводниковых приборам.
6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – Л.: Высшая школа, 1973. – 752 с.
7. Опорный лист силовых электронных модулей производителя Mitsubishi Electronics
[<http://www.mitsubishichips.com/Global/common/cfm/eLineUp.cfm?FOLDER=/product/powermod>].