

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ номидаги
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

Факультет: ЭНЕРГЕТИКА

Кафедра: «ГИДРАВЛИКА ВА ГИДРОЭНЕРГЕТИКА»

Кўлёзма ҳуқуқида

ЯНГИБОЕВ ТЎРА ЭРГАШ ЎҒЛИ

(Бакалаврнинг фамилияси, исми - шарифи)

«Разработка солнечной фотоэлектрической установки мощностью 1 кВт»

(Битирув малакавий ишининг мавзуси)

5520300 - «ГИДРОЭНЕРГЕТИКА»

(Йўналиш шифри ва номи)

Гидроэнергетика

йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Кафедра мудири:

проф. Мухаммадиев М.М.

Раҳбар:

т.ф.д. Клычев Ш.И

Тошкент – 2014

СОДЕРЖАНИЕ	Стр
ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	5
1.1. Солнечные фотоэлектрические установки малой мощности	5
1.2. Методы проектирования СФЭУ	10
1.3. Задачи разработки, исходные данные на проектирование	15
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	16
2.1 Расчет параметров СФЭУ	16
2.2. Расчет инвертора	30
2.3. Расчет аккумуляторных батарей	34
2.4. Разработка конструкции	40
ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРИМЕНЕНИЮ	45
3.1. Экономические характеристики	45
3.2. Экологические аспекты применения СФЭУ	47
3.3. Рекомендации к применению	49
4. Заключение	53
5. Литература	54

Задачей работы является разработка солнечной фотоэлектрической установки мощностью 1 кВт, поэтому далее проводим обзор по тематике работы.

Ежегодное количество энергии, полученной от Солнца, меняется в зависимости от географического положения на земном шаре. Самые солнечные места на Земле ежегодно получают до 2500 кВт•ч/кв.м горизонтальной поверхности, однако реально в нашем регионе на 1 кв.м. поступает примерно 1000кВтч.

Самая большая проблема – уловить солнечные лучи таким образом, чтобы их энергию можно было использовать для работы электрооборудования, обогрева зданий или освещения ваших домов по вечерам.

Превращение солнечного излучения в энергию, необходимую для этих целей, долгое время стоило дорого. Но, благодаря устойчивому увеличению потребления энергии во всем мире и ограниченному количеству ископаемого топлива, ситуация может измениться. Ученые и инженеры разрабатывают новые конструкции солнечных элементов, и цена на них постоянно падает. Каждый раз, когда производство солнечных элементов удваивается, цена на них снижается на 20%.

В настоящее время наиболее эффективно преобразовывать солнечную энергию в электрическую в солнечных элементах. Солнечные элементы (солнечные батареи) – устройства, которые превращают солнечную энергию прямо в электрическую. Солнечные элементы производились еще в прошлом веке, хотя тогда их эффективность была не более 1-2%. Исследования ученых в 20-х – 40-х годах и особенно космические программы в 50-е годы 20 века сыграли важную роль в развитии тех систем солнечных элементов, которые мы используем сегодня. Эффективность стандартной системы солнечных элементов сегодня составляет 10-15%. Основным материалом, из которого делают солнечные элементы – кремний. Кремний – второй после кислорода химический элемент по количеству запасов на Земле. Его можно получать из обычного кварцевого песка

Изготавливают солнечные элементы в основном из кристаллического кремния (75%), аморфного кремния (20%), и других тонкопленочных структур (5%). В серийном производстве достигнут КПД монокристаллических солнеч-

ных элементов — 12-18%, а у лабораторных образцов — 24%. Получены солнечные элементы на основе арсенида галлия с КПД 32,6%. Теоретически доказано, что предельный КПД солнечных элементов может составлять до 85,44%. Сегодня уже, например, ведутся работы по созданию фотоэлементов на основе сплавов, включающего индий, галлий и азот. Индий-галиево-нитридные фотоэлементы будут чувствительны к излучению всего солнечного спектра — от близкого к инфракрасному и вплоть до ультрафиолета, что позволит перешагнуть 50%-ный барьер эффективности /1/.

Одним из их основных преимуществ ФЭУ является максимально модульная организация: не представляет сложности объединить любое их количество. Поэтому чаще всего ими выстилают крыши домов, как жилых, так и принадлежащих организациям. Как правило, образуются системы мощностью 2-5 кВт, достаточные, чтобы обеспечить живущим в доме примерно половину необходимого электричества; остальное приходится получать от сети. Стоимость вырабатываемой ими энергии пока в несколько раз выше (ограничивает именно стоимость чистого кремния, который сейчас получают по старой, неэффективной и опасной хлорсилановой технологии), но фотоэлементы продолжают совершенствоваться и удешевляться. Ряд правительств финансирует программы, предоставляющие поддержку людям и организациям, которые заинтересуются ФЭУ.

Как видно в основном существующие проекты по СФЭУ предусматривают, что они будут не только автономными, но и связаны с централизованной электрической сетью. Указанное определяет актуальность дипломной работы.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Солнечные фотоэлектрические установки

Фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) и установки на их основе предназначены для преобразования солнечной энергии в электрическую.

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотовольтаическом эффекте в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. Использовать энергию фотоэлектрических преобразователей можно также как и энергию других источников питания, с той разницей, что солнечные элементы не боятся короткого замыкания. Каждый из них предназначен для поддержания определенной силы тока при заданном напряжении. Но в отличие от других источников тока характеристики солнечного элемента зависят от количества падающего на его поверхность света.

Фотоэлектрический преобразователь является основным элементом солнечных батарей. Батареи можно составлять в любой желаемой комбинации. Простейшей батареей является цепочка из последовательно включенных фотоэлектрических преобразователей. Можно также соединить параллельно цепочки, получив так называемое последовательно-параллельное соединение. После того как фотоэлектрические преобразователи подобраны, их необходимо спаять. Серийные элементы снабжены токосъемными сетками для припайки к ним проводников. Батарея солнечная предназначена для обеспечения автономного электропитания жилых домов и бытовой электроаппаратуры. При наземном использовании они обычно используются для зарядки аккумуляторных батарей (АКБ) с номинальным напряжением 12 В. В этом случае, как правило, 36 фотоэлектрических преобразователей соединяются последовательно и герметизируются посредством ламинации на стекле, текстолите, алюминии. Элементы при этом находятся между двумя слоями герметизирующей пленки, без воздушного зазора. Технология вакуумной ламинации позволяет выполнить это требование. Благодаря накоплению электроэнергии посредством зарядки аккумуляторных батарей осуществляет электропитание потребителей как в светлое, так и в темное

время суток. Возможно увеличение мощности путём параллельного подключения дополнительных модулей. Все фотоэлектрические системы (ФЭС) можно разделить на два типа: автономные и соединенные с электрической сетью. Станции второго типа отдают излишки энергии в сеть, которая служит резервом в случае возникновения внутреннего дефицита энергии. Автономная система в общем случае состоит из набора солнечных модулей, размещенных на опорной конструкции или на крыше, аккумуляторной батареи (АКБ), контроллера заряда - заряда аккумулятора, соединительных кабелей. Если потребителю необходимо иметь переменное напряжение, то к этому комплекту добавляется инвертор-преобразователь постоянного напряжения в переменное. Под расчетом ФЭС понимается определение номинальной мощности модулей, их количества, схемы соединения; выбор типа, условий эксплуатации и емкости АКБ; мощностей инвертора и контроллера заряда-разряда; определение параметров соединительных кабелей. Прежде всего надо определить суммарную мощность всех потребителей, подключаемых одновременно. Мощность каждого из них измеряется в ваттах и указана в паспортах изделий. На этом этапе уже можно выбрать мощность инвертора, которая должна быть не менее, чем в 1,25 раза больше расчетной. Номинальный ряд инверторов 150, 300, 500, 800, 1500, 2500, 5000 Вт. Для мощных станций (более 1кВт) напряжение станции выбирается не менее 48 В, т.к. на больших мощностях инверторы лучше работают с более высоких исходных напряжений. Следующий этап - это определение емкости АКБ. Емкость АКБ выбирается из стандартного ряда емкостей с округлением в сторону, большую расчетной /2/. А расчетная емкость получается простым делением суммарной мощности потребителей на произведение напряжения АКБ на значение глубина разряда аккумулятора в долях. Например, если суммарная мощность потребителей 1000 Втч в сутки, а допустимая глубина разряда АКБ 12 В - 50 %, то расчетная емкость составит: $1000/(12*0,5)=167$ Ач При расчете емкости АКБ в полностью автономном режиме необходимо принимать во внимание и наличие в природе пасмурных дней в течении которых аккумулятор должен обеспечивать работу потребителей. Последний этап -это определение суммарной мощности и

количества солнечных модулей. Для расчета потребуется значение солнечной радиации, которое берется в период работы станции, когда солнечная радиация минимальна. В случае круглогодичного использования - это декабрь. Модуль мощностью P_w в течении выбранного периода выработает следующее количество энергии :

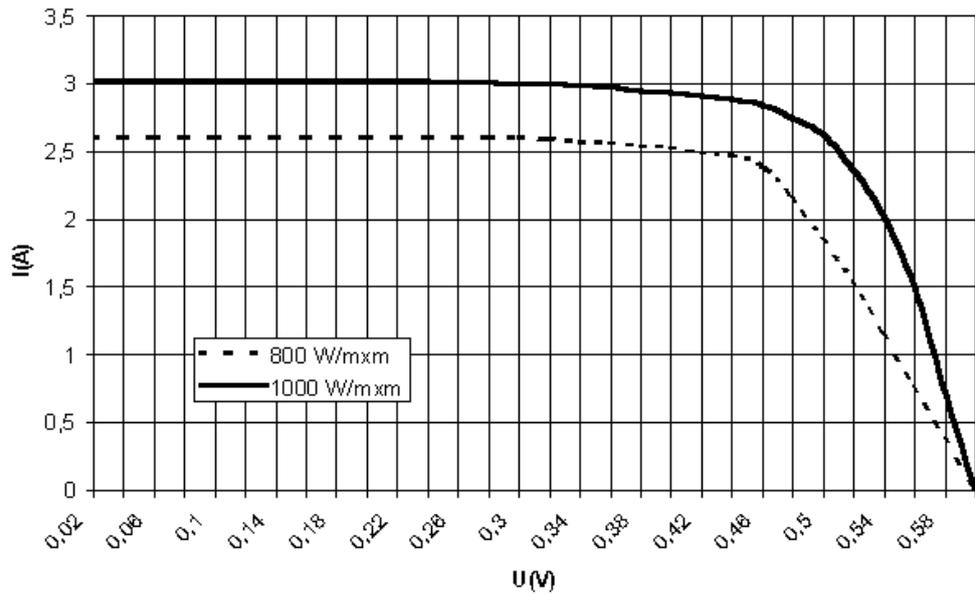
$$W = k P_w E / 1000 \quad (1.1)$$

где E - значение инсоляции за выбранный период, k - коэффициент равный 0,5 летом и 0,7 в зимний период.

Коэффициент k делает поправку на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также учитывает наклонное падение лучей на поверхность модулей в течении дня. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период. Исходя из суммарной мощности потребляемой энергии и приведенной выше формулы - легко рассчитать суммарную мощность модулей. А зная ее, простым делением ее на мощность одного модуля, получим количество модулей. При создании ФЭС настоятельно рекомендуется максимально снизить мощность потребителей. Например, в качестве осветителей использовать (по возможности) только люминесцентные лампы. Такие светильники, при потреблении в 5 раз меньшем, обеспечивают световой поток, эквивалентный световому потоку лампы накаливания. Для небольших ФЭС целесообразно устанавливать ее модули на поворотном кронштейне для оптимального разворота относительно падающих лучей. Это позволит увеличить мощность станции на 20-30 % /2/. Типичная вольт-амперная характеристика ФЭП (или солнечного элемента СЭ) приведена

Фотоэлектрические параметры обычно измерены при стандартных условиях: Энергетическая освещенность—1000 Вт/м², АМ=1,5, температура 25 °С. Фотоэлектрический преобразователь не имеет защитных покрытий. Защита производится при их сборке в солнечные батареи путем ламинации. Соединяются фо-

тоэлектрические преобразователи путем пайки. В качестве припоя рекомендуется использовать припойные пасты фирмы «Degussa» (Германия).



Характеристики солнечных модулей

Таблица 1.1.

СМ	Рном, Вт	U _{хх} , В	I _{кз} , А	Площадь фоточув., м ²	Габариты модуля, мм			m, кг
					Длина	Ширина	Толщина	
БСР-10	11	20,9	0,72	0,09	360	340	100	2
БСР-20	22	20,8	1,44	0,18	668	336	38	3,8
БСР-30	33	20,7	2,16	0,27	1000	336	38	4,8
БСР-40	44	20,6	2,88	0,36	1328	336	38	5,9
БСР-60	66	20,5	4,32	0,54	1000	668	38	9,8
БСР-80	88	20,4	5,76	0,72	1328	668	38	11,5
БСР-100	110	20,3	7,2	0,9	1665	668	38	16

Примечания:

1. Рабочее напряжение на нагрузке - 16,5 В.
2. Номинальная солнечная облученность фоточувствительной поверхности- 1000 Вт/м².
3. Рабочий интервал температуры окружающей среды - от -60 до +80 °С.

На базе солнечных батарей разработаны и автономные источники питания (см. табл. 1.7).

Характеристики автономных источников питания (РЗМКП)/5/.

Таблица 1.2.

Тип АИП	Назначение	Выходное напряжение, В	Вых. мощ., Вт	Режим работы
АИП 60-12/24	Питание аппаратуры радиорелейных станций для газо-и нефтепроводов	Постоянное, 12/24	2,4	Непрерывный
СЭН-ВУ100	Использование в системах водоснабжения, электропитание маломощных бытовых электроприборов, подзарядка автомобильных аккумуляторов.	Постоянное, 12	100	Определяется режимом энергопотребления
АИП600-12	Питание аппаратуры радиорелейных станций для газо- и нефтепроводов	Тоже	60	Непрерывный
АИП2400-24	Питание аппаратуры радиорелейных станций для газо- и нефтепроводов	Постоянное, 24	200	
АИП12000-0-24	Катодная защита трубопроводов	Тоже	3000	
АИП2000-220П	Электроснабжение жилого дома	АС 220, 50 Гц	до 2 кВт	Произвольный с ограничением суточного потребления до 8

1.2. Методы проектирования СФЭУ

Мощность солнечного излучения зависит от широты местности, времени года и суток. Кроме того, мощность солнечного излучения, практически достигающего поверхности Земли (т.е. за вычетом потерь в атмосфере), зависит также и от состояния атмосферы (наличия облаков, тумана, пыли и т. п.). Так как состояние атмосферы зависит от многих случайных факторов, то суточные и годовые графики поступления солнечной энергии имеют сложный характер. Графики их изменения при этом можно представить двумя величинами:

- детерминированной, функционально связанной с временем суток, года и широтой местности;
- случайной, зависящей от состояния атмосферы. Математическое выражение мощности при этом имеет вид:

$$S_z = S_z(t, T, f) \frac{S(x)}{F}, \quad (1.2)$$

где: S_z - плотность мощности солнечного излучения, достигающего горизонтальной поверхности Земли Вт/м²;

$S_z(t, T, f)$ - функция плотности солнечного излучения на горизонтальную поверхность от времени суток, времени года, широты местности;

$S(x)$ - потери мощности солнечного излучения в атмосфере, Вт;

F - горизонтальная проекция поверхности Земли, над которой измеряется солнечное излучение, м²

$S_{кз} = S_z(t, T, f)$ называется в соответствии со своей сущностью космическим солнечным излучением / 18 /.

Введем понятие коэффициента прозрачности:

$$k_{np} = \frac{S_2}{S_{K2}}, \quad (1.3.)$$

С учетом (2.1.), получаем:

$$k_{np} = 1 - \frac{S_2}{S_{K2}} \quad (1.4.)$$

где: $S(x) = \frac{S(x)}{F}$ - плотность потерь мощности солнечного излучения в атмосфере, Вт/м²

Теоретически коэффициент прозрачности может изменяться от 1 (потери в атмосфере равны нулю) до 0 (солнечное излучение полностью теряется в атмосфере). Практически k_{np} находится в пределах 0-0,8. Это обусловлено тем, что даже в совершенно ясную погоду происходит поглощение и отражение солнечного излучения молекулами воздуха.

Введение коэффициента прозрачности позволяет записать в следующем виде:

$$S_2 = k_{np} \cdot S_2(t, T, f) = k_{np} \cdot S_2, \quad (1.5.)$$

Функция космического солнечного излучения в силу своей строгой детерминированности хорошо изучена и затабулирована /37/. На рис. 1.1.1 приведен график функции $S_2(T)$ - зависимость плотности мощности космического солнечного излучения от времени года для широты Ростовской области.

Здесь же показан график суточной энергии космического солнечного излучения, построенный по данным /18/.

Отметим, что мощность солнечного излучения, падающего на единичную площадку сориентированную каким-либо образом, зависит от ориентации этой площадки. Для ориентации единичной площадки введем следующие параметры

h - угол высоты Солнца над горизонтом;

β - угол наклона площадки над горизонтом;

γ - азимутальный угол, т.е. угол отклонения проекции нормали к площадке от направления на солнечный полдень.

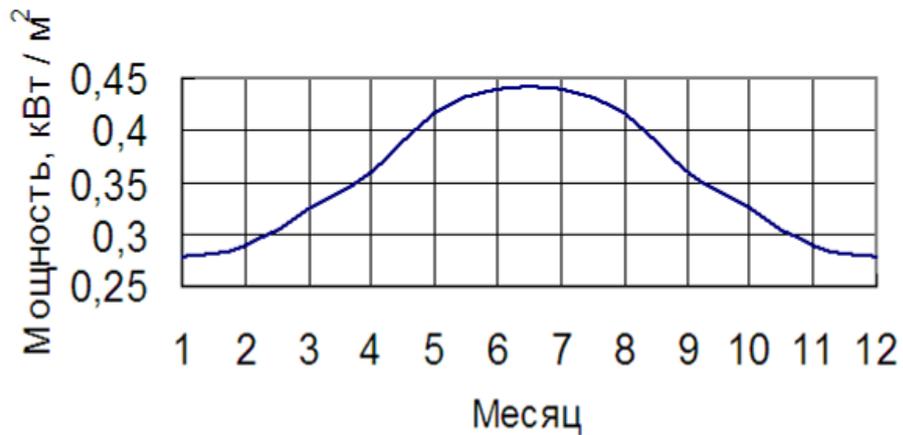


Рис. 1.1. Средняя мощность солнечного излучения на горизонтальную площадку

Согласно рис. наибольшая плотность мощности космического солнечного излучения будет при совпадении нормали к площадке и направления на Солнце. Так как положение Солнца относительно Земли непрерывно изменяется в течение года и суток, то для получения максимально возможной плотности мощности солнечного излучения углы β и γ должны меняться соответствующим образом, т.е. необходимо непрерывное слежение за Солнцем.

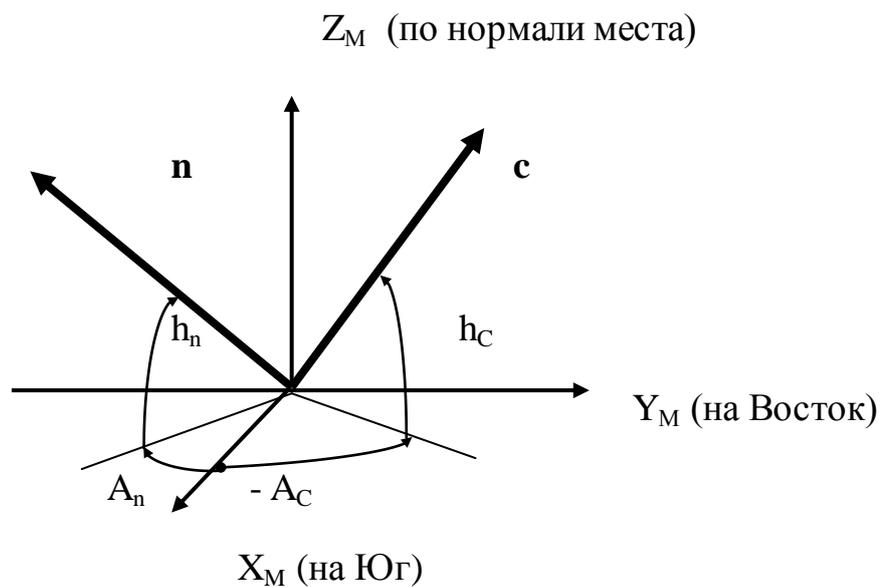


Рис.1.2 Углы ориентации ПО и солнечных лучей.

Однако, как показали многочисленные работы /18,24,27/, при этом сильно увеличивается стоимость солнечной установки, превышая стоимость прибавки мощности от слежения. В этой связи, для маломощных солнечных установок наиболее эффективными являются фиксированные солнечные приемники (коллекторы) /18,27/.

Следует отметить, что ориентация фиксированного солнечного коллектора не очевидна. Это объясняется следующими причинами :

- плотность мощности солнечного излучения зависит от прозрачности атмосферы

- график потребления мощности может быть сдвинут в течении суток.

На рис.. приведен пример плотности мощности солнечного излучения, реально падающего на солнечный коллектор. Здесь предполагается , что в утренние часы нет облачности , а в послеобеденные часы появляется облачность. Если такие условия являются статистически устойчивыми, то очевидно , что целесообразно ориентировать солнечный коллектор не строго на юг, а на юго-восток, причем более точное его положение должно определяться специальными оптимизационными расчетами .

Таким образом, для ориентации солнечных коллекторов необходимы статистические данные о прозрачности атмосферы или о реальных суточных графиках поступающих через атмосферу потоков солнечной энергии.

За солнечным излучением следят метеорологические станции в рамках государственных программ метеорологии, поэтому имеется достаточно статистических данных о графиках поступления солнечной энергии.

Проанализируем, как можно использовать эти статистические данные для создания солнечных энергоустановок.

Как уже отмечалось, для солнечных энергоустановок малой мощности наиболее эффективным является фиксированный солнечный коллектор, причем его ориентация определяется статистическим графиком солнечного излучения.

Солнечное излучение зависит от времени суток и года, и прозрачности атмосферы, поэтому для ориентации солнечного коллектора необходимо иметь соответствующие среднестатистические данные.

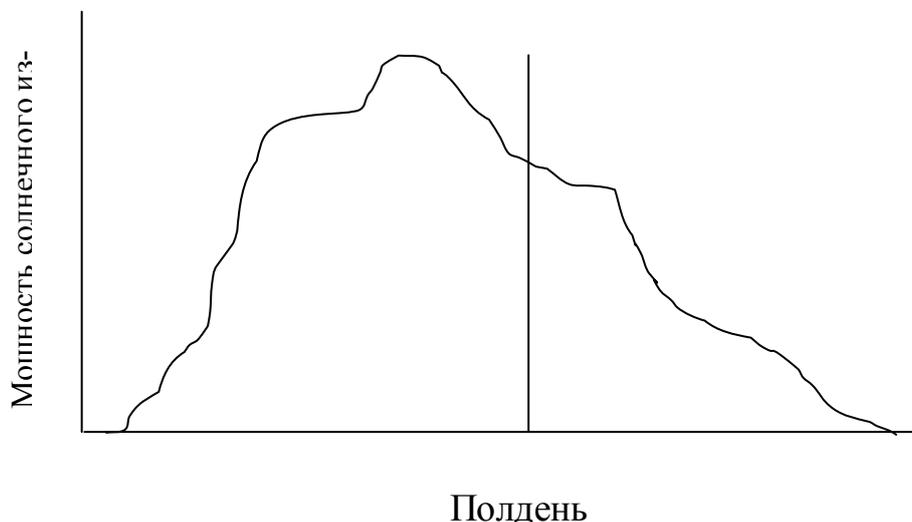


Рис. 2.3. Пример распределения солнечного излучения в течение суток

В таблице 1.1. приведены данные о статистическом распределении плотности солнечного излучения, которые могут быть использованы для определения положения коллектора.

По данным таблицы 1. определяется сумма получаемой солнечной энергии за любой период года.

Таким образом проведенный анализ показал, что солнечное излучение обладает большой энергией и существует достаточно статистических данных и математический аппарат для проектирования солнечных энергоустановок.

Удельная мощность солнечного излучения на горизонтальную поверхность

Таблицы 1.3

Часы суток	Мощность солнечного излучения, Вт/м ²			
	Зима	Весна	Лето	Осень

5	0	15,5	38,8	0
6	0	50,4	124,1	11,6
7	3,9	112,4	228,7	46,5
8	16,9	190,0	337,3	100,8
9	31,0	263,6	422,6	155,1
10	42,6	314,0	492,3	193,8
11	54,3	337,3	500,1	221,0
12	58,2	325,6	507,8	217,1
13	46,5	279,1	461,3	182,2
14	31,0	232,6	383,8	155,1
15	15,5	174,5	298,5	100,8
16	3,5	96,9	201,6	42,6
17	0	42,6	108,5	7,8
18	0	11,6	31,0	0
19	0	0	3,9	0

1.3. Задачи разработки, исходные данные на проектирование

В целом проведенный анализ по солнечным фотоэлектрическим преобразователям показывает следующее:

1. Имеется два основных типа солнечных фотоэлектрических источников питания, первые автономные и вторые связанные с централизованной системой электроснабжения. Первый тип СФЭУ применяются в основном для потребителей не требующих бесперебойного снабжения (дачники, геологи или существенно маломощные потребители, до 5-10 Вт), автономные источники с бесперебойным снабжением применяются единично для питания отдаленных релейных станций, однако для них экономические показатели не главные.
2. на рынке имеется достаточно большое число предложений по СЭ и солнечным панелям, однако готовых проектов СФЭУ, как автономных источников энергопитания (АИП) для массового потребителя по приемлемым ценам не имеется. Это обусловлено тем, что обеспечение бесперебойного снабжения является еще не решенной задачей.

3. Проблемы создания АИП связаны не только с проблемами аккумуляции энергии для потребления в ночное время, но вопросы их эффективного использования требуют рассмотрения задач оптимизации нагрузок – создание специальных приборов для эффективной работы со СФЭУ – новые типы маломощных люминесцентных ламп, телевизоров, а также создание приборов и устройств, работающих на постоянном токе и т.д.

Исходные данные на проектирование СФЭУ

1. Район эксплуатации – Регион Центральной Азии.
2. Географические координаты - с.ш. 41°
3. Высота над уровнем моря – 700м.
4. Мощность установки – 1кВт
5. Режим нагрузки – см. рис.1.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Расчет параметров СФЭУ

Все фотоэлектрические системы (ФЭС) разделяют на два типа: автономные и соединенные с электрической сетью. Станции второго типа отдают излишки энергии в сеть, которая служит резервом в случае возникновения внутреннего дефицита энергии.

Принципиальные схемы СФЭУ (см. выше) в первом приближении могут иметь вид (см. рис.2.1,а,б).

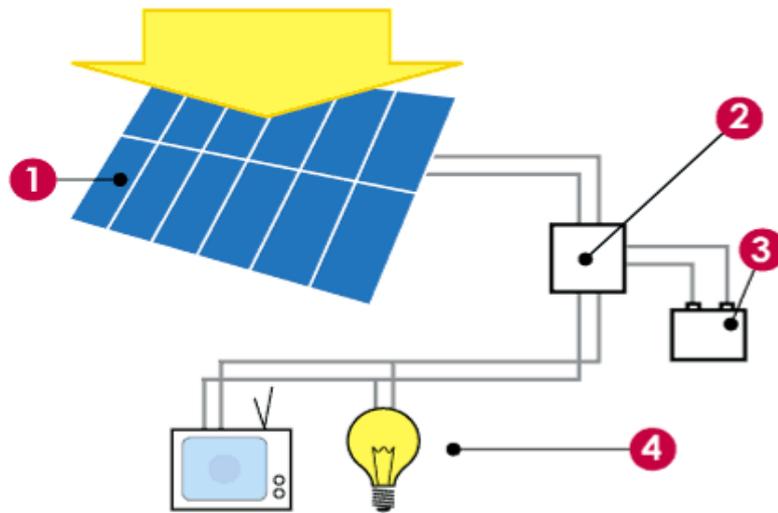


Рис.2.1. Принципиальная схема и состав СФЭУ:

1- солнечные панели; 2- контроллер; 3 – аккумуляторная батарея; 4 – нагрузка.
ка.



Рис.2.1,б. Принципиальная структурная схема СФЭУ:

СМ – солнечные модули; АКБ – аккумуляторные батареи.

2.1. Расчет параметров СФЭУ

Параметры солнечной энергии

1. Плотность падающего солнечного излучения – E_c ;
2. Расчетное изменение плотности солнечного излучения в течение дня – f_{ct}
($\varphi, \tau, \delta, \kappa$);
3. Зависимость поступления солнечного излучения от метеофакторов - f_{cm} ;

4. Угол падения солнечных лучей на приемно-концентрирующий элемент солнечной установки (для высокотемпературных солнечных установок это угол между оптической осью и солнечными лучами, для низкотемпературных солнечных установок это угол между нормалью к приемной поверхности и направлением солнечных лучей) – i ;

5. Расчетное число часов солнечного сияния в день - τ_c .

Показатель E_c или плотность солнечного излучения E_c включает прямую и диффузную составляющие, которые, в общем, зависят от различных факторов - ясности неба и характеристик окружающих зданий и сооружений.

Показатель 2 или $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ характеризует изменение плотности солнечного излучения в течение дня и года при ясном небе. И она зависит от широты места - φ , времени дня - τ , времени года, или склонения - δ и коэффициента поглощения солнечного излучения в атмосфере – k . Т.е. $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ включает не только известные параметры, но и случайную составляющую, которая входит в коэффициент поглощения k (влияние на k прозрачности атмосферы и в общем метеоусловий). Однако при этом зависимости E_c от времени существенно усложняются, поэтому желательно введение отдельного показателя f_{cm} , характеризующего метеофакторы, а в показателе $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ принимать для k его значение, характерное для данного района.

Показатель f_{cm} характеризующее изменение E_c от метеофакторов – облачность, пыль, является случайной величиной относительно некоторой плотности солнечного излучения в данном районе. За эту базовую величину можно брать либо солнечную постоянную у Земли, либо какое-то характерное значение падающего солнечного излучения E_c'' в данном районе, например расчетную солнечную радиацию в полдень для данного дня, месяца, сезона или года, или

$$E_c = E_c'' * f_{ct} * f_{cm} \quad (2.1)$$

где E_c'' - расчетная плотность солнечного излучения в полдень. В общем, в первом приближении, для ясного дня зависимость для E_c имеет вид

$$E_c'' = E_0 \exp(-k \cdot r_0 / \sin h) \quad (2.2)$$

где E_0 – солнечная постоянная у поверхности Земли (1335 Вт/м^2), r_0 – "толщина" атмосферы, h – Высота Солнца. Для полудня

$$E_c'' = E_0 \exp(-k \cdot r_0 / \sin h_0) \quad (2.3)$$

где h_0 – Высота Солнца в полдень, равная

$$h_0 = 90 - \varphi + \delta \quad (2.4)$$

В зависимости f_{cm} за базовую плотность солнечного излучения можно принимать E_c'' , однако в принципе это может быть любая другая характерная величина плотности солнечного излучения, например среднемесячная и т.д. Функция f_{cm} , как мы определили выше случайная функция, изменяющаяся в данном случае от 0 до 1 (но, может быть и больше 1, если за базовую величину берет-ся средняя солнечная радиация за некоторый интервал времени).

Для солнечных фотоэлектрических установок влияние угла падения на плотность падающего солнечного потока, пропорционально $\cos i$, однако оно характеризует установку и должно учитываться в его характеристиках, или окончательно выражение (2.1) примет вид

$$E_c = E_c'' \cdot f_{ct} \cdot f_{cm} \quad (2.5)$$

Можно отметить, что с изменением угла падения изменяется и коэффициент отражения солнечных лучей от фотоэлемента и от поверхности защитного стекла солнечной батареи (формулы Френеля), что, в общем, для углов i больших 37° также необходимо учитывать.

Число часов солнечного сияния от полудня τ можно определить из формулы // при $h = 0$.

$$h = \arcsin(\cos\delta * \cos(\omega_3 * \tau) * \cos\varphi + \sin\delta * \sin\varphi) = 0 \quad (2.6)$$

При этом $\tau_c = 2\tau$.

1. Расчет солнечной радиации.

Приход солнечной радиации – см. табл.1 и рис.1.

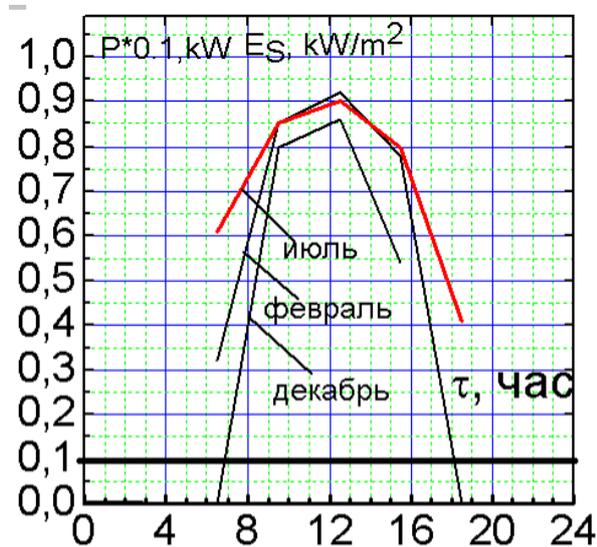


Рис.1. Варианты нагрузки.

Расчет прихода солнечной радиации

Таблица 2.1. Энергетическая освещенность солнечной радиацией (кВт/м²) при ясном небе.

Каракалпакская АССР	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. Каракалпакия												
6 30 S			0,32	0,50	0,64	0,66	0,61	0,55	0,45	0,30		
S'			0,03	0,11	0,22	0,24	0,20	0,14	0,07	0,02		

<i>O</i>		0,04 0,07 0,08 0,09 0,08 0,07 0,05 0,03
<i>C₁</i>		0,07 0,18 0,30 0,33 0,28 0,21 0,12 0,05
9 30	S	0,72 0,80 0,85 0,86 0,88 0,86 0,85 0,85 0,86 0,85 0,80 0,72
<i>S'</i>		0,18 0,30 0,46 0,58 0,69 0,70 0,65 0,61 0,52 0,41 0,28 0,19
<i>O</i>		0,08 0,09 0,11 0,13 0,12 0,12 0,13 0,12 0,11 0,09 0,08 0,06
<i>C₁</i>		0,26 0,39 0,57 0,71 0,81 0,82 0,78 0,73 0,63 0,50 0,36 0,25
12 30	S	0,85 0,90 0,92 0,90 0,93 0,89 0,90 0,89 0,90 0,90 0,86 0,84
<i>S'</i>		0,35 0,48 0,64 0,75 0,82 0,83 0,82 0,75 0,62 0,54 0,38 0,31
<i>O</i>		0,10 0,12 0,13 0,14 0,13 0,13 0,13 0,13 0,11 0,09 0,08 0,08
<i>C₁</i>		0,45 0,60 0,77 0,89 0,95 0,96 0,95 0,88 0,73 0,63 0,46 0,39
15 30	S	0,56 0,70 0,78 0,79 0,83 0,81 0,80 0,80 0,76 0,69 0,54 0,46
<i>S'</i>		0,09 0,20 0,33 0,43 0,52 0,55 0,54 0,47 0,34 0,21 0,08 0,04
<i>O</i>		0,05 0,08 0,10 0,11 0,10 0,11 0,11 0,10 0,08 0,06 0,04 0,04
<i>C₁</i>		0,14 0,28 0,43 0,54 0,62 0,66 0,65 0,57 0,42 0,27 0,12 0,08
18 30	S	0,15 0,35 0,43 0,41 0,25
<i>S'</i>		0,01 0,05 0,08 0,07 0,02
<i>O</i>		0,02 0,03 0,05 0,05 0,04
<i>C₁</i>		0,03 0,08 0,13 0,12 0,06

В таблице 2 приведены суточные и месячные значения суммарной солнечной радиации, на нормальную к лучам поверхность.

Суммы суммарной солнечной радиации
(МДж/м²) при ясном небе.

Таблица 2.

	За часовой интервал (истинное солнечное время)													За сут-	
	4—5	5	6	7-8	8—9	9—10	11-	12-	13	14	15	16	17		18
Каракалпакская АССР															
1. Кара-															
I				0,0	0,51	0,97	1,35	1,58	1,58	1,30	0,92	0,49	0,07		8,86

II	0.0	0.4	1.00	1.51	1.89	2.12	2.12	1.87	1.46	0.92	0.33	0.01	13.65
III		0.2	0.9	1.53	2.07	2.48	2.73	2.73	2.43	2.02	1.48	0.84	19.75
IV	0.1	0.6	1.2	1.89	2.53	2.99	3.17	3.17	2.99	2.53	1.97	1.30	25.32
V	0.4	1.0	1.6	2.22	2.84	3.22	3.42	3.42	3.20	2.84	2.33	1.71	29.82
VI	0.5	1.1	1.7	2.40	2.94	3.32	3.48	3.48	3.30	2.91	2.40	1.79	31.43
VI-I	0.5	1.0	1.7	2.30	2.84	3.22	3.40	3.40	3.19	2.81	2.30	1.69	30.01
VIII	0.2	0.7	1.4	2.04	2.61	2.99	3.17	3.17	2.99	2.58	2.02	1.43	26.50
IX	0.0	0.3	0.9	1.58	2.17	2.56	2.71	2.71	2.53	2.15	1.61	1.05	20.87
X		0.0	0.5	1.15	1.66	2.10	2.30	2.30	2.07	1.64	1.12	0.59	15.67
XI		0.1	0.66	1.15	1.56	1.74	1.74	1.48	1.07	0.61	0.16		10.33
XII		0.0	0.43	0.84	1.20	1.43	1.43	1.20	0.82	0.38	0.03		7.80
Год													731

7. Тахиа-

I		0,1	0,64	1,1	1,51	1,74	1,74	1,46	1,0	0,64	0,11		10,12
II		0.0	0.4	1.0	1.5	1.94	2.22	2.22	1.94	1.5	1.0	0.49	14.62
III	0.2	0.9	1.6	2.1	2.5	2.7	2.7	2.4	2.0	1.5	0.8	0.2	20.32
IV	0.1	0.6	1.3	1.9	2.6	3.0	3.2	3.2	3.0	2.6	2.0	1.2	26.01
V	0.3	0.9	1.6	2.3	2.8	3.2	3.5	3.5	3.2	2.8	2.3	1.6	29.90
VI	0.5	1.1	1.8	2.4	2.9	3.3	3.5	3.5	3.3	2.9	2.4	1.7	31.44
VII	0.4	1.0	1.6	2.3	2.8	3.2	3.4	3.4	3.1	2.7	2.2	1.6	29.68
VIII	0.2	0.7	1.4	2.0	2.6	3.0	3.2	3.2	3.0	2.6	2.0	1.3	26.68
IX	0.0	0.3	1.0	1.7	2.2	2.6	2.8	2.8	2.5	2.1	1.6	1.0	21.62
X		0.0	0.6	1.3	1.7	2.1	2.3	2.3	2.1	1.6	1.1	0.5	16.38
XI		0.1	0.6	1.2	1.6	1.8	1.8	1.5	1.1	0.6	0.1		10.80
XII		0.0	0.3	0.9	1.3	1.5	1.5	1.2	0.7	0.4	0.0		8.39
Год													74

Исходя из этих данных определяем реальный приход солнечной радиации за сутки на наклонную поверхность с коэффициентом 0.7. Эти данные приведены в табл.2.2.

Табл.2.3.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эс, Мдж/м ² сут	6,2	9,5	13,8	17,7	20,8	22,2	21	18,5	14,6	10,9	7,2	5,4

Как известно, переменность поступления солнечной энергии, приводит к несогласованности графиков выработки и потребления энергии и требует применения аккумуляторов (АБ). Расчет мощности СФЭУ и емкости АБ для случая постоянных плотности солнечного излучения E и постоянной мощности нагрузки P_H был рассмотрен в /1/. Цель настоящей работы рассмотрение задачи выбора мощности СФЭУ N и емкости АБ при переменных E и P_H .

На практике всегда можно выбрать повторяющиеся времена работы или циклы нагрузки. Не нарушая общности задачи, будем считать, что цикл нагрузки $\tau_{Ц}$ равен одним суткам. На рис. 1 приведена схема нагрузки и мощности СФЭУ во времени.

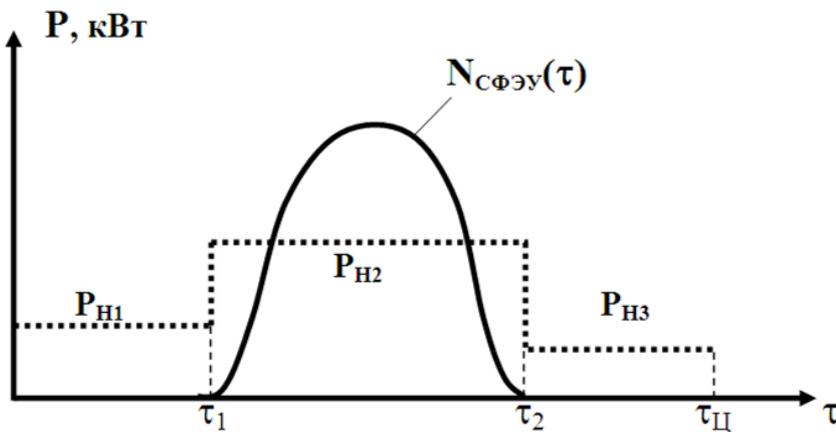


Рис. 1. Схема изменения мощности нагрузки P_H и мощности СФЭУ $N_{СФЭУ}$ во времени.

Очевидно, что в течение времени цикла должно выполняться условие равенства поступающей от СФЭУ энергии и затраченной на нагрузку энергии, или

$$\sum_{\tau_1}^{\tau_2} N_{СФЭУ} \cdot \Delta\tau = \sum_0^{\tau_1} P_{H\tau} \cdot \Delta\tau + \sum_{\tau_1}^{\tau_2} P_{H\tau} \cdot \Delta\tau + \sum_{\tau_2}^{\tau_{Ц}} P_{H\tau} \cdot \Delta\tau \quad (2.7.)$$

Здесь выделены следующие основные нагрузки – нагрузки при отсутствии Солнца - от 0 до τ_1 , τ_1 – расчетное время восхода Солнца; и от τ_2 до $\tau_{Ц}$, τ_2 – расчетное время захода Солнца (т.е. нагрузки в эти моменты времени обеспечивается за счет АБ), а также нагрузка во время солнечного сияния τ_C ($\tau_C = \tau_2 - \tau_1$).

Т.к. плотность солнечного излучения E и соответственно мощность СФЭУ и нагрузка переменны во времени, то (1) решается путем перебора вариантов мощности СФЭУ.

Распишем слагаемые в (1). Мощность СФЭУ равна

$$N_{\text{СФЭУ}} = N_{\text{ФБН}} * (\eta / \eta_{\text{С}}^0) (E / E_{\text{Н}}) * \eta_{\text{П}} * f_{\text{ВС}} = N_{\text{Н}}^{\text{С}} * f_1 * f_2 * f_{\text{ВС}} \quad (2.8.)$$

где $N_{\text{СФЭУ}}$ – мощность выдаваемая СФЭУ в нагрузку (включая мощности на зарядку АБ); $N_{\text{ФБН}}$ – номинальная (паспортная) мощность СФЭУ – мощность которую дает СФЭУ при паспортных данных солнечного излучения $E_{\text{Н}}$ (обычно 1000 Вт/м^2) и температуре 25°С ; $N_{\text{Н}}^{\text{С}}$ – мощность выдаваемая СФЭУ в сеть ($N_{\text{Н}}^{\text{С}} = N_{\text{ФБН}} * \eta_{\text{П}}$, где $\eta_{\text{П}}$ – КПД передачи мощности СФЭУ от солнечных батарей в сеть, обычно это КПД инвертора). Изменению КПД солнечных батарей (СБ) можно учесть в виде коэффициента f_1 , равной

$$f_1 = \eta / \eta_{\text{С}}^0 \quad (2.9.)$$

где η – реальное КПД СБ в условиях эксплуатации и $\eta_{\text{С}}^0$ – паспортное КПД СБ, обычно η зависит от температуры нагрева СБ и (3) можно представить в виде

$$f_1 = (1 - 0.05 * t) / (1 - 0.05 * t_{\text{Н}}) \quad (2.10.)$$

где t , $t_{\text{Н}}$ – температуры воздуха, текущая t и номинальная $t_{\text{Н}}$, при которой измеряют КПД фотоэлемента, обычно 25°С .

Расчетное изменение солнечного излучения во времени учитывается коэффициентом f_2 , которая в первом приближении равна

$$f_2 = E / E_{\text{Н}} = (E_0 / E_{\text{Ф}}) * \exp(-k * r_0 / \sin h) \quad (2.11.)$$

где E_0 – солнечная постоянная у поверхности Земли (1335 Вт/м^2); k – коэффициент пропускания атмосферы; E_φ – плотность солнечного излучения в полдень на широте расположения СФЭУ – φ ; r_0 – "толщина" атмосферы; h – высота Солнца.

Примерное значение k и r_0 можно определить из (5) следующим образом, для $h = 90$ (в полдень) и $\varphi = 0$ (экватор), считаем, что в полдень $E = E_\varphi = 1000 \text{ Вт/м}^2$ или $E/E_H = 1$ тогда из (5) получаем

$$1000/1335 = \exp(-k*r_0)$$

$$\text{или} \quad k*r_0 = -\ln(1000/1335) = 0.28893$$

Число часов солнечного сияния τ_C определяется из формулы для высоты Солнца h , при $h=0$ (восход или заход солнца)

$$\tau_C = 2 * \arccos(-\text{tg}\delta * \text{tg}\varphi) / \omega_3 \quad (2.12.)$$

где φ – широта места, δ – склонение Солнца, ω_3 – угловая скорость вращения Земли ($\omega_3 = 15$ град/час), τ – время в час, от полудня.

Программно выражение для τ_C на Бейсике может иметь вид

$$cw = -td * tf: sw = \text{SQR}(1 - cw^2)$$

$$\text{IF } cw = 0 \text{ THEN } \tau_C = 12: \text{GOTO } mt \text{ ELSE}$$

$$\text{IF } cw > 0 \text{ THEN } \tau_C = 2 * (\text{ATN}(sw/cw)) / (\omega_3 * \text{pi}/180): \text{GOTO } mt \text{ ELSE}$$

$$\text{IF } cw < 0 \text{ THEN } T0 = 2 * (\text{pi} - \text{ABS}(\text{ATN}(sw/cw))) / (\omega_3 * \text{pi}/180)$$

График мощности нагрузки зададим следующим образом

$$\text{для интервала } \tau_0 \div \tau_1 \quad P_1 = k_{P1} * P_H$$

$$\text{для интервала } \tau_1 \div \tau_2 \quad P_2 = k_{P2} * P_H$$

$$\text{для интервала } \tau_2 \div \tau_{Ц} \quad P_3 = k_{P3} * P_H$$

где k_P – коэффициенты нагрузки в различные моменты времени. Отметим, что k_P может в данном подходе иметь самый различный вид.

Стоимость СФЭУ очевидно равна

$$C^C = N_H^C * C_W^C \quad (2.13.)$$

где C_W^C – удельная стоимость мощности СФЭУ (дол/кВт).

Как видно, коэффициенты f_1 , f_2 , f_B обычно меньше 1, то есть реальная мощность будет меньше паспортной и для покрытия нагрузки необходимо будет увеличивать мощность СФЭУ и это будет сказываться на стоимости установленной мощности выдаваемой в нагрузку и соответственно на цене производимой энергии. Можно отметить, что это в принципе, такая ситуация имеет место и для обычных теплоэнергетических установок, когда они работают в меньших, чем номинальные мощности.

Исходными данными в задаче определения необходимой мощности СФЭУ N_H^C для обеспечения заданных мощностей нагрузок являются:

1. Мощность нагрузки P_H , и её изменение во времени;
2. Времена в цикле, в течение которых необходимо обеспечивать требуемые мощности нагрузки - $\tau_{1...n}$.

Схема решения задачи:

1. Задаем кривую мощности нагрузки во времени – P_i ;
2. Задаем режим нагрузки, или времена – $\tau_{1...n}$;
3. Задаем время цикла - $\tau_{Ц}$.

Задаем параметры СФЭУ:

1. Расчетные параметры солнечной радиации – $E(\tau)$;
2. Число часов солнечного сияния - τ_C ;
3. Кпд СФЭУ - $\eta(t)$;
4. Рабочие температуры – t , $^{\circ}C$;
5. Функция, характеризующая случайность поступления солнечной радиации - f_{BC} .

Из этих данных определяем значения f_1 и f_2 и далее из (1) для заданных исходных данных, путем перебора определяется номинальная мощность СФЭУ –

$N_{Н}^C$. На основе разработанного подхода была создана программа на Бейсике. Программа позволяет рассматривать различные режимы нагрузок.

На рис. 2 приведены мощности СФЭУ $N_{Н}^C$ в различные сезоны года (склонение δ) для максимальной мощности нагрузки $P_{Н} = 1$ кВт и вариантов нагрузки: вариант 1 – $k_{P1} = k_{P2} = k_{P3} = 1$ (наиболее тяжелый режим нагрузки); вариант 2 – $k_{P1} = k_{P3} = 0.2$, $k_{P2} = 1$; вариант 3 – $k_{P1} = k_{P3} = 0$, $k_{P2} = f_2$ (наиболее легкий режим нагрузки для СФЭУ, когда мощность нагрузки пропорциональна мощности СФЭУ). Как видно из рис. 2 необходимая "номинальная" мощность СФЭУ $N_{Н}^C$ может существенно превышать максимальную мощность нагрузки $P_{Н}$, в зависимости от режима нагрузки, причем это отношение зависит и от сезона года. Так если зимой для варианта 1 отношение $N_{Н}^C/P_{Н} = 6$, то в летнее время $N_{Н}^C/P_{Н} = 2.3$, т.е в одна и та же установка, в зависимости от сезона будет иметь различную мощность, например, летом мощность СФЭУ практически в 3 раза будет больше, чем зимой.

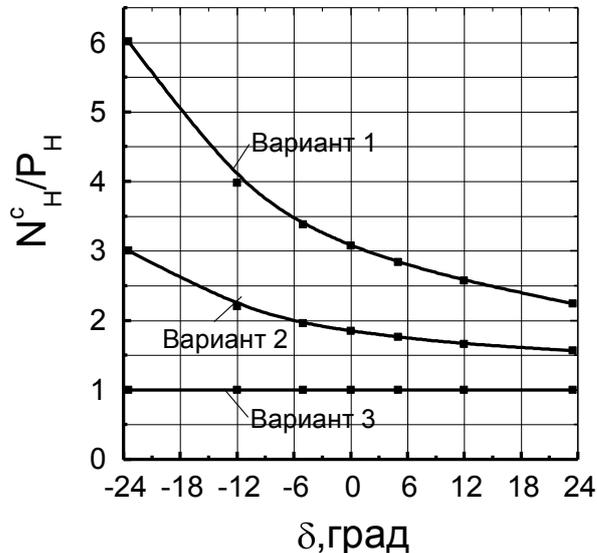


Рис.2. Отношение "номинальной" мощности СФЭУ $N_{Н}^C$ к максимальной мощности нагрузки $P_{Н}$.

На рис. 3 приведены энергии, которые необходимо запастись в АБ в долях от общих затрат энергии на нагрузке в зависимости от вариантов нагрузки. На основе этих данных могут быть определены емкость АБ и их количество, или,

учитывая, что, например, АБ допускает разрядку только на 1/3, то емкость батарей Q_{ah} в ач будет равна

$$Q_{ah} = 3 * Q_{AB} * 1000 / U \quad (2.14.)$$

где Q_{AB} – запасаемая в АБ энергия в кВтч, 1000 – коэффициент перевода кВт в Вт и U – напряжение на выходе одной АБ, обычно 12В.

Далее можно найти количество АБ n для СФЭУ

$$n = Q_{ah}^C / Q_{AB1} \quad (2.15.)$$

где Q_{AB1} – емкость одной АБ в ач.

и их стоимости

$$C^{AB} = n * C_1^{AB} \quad (2.16.)$$

где C_1^{AB} – стоимость одной АБ емкостью Q_{AB1}

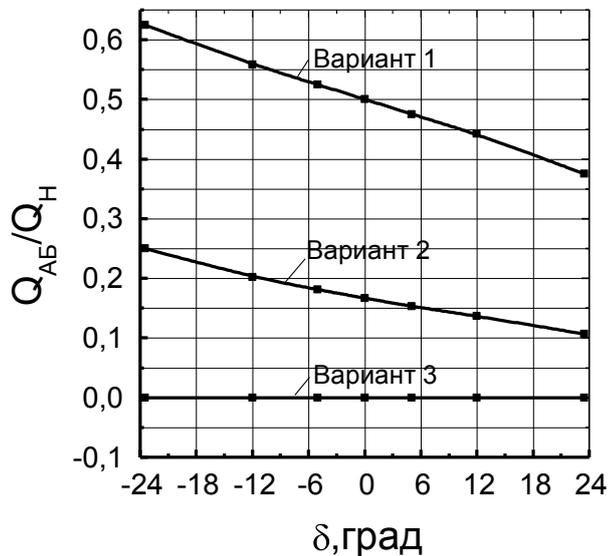


Рис.3. Энергия, которую необходимо запастись в АБ Q_{AB} в долях от общих затрат энергии на нагрузке Q_H .

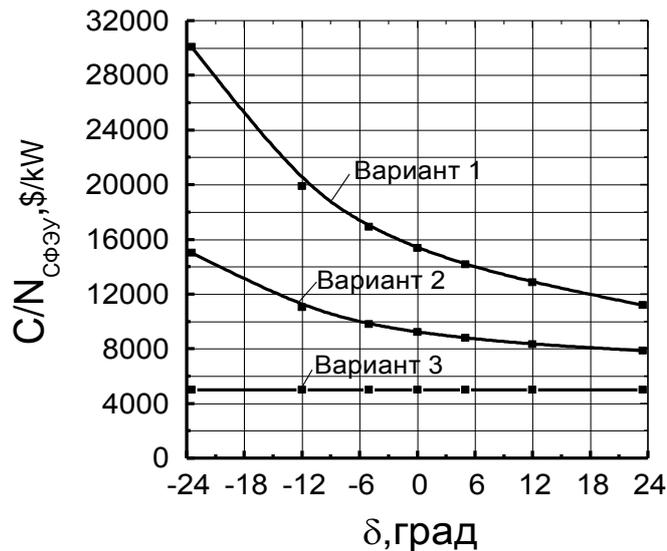


Рис.4. Стоимость мощности СФЭУ для потребителя при различных режимах нагрузки в зависимости от сезона года.

На приведены удельные стоимости мощности СФЭУ (при номинальной продажной стоимости мощности 5000дол/кВт), обеспечивающей заданные варианты нагрузок с $P_H = 1$ кВт. Как видно, для потребителя стоимость мощности существенно будет зависеть от режимов нагрузки. Так, только для наиболее идеального режима нагрузки (вариант 3) стоимость мощности для потребителя может совпадать с паспортной стоимостью мощности, для других вариантов и режимов нагрузки и сезона года она практически в 2-6 раз будет дороже.

В целом по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика расчета мощности СФЭУ в зависимости от режима нагрузки и сезона года, учитывающая переменность солнечной радиации, а также определять емкость АБ. На основе данной методики разработана программа расчета мощности СФЭУ.

2. Проведены исследования мощности СФЭУ для основных режимов нагрузки. Показано, что стоимость установленной мощности для потребителя в зависимости от режима нагрузки будет в 2-6 раз превышать продажную стоимость мощности СФЭУ.

2.2. Расчет инвертора

Существует две группы инверторов, которые различаются по стоимости примерно в 1,5 раза:

- Первая группа более дорогих инверторов обеспечивает синусоидальное выходное напряжение.
- Вторая группа обеспечивает выходное напряжение в виде упрощенного сигнала, заменяющего синусоиду.

Для подавляющего большинства бытовых приборов можно использовать упрощенный сигнал. Синусоида важна только для некоторых телекоммуникационных приборов. Характеристики инверторов серии DR фирмы “Trace Engineering” приведены в таблице 2.8. Отличительные особенности данной серии - это низкие цены и наличие всего ряда входного напряжения 12/24/48В.

Выбор инвертора производится исходя из пиковой мощности энергопотребления стандартного напряжения 220В/50Гц. Существует два режима работы инвертора. Первый режим – это режим длительной работы. Данный режим соответствует номинальной мощности инвертора. Второй режим – это режим перегрузки. В данном режиме большинство моделей инверторов в течении нескольких десятков минут (до 30) могут отдавать мощность в 1,5 раза больше, чем номинальная. В течении нескольких секунд большинство моделей инверторов могут отдавать мощность в 2,5-3,5 раза большую чем номинальная. Сильная кратковременная перегрузка возникает, например, при включении холодильника. Как правило, мощность инвертора примерно равна расчетной мощности ВЭУ. Ниже приведены характеристики и цены на инверторы Штиль табл. 2.9 и 2.10.

Инверторы серии DR с упрощенным выходным сигналом фирмы “Trace Engineering”.

Таблица 2.1.

Модель	DR1512E	DR1524E	DR2424E	DR1548E	DR2548E
Номинальная мощность, Вт	1500	1500	2400	1500	2500
Макс. АС ток при перегрузке, А	14	20	36	20	38
Максимальный КПД, %	94	94	95	94	95
Номинальное входное напряж., В	12	24	24	48	48
Диапазон входн. напряжения, В	10,8-15,5	21,6-31	21,6-31	43,2-62	43,2-62
Номинальный DC ток, А	165	80	140	40	70
Форма напряжения	Мод. sin	Мод. Sin	Мод. sin	Мод. sin	Мод. sin
Регулирование напряжения, %	+/-5	+/-5	+/-5	+/-5	+/-5
Регулирование частоты, %	+/-0,04	+/-0,04	+/-0,04	+/-0,04	+/-0,04
Выходное напряжение, В	230	230	230	230	230
Выходная частота	50	50	50	50	50
Макс. зарядный АС ток, А	70	35	70	17,5	35
Вес	16	18	21	18	21
Цена, \$	850	850	1150	850	1150

Инверторы фирмы "Штиль" с синусоидальной формой выходного напряжения.

Таблица 2.2.

Инверторы с выходной мощностью до 400 ВА.

Модель	Основные характеристики								Цена с НДС, у.е.		
	Р _{вых} , ВА	U _{вх} , В	U _{вых} , В	Частота выходного напряжения, Гц	КПД, %	Коэффициент гармоник, %	Габариты (ВхШхГ), мм	Масса нетто, кг	Розничная	-3%	-5%
<u>Штиль</u> <u>PS12/300</u>	300	10,2...14	220±5%	50±0,1	82	синус, <8%	80х 200х	2,5	175	169,8	166,3

<u>Штиль</u> <u>PS24/400</u>	400	20,4...28					270				
<u>Штиль</u> <u>PS48/400</u>		40,8...56			87						
<u>Штиль</u> <u>PS60/400</u>		51...69									

Инверторы специального назначения с выходной мощностью до 10 кВА.

Модель	Основные характеристики								Цена с НДС, у.е.		
	Выходная мощность, кВА	Диапазон входных напряжений, В	Диапазон выходных напряжений, В	Частота выходного напряжения, Гц	КПД, %	Коэффициент нелинейных искажений	Габариты (ВхШхГ), мм	Масса не более, кг	Розничная	-3%	-5%
<u>Штиль</u> <u>PS220/2000</u>	2	180...260	209...231	50±0,25	85...88%	синус, <3% (линейная нагрузка), <5% (нелинейная)	625x260x630	50	1320	1280	1254
<u>Штиль</u> <u>PS220/4000</u>	4						77	1560	1513	1482	
<u>Штиль</u> <u>PS220/5000</u>	5						-	-	-	-	
<u>Штиль</u> <u>PS100/5000</u>	5	80...125					70	-	-	-	
<u>Штиль</u> <u>PS220/6000</u>	6	180...260					700x390x750	85	-	-	-
<u>Штиль</u> <u>PS220/8000</u>	8						800x390x850	115	-	-	-
<u>Штиль</u> <u>PS220/10000</u>	10						155	-	-	-	

Инверторы с квазисинусоидальной формой выходного напряжения.

Инверторы с выходной мощностью до 300 ВА

• Таблица 2.3.

модель	Основные характеристики								Цена с НДС, у.е.		
	Выходная	Диапазон	Диапазон	Частота вы-	КПД	Форма выход-	Габариты (ВхШхГ),	Масса	Розничная	-3%	-5%

	мощность, ВА	входных напряжений, В	выходных напряжений, В	ходного напряжения, Гц		номинального напряжения	мм	не более, кг	ная		
<u>Штиль PS12/300К</u>	300	10,5...15	220±5%	50±0,25	80%	квази-синус	150x95x240	5,4	130	126	123,5
<u>Штиль PS24/300К</u>		21...30			85%						
<u>Штиль PS48/300К</u>		42...55									
<u>Штиль PS60/300К</u>		53...70									

Инверторы с выходной мощностью до 600 ВА.

Модель	Основные характеристики									Цена с НДС, у.е.		
	Выходная мощность, ВА	Диапазон входных напряжений, В	Диапазон выходных напряжений, В	Частота выходного напряжения, Гц	КПД	Форма выходного напряжения	Габариты (ВxШxГ), мм	Масса не более, кг	Розничная	-3%	-5%	
<u>Штиль PS12/600К</u>	600	10,5...15	220±5%	50±0,25	85%	квази-синус	160x200x310	12	-	-	-	
<u>Штиль PS24/600К</u>		21...30										

Можно видеть, что начиная с мощности более 0.6 кВт стоимость инверторов резко возрастает.

2.3. Расчет аккумуляторных батарей

Характеризуется как источник и потребитель электрического тока с очередной работой в режиме заряда-разряда. Основным показателем - номинальная емкость батареи (А-час), т.е. количество электричества, которое отдает полностью заряженная батарея. Необходимо иметь в виду, что чем слабее разрядный ток (А), тем больше электричества извлекается при полном разряде. То есть действует принцип: «Хорошего - понемногу, но подольше».

Другой показатель для заряженной батареи - напряжение на клеммах (В). Если номинальное напряжения первичного аккумулятора равно 2 В, то номинальное напряжение батареи равно числу последовательно соединенных элементов, умноженному на два. Следовательно, подключая разное число элементов можно получать требуемые ступени напряжений.

При понижении температуры электролита на 1 градус емкость батареи уменьшается примерно на 1 процент. Таким образом, емкость батареи при 25 градусах мороза наполовину меньше, чем при 25 градусах тепла. Указанную зависимость следует учитывать при выборе места хранения батареи.

Саморазряд аккумуляторной батареи возникает вследствие образования местных токов между окислами активной массы и решеткой пластин. Кроме того, при длительном хранении плотность электролита в нижних слоях становится больше, чем в верхних. Это приводит к появлению разности потенциалов и возникновению уравнивающих токов на поверхности пластин. Нормальный саморазряд исправной батареи составляет около 10% за 14 суток.

Период эксплуатации любых батарей не вечен, даже если соблюдать правила хранения и обслуживания. Но для любых типов батарей справедливо правило: чем меньше глубина и количество разрядных циклов, тем дольше жизнь батареи.

Свинцовые батареи. В автомобилях используются стартерные (тип СТ) свинцово-кислотные батареи. Такие батареи способны кратковременно отдавать ток большой величины за несколько секунд, что необходимо при пуске двигателя стартером. Их основной недостаток - не могут многократно

значительно разряжаться без потерь эксплуатационных свойств. Вряд ли какая-либо стартерная батарея выдержит больше 30 циклов, при которых емкость падает на 80%. Хотя нужно отметить, что качество импортных батарей постоянно совершенствуется. Их подключение имеет некоторый смысл, если не давать батарее сильно разряжаться.

Более надежны специально изготовленные батареи многократного цикла глубокого заряда-разряда (deep cycle). Они широко используются в электрокарах, в поездах, в авиации, в шахтах, на судах и электростанциях. Также небольшие по емкости батареи применяются в компьютерных источниках бесперебойного питания (UPS - Uninterruptible Power Supplies).

Свинцовые стационарные батареи СН предназначены для эксплуатации на постоянном месте или в условиях, исключающих перемещение. Основу батареи составляет двухвольтовый аккумулятор закрытого исполнения. Батареи различаются количеством элементов, емкостью и массой. На базе СН созданы аккумуляторы СНУ (усиленные) обладающие повышенной механической прочностью.

Стационарные аккумуляторы АБН применяют на железных дорогах для питания устройств автоблокировки, сигнализации, телемеханики и связи. Саморазряд батареи, отключенной от сети за 28 суток не должен превышать 28% (при температуре воздуха +25 градусов).

Авиационные батареи различаются по типу использования. Аэродромный тип АСА предназначен для наземного запуска двигателей и проверки оборудования. Бортовой тип АСАМ, САМ употребляется для автономного старта двигателей и агрегатов, при аварийных режимах в системе энергоснабжения.

Кроме того, выпускаются стационарные батареи открытого исполнения С, СК, СКЭ. Большинство из них не имеют крышек и поэтому требуют частой доливки воды и вентилируемых помещений. Гарантийный срок службы при соблюдении правил ухода 4 года, наработка 800-1000 циклов.

Щелочные батареи. В щелочных аккумуляторах электролитом служит

раствор щелочи, обычно гидроксида калия. Наиболее распространены щелочные никель-кадмиевые НК и никель - железные НЖ аккумуляторы (рис.2.2). Кроме того, в небольших масштабах выпускаются серебряно-цинковые и серебряно - кадмиевые аккумуляторы. Все батареи предназначены для многократного глубокого заряда-разряда.

Данный вид выпускается в ламельном исполнении, активная масса которых помещается внутри сменных перфорированных коробок (ламелей). Аккумуляторы помещаются в стальные никелированные сосуды. Применение полиэтиленовых сосудов позволяет поднять характеристики ламельных аккумуляторов (тип НЖЛ). Они имеют более высокую емкость и удельную энергию.

Напряжение аккумулятора зависит от режима разряда. Номинальное напряжение ячейки равно 1.15 В. Соединяя аккумуляторы различным образом можно получить батареи с требуемыми параметрами.

Наибольший объем щелочных аккумуляторов составляют тяговые никель-железные ТНЖШ, имеющие емкость 360-1150 Ачас. Они предназначены для электровозов, пассажирских железнодорожных вагонов и внутризаводского транспорта. В качестве электролита в них используется водный раствор гидроксида натрия (плотностью 1190-1210 кг/м³) с добавкой 20 г/л гидроксида лития.

Аккумуляторы предназначены для работы при температуре электролита от -20 до +45 С. Срок хранения ламельных никель-кадмиевых аккумуляторов 5 лет, никель-железных - 3.5 года. Нарботка при разряде-заряде составляет 1000 циклов.

Разрядная характеристика АБ.

Является зависимостью напряжения (В) на клеммах от тока разряда (А) во времени (мин-час). Естественно, чем сильнее ток из батареи, тем больше и быстрее падает напряжение. Если емкость батареи 40 А час, а номинальный режим разряда 20-часовой, то разрядный ток равен 2 амперам. Или наоборот - емкость 60 Ачас, номинальный ток 6 ампер, тогда время разряда 10 часов.

Любой аккумулятор обладает внутренним сопротивлением, которое зависит от ряда факторов. Как только в цепи появляется нагрузочный ток, напряже-

ние на клеммах снижается. Падение напряжение есть произведение тока разряда на внутреннее сопротивление. То же самое происходит при заряде, но с противоположным итогом - напряжение на клеммах увеличивается.



Рис.2.2. Общий вид щелочной аккумуляторной батареи.

Определение уровня заряда батареи.

Плотность электролита служит основным показателем разряда батареи. Вместе с тем, напряжение на клеммах также может быть ориентиром остаточной емкости. Трудность при измерении заключается в том, что на практике батарея постоянно находится под влиянием тока нагрузки и подзарядных устройств. Для точной оценки необходимо снимать показания напряжения, когда влияние подключенных устройств минимально,

Значение степени заряда свинцово – кислотной батареи.

Таблица 2.1.

Процент заряда	Напряжение, В	Плотность электролита
100	12.70	1.265
90	12,58	1,249
80	12,46	1,233

70	12,36	1,218
60	12,28	1,204
50	12,20	1,190
40	12,12	1,176
30	12,04	1,162
20	11,98	1,148
10	11,94	1,134
0	11,90	1,120

Для электролита с иной плотностью можно приблизительно допустить, что уменьшение плотности на 0.01 г /см³ соответствует разряду на 6%.

Об импортных батареях. Рост выработки электричества от солнечных панелей и ветровых турбин привел к появлению батарей, специально разработанных для альтернативной энергетики. Выпускаются как свинцово-кислотные (lead-acid), так и щелочные никель-кадмиевые (Ni-Cad), никель-железные (Ni-Fe) аккумуляторы.

Характеристики батарей непрерывно подвергаются модернизации, следуя правилу: больше энергии, меньше веса, дольше срок. В борьбе за рынок производители извещают о следующих возможностях: эксплуатация 10-15 лет, гарантия 3-5 лет, 1000-2000 циклов заряда-разряда. Наиболее известными компаниями в секторе альтернативной энергетики являются:

Используемые технологии и материалы позволяют иметь длительный жизненный цикл модулей.

Четыре отверстия в металлическом каркасе позволяют просто и надежно фиксировать модуль на опорном устройстве.

Каркасный солнечный модуль выполнен в виде панели, заключенной в каркас из анодированного алюминиевого профиля.

Панель представляет собой фотоэлектрический генератор, защищённый закалённым стеклом, между слоями

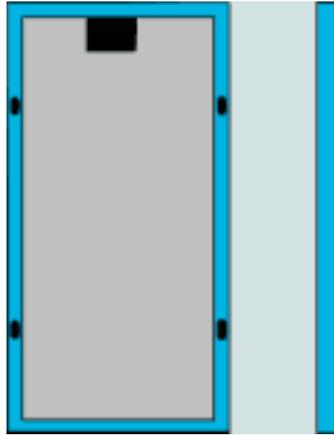


Рис.2.1 Общий вид модуля

герметизирующей пленки размещены солнечные элементы, электрически соединенные между собой металлическими шинами. С тыльной стороны панель защищена от внешних воздействий слоем защитной пленки.

К внутренней стороне корпуса модуля прикреплена контактная коробка с диодным блоком, предназначенная для подключения модуля в составе энергосистемы.

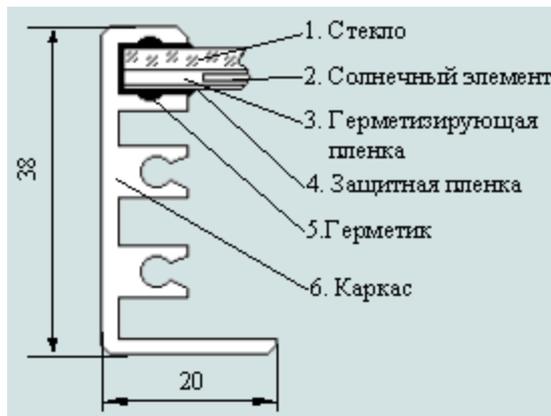


Рис.2.2. Конструкция модуля.

Влагостойкая соединительная коробка содержит два байпасных диода и контактные клеммы.

2.2. Ориентировочное определение площади фотоэлементов.

Исходя из возможного прихода солнечной энергии на 1 м^2 поверхности батареи

и графика нагрузки (см. табл.3) определяем ориентировочную площадь СБ – S для января месяца

$$S = \mathcal{E}_1 / (\mathcal{E}_c * \eta) = 24 / ((6.2/3.6) * 0.12) = 114.3\text{ м}^2$$

Из этой энергии $1/3$ используется в течение дня, остальная часть накапливается в АБ для работы в остальные 16 часов.

2.3. определение емкости АБ

Из 2.2. следует, что энергия в АБ составляет $\mathcal{E}_{\text{АБ}}$

$$\mathcal{E}_{\text{АБ}} = 24 - 8 = 16\text{ кВтч.}$$

При использовании аккумуляторов емкостью 30Ач с напряжением 12 В получаем.

Энергия в одной АБ равна

$$\mathcal{E}_{\text{АБ}} = 30\text{ Ач} * 12\text{ В} = 360\text{ Втч} = 0.36\text{ кВтч}$$

Отсюда следует, что число АБ n равно

$$n = 16 / 0.36 = 45$$

2. Расчет инвертора

Расчет (выбор) инвертора производится по мощности нагрузки, или выбираем инвертор мощностью 1кВт.

2.4. Расчет числа солнечных модулей.

Из табл. 4, считая, что реальное $E_c = 250\text{ Вт/м}^2$ выбираем модули типа БСР-60, которые при данной E_c имеют мощность 30Вт. Число модулей равно n_M

$$n_M = 3 / 0.015 = 200, \text{ а их габаритная площадь составит } 200 * 0.67 = 134\text{ м}^2$$

3 Конструкция установки.

Общая схема СФЭУ приведена на рис.2.



Рис.2.3. Схема СФЭУ: 1- Солнечные батареи, 2,3 – Контроллер; 4 – Аккумуляторные батареи; 5- Инвертор; 6 – нагрузки (постоянные и переменные).

Установка состоит из 5 блоков по 40 модулей (8*5), см. рис.4. Размер модуля 1*0.7м

$$\text{Габариты блока} - (5 * 1) * (8 * 0.7) = 5 * 5.6 \text{ м}^2 = 28 \text{ м}^2.$$

Наклон плоскости блока к горизонту 35° . Блоки монтируются на рамной конструкции (см. рис.5) из уголков №4, которая устанавливается на опорах из уголка 5.

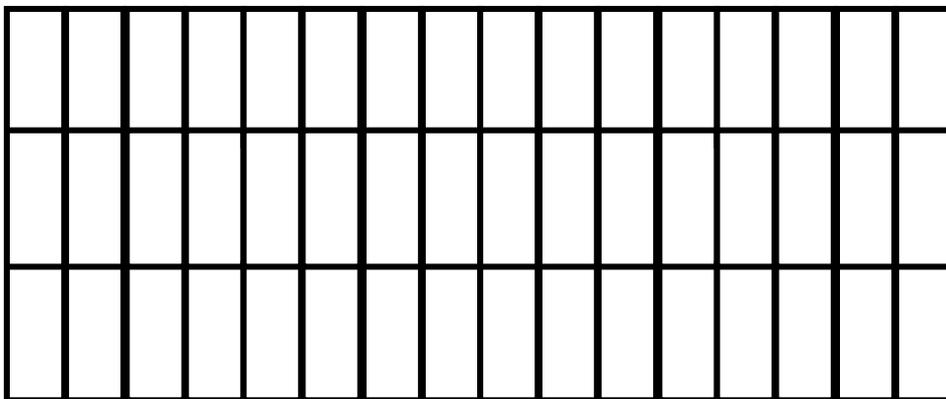


Рис2.4. Компоновка солнечного модуля (вид спереди).

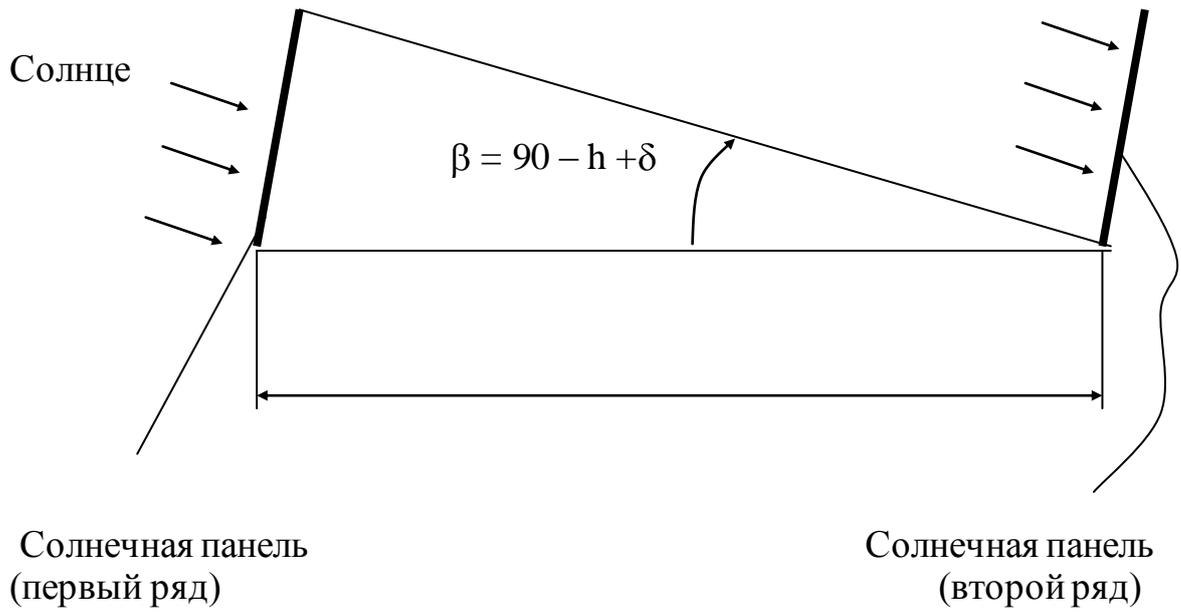


Рис. 2.5. Установка блоков (вид сбоку)

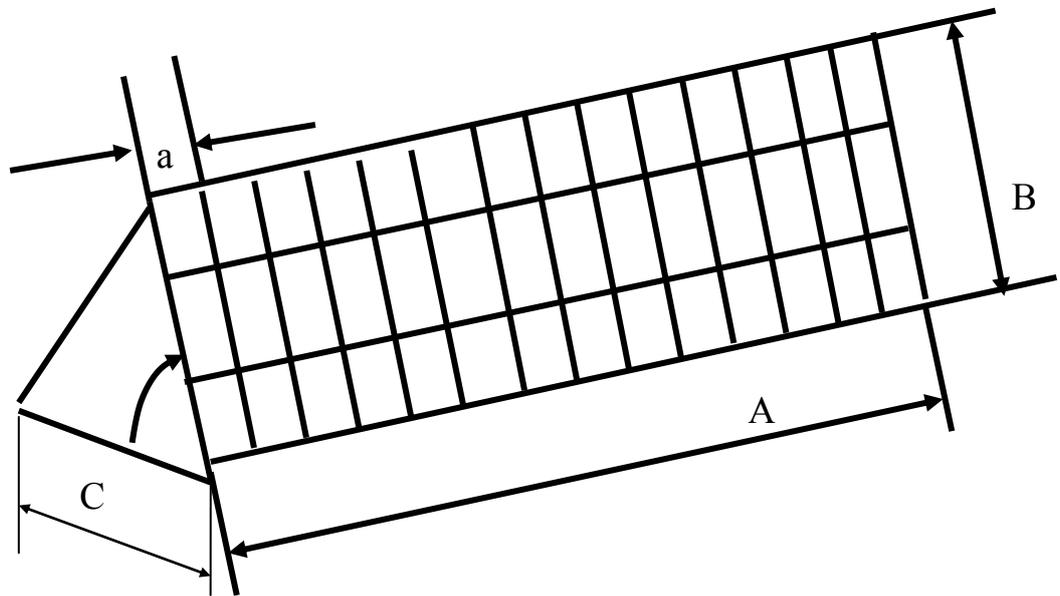


Рис.2.6. Конструктивные параметры опорной конструкции.

4.2. Вес установки

Вид конструкции блока приведен на рис.4. Общая длина уголков составляет 300м, или общая масса 705кг, а одного модуля 141кг.

6. Расчет фундамента.

Размеры фундамента – $h= 0.25\text{м}$, $a = 0.4\text{м}$, $B = 5\text{м}$.

Схема расчета нагрузок (ветровые и весовые, а также схемы проверки конструкции на прочность приведены на рис.6.

Определяем реакции и силы действующие на опору и фундамент. Так как эта система статически неопределима, то разрезают опору и заменяют её действие реакцией N . Составим теперь уравнения сил на осях X и Y и уравнение моментов относительно точки A .

$$- F + N \sin \alpha + R_{xA} = 0 \quad (2.1)$$

$$- P + N \cos \alpha + R_{yA} = 0 \quad (2.2)$$

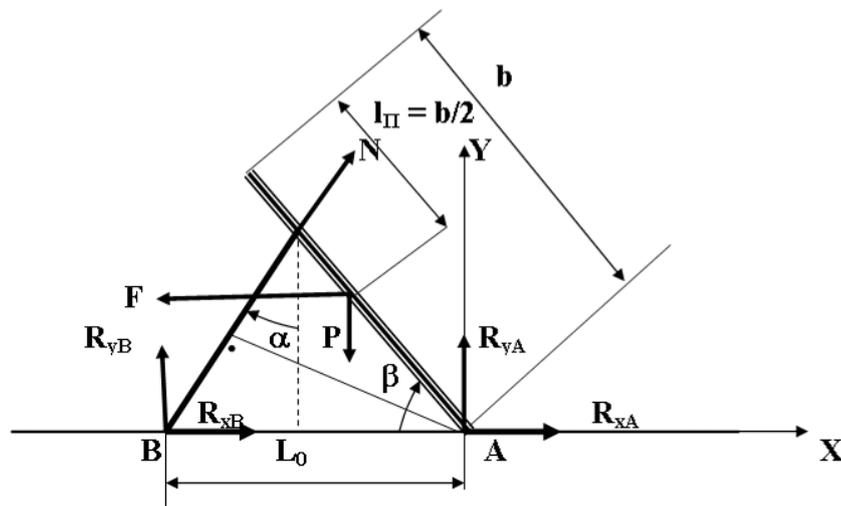


Рис.2.7. Схема расчета конструкции и фундамента на ветровые и весовые нагрузки.

$$F l_{II} \sin \beta + P l_{II} - N L_0 \cos \alpha = 0 \quad (2.3)$$

Из (3) находим реакцию N

$$N = (F l_{\pi} \sin\beta + P l_{\pi}) / L_0 \cos\alpha \quad (2.4)$$

И далее из (1) и (2) определяем реакции R_{xA} и R_{yA}

$$R_{xA} = F - N \sin\alpha \quad (2.5)$$

$$R_{yA} = P - N \cos\alpha \quad (2.6)$$

Расчет проводим для следующих исходных данных:

$$V = 25 \text{ м/с}, \quad \alpha = \beta = 45^\circ, \quad b = 2 \text{ м}, \quad L = 10 \text{ м}, \quad p_{\text{сэ}} = 10 \text{ кг/м}^2$$

Для этих данных получаем:

$$N = 4558 \text{ н}$$

$$R_{xA} = 1272 \text{ н}$$

$$R_{yA} = -1110 \text{ н}$$

$$R_{xB} = R_{yB} = 3998 \text{ н}.$$

Массу фундамента в точке А определяем по реакции R_{yA} или

$$m = R_{yA} = 111 \text{ кг}.$$

Если конструкция стоит на трех опорах, то масса фундамента под каждой опорой будет равна $m_0 = 111/3 = 37 \text{ кг}$.

масса фундаментов под опорой В будет меньше, но так как она мала для точки А, то выбираем их одинаковыми.

Расчет на прочность анкерных болтов.

Расчет на прочность проводим по максимальной реакции вдоль оси ОХ, это реакция $R_{xB} = 3998 \text{ н}$.

На срез болт рассчитывают по формуле

$$(\pi d^2/4) [\tau_{\text{ср}}] \geq P = R_{xB_0}$$

где R_{xB_0} – реакция (сила) действующая на одну опору, или

$$R_{xB_0} = R_{xB}/3 = 3998/3 = 1332 \text{ н} = 133,2 \text{ кг}$$

где d – диаметр болта, $\tau_{\text{ср}}$ – допускаемое напряжение на срез, часто принимают

$$\tau_{\text{ср}} = 0,25 \cdot \sigma_T, \quad \text{где } \sigma_T \text{ – предел текучести. Выбираем } \sigma_T = 30 \text{ кг/мм}^2$$

Откуда получаем $d = 4,75 \text{ мм}$, или принимаем $d = 5 \text{ мм}$.

ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРИМЕНЕНИЮ

3.1. Экономические характеристики СФЭУ

Теперь можем перейти к оценке стоимостных характеристик КЭУ. Удельную стоимость мощности 1кВт КЭУ будем определять, как обычно, в виде

$$C_W^K = (C^C + C^B + C^{САБ} + C^{БАБ}) / P \quad (3.1)$$

В литературе известны стоимости единицы мощности ВЭУ – C_W^B (для номинальной скорости ветра V_H) и СФЭУ – C_W^C (для номинальной солнечной радиации, обычно $E_H = 1000 \text{Вт/м}^2$). Т.е. при изменении V и E удельные стоимости мощности изменяются. В связи с этим представим эти величины в виде не зависящими от V и E . Такой величиной является стоимость 1м^2 этих установок для ВЭУ C_S^B и для СФЭУ C_S^C , определяемая для номинальных условий. Отметим, что для ВЭУ характерная площадь это площадь, ометаемая лопастями S^B и для СФЭУ это площадь солнечных батарей S^C , или в общем случае

$$C_S^B = C^B / S^B \quad \text{и} \quad C_S^C = C^C / S^C \quad (3.2)$$

Очевидно, что стоимость СФЭУ и ВЭУ при известных их номинальных мощностях N_H^C , N_H^B и известных стоимостях единицы мощности будет равна

$$C_W^C \quad \text{и} \quad C^B = N_H^B * C_W^B \quad (3.3)$$

Также можем записать известные выражения для мощности СФЭУ

$$N^C = E * S^C * \eta \quad (3.4)$$

Для ВЭУ зависимость мощности и КПД ротора k^B от скорости ветра V существенно сложна [5]. В связи с этим, учитывая экспериментальные данные её можно записать для трехлопастных роторов в виде

$$N^B = N_H^B * f_V \quad (3.5)$$

где N_H^B – номинальная мощность ВЭУ, равная

$$N_H^B = k^B * \rho * S^B * V_H^3 / (2 * 1000), \text{ [кВт]} \quad (3.6)$$

где ρ – плотность воздуха, и 1000 коэффициент перевода Вт в кВт; k^B – КПД ротора, для трехлопастных роторов k^B находится в диапазоне от 0.1 до 0.47; f_V – безразмерная функция, зависящая от типа ротора и для трехлопастных роторов в диапазоне $0 < V \leq V_H$ может быть представлена в виде (см. рис.2)

$$f_V = 0,67352(V/V_H) - 4,297(V/V_H)^2 + 10,561 (V/V_H)^3 - 5,936 (V/V_H)^4 \quad (3.7)$$

Подставляя (14-17) в (13) для $E = E_H$ и $V = V_H$ получаем "номинальные" стоимости 1 м^2 этих установок.

$$C_{SH}^C = C^C / S^C = C_W^C * E_H * \eta \quad (3.8)$$

$$C_{SH}^B = C^B / S^B = C_W^B * ps$$

здесь S^C, S^B – площади СФЭУ и ВЭУ для номинальных E_H и V_H (см. (14-16)); ps – коэффициент, равный $ps = (\rho * k^B * V_H^3 / 2000)$.

Фактически это отпускная цена 1 м^2 СФЭУ и ВЭУ и очевидно она уже не изменяется после покупки. Напомним, что $E_H = 1000 \text{ Вт/м}^2$, а для трехлопастных ВЭУ обычно $V_H = 8 \div 9 \text{ м/с}$. Например, при удельных стоимостях мощности СФЭУ $C_W^C = 5000 \text{ дол/кВт}$ и КПД $\eta = 0.14$ и $E_H = 1 \text{ кВт/м}^2$ получаем $C_{SH}^C = 700 \text{ дол/м}^2$, а для ВЭУ при $C_W^B = 1500 \text{ дол/кВт}$, $\rho = 1.225 \text{ кг/м}^3$, $k^B = 0.47$, $V_H = 8 \text{ м/с}$ $C_{SH}^B = 221 \text{ дол/м}^2$.

Таким образом, при заданных мощностях с изменением E и V стоимости СФЭУ и ВЭУ будут существенно изменяться, или

$$C^C = C_{SH}^C * S^C = C_{SH}^C * N^C / (E * \eta) \quad (3.9)$$

$$C^B = C_{SH}^B * S^B = C_{SH}^B * N^B / [ps * f(V, V_H)] \quad (3.10)$$

здесь мощности N^C, N^B – определяются из

3.2. Экологические аспекты применения СФЭУ

Эта модель как видно может быть полностью использована и для расчета только параметров СФЭУ (случай $P^B/P = 0$)

На рис.3.1 приведены удельные стоимости мощности СФЭУ (при номинальной продажной стоимости мощности 5000дол/кВт), обеспечивающей заданные варианты нагрузок с $P_H = 1$ кВт. Как видно, для потребителя стоимость мощности существенно будет зависеть от режимов нагрузки. Так, только для наиболее идеального режима нагрузки (вариант 3) стоимость мощности для потребителя может совпадать с паспортной стоимостью мощности, для других вариантов и режимов нагрузки и сезона года она практически в 2-6 раз будет дороже.

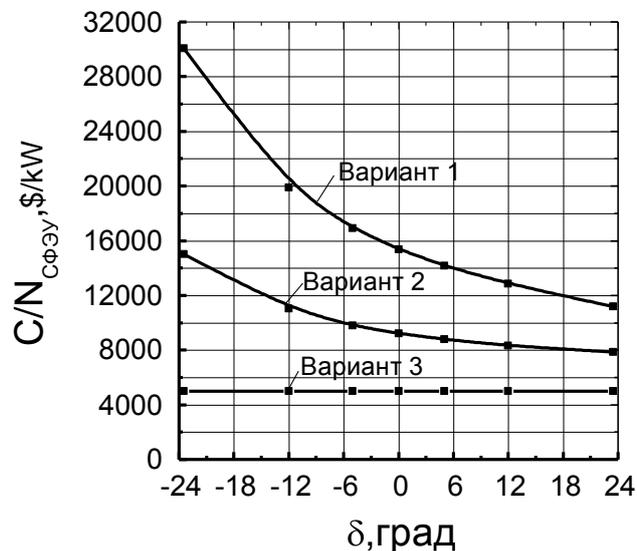


Рис.3.1. Стоимость мощности СФЭУ для потребителя при различных режимах нагрузки в зависимости от сезона года.

На рис. 3.2. приведена зависимость стоимостных характеристик СФЭУ мощностью 1 кВт при различных временах нагрузки : легкий режим - $\tau_H = 8\text{ч}$; средний режим - $\tau_H = 12\text{ч}$; тяжелый режим - $\tau_H = 8\text{ч}$;

В целом по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика расчета мощности СФЭУ в зависимости от режима нагрузки и сезона года, учитывающая переменность солнечной радиации, а также определять емкость АБ. На основе данной методики разработана программа расчета мощности СФЭУ.

2. Проведены исследования мощности СФЭУ для основных режимов нагрузки. Показано, что стоимость установленной мощности для потребителя в зависимости от режима нагрузки будет в 2-6 раз превышать продажную стоимость мощности СФЭУ

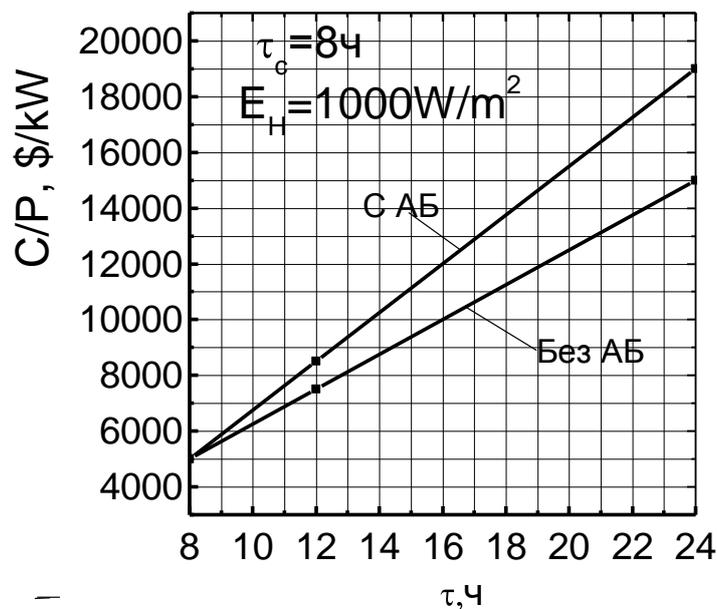


Рис. 3.2. Удельная стоимость мощности СФЭУ в зависимости от числа часов нагрузки.

3.3. Рекомендации к применению

Исходя из возможного прихода солнечной энергии на 1 м^2 поверхности батареи

и графика нагрузки (см. табл. 3) определяем ориентировочную площадь СБ – S для января месяца

$$S = \mathcal{E}_1 / (\mathcal{E}_c * \eta) = 24 / ((6.2/3.6) * 0.12) = 114.3\text{ м}^2$$

Из этой энергии $1/3$ используется в течение дня, остальная часть накапливается в АБ для работы в остальные 16 часов.

2.3. определение емкости АБ

Из 2.2. следует, что энергия в АБ составляет $\mathcal{E}_{\text{АБ}}$

$$\mathcal{E}_{\text{АБ}} = 24 - 8 = 16\text{ кВтч.}$$

При использовании аккумуляторов емкостью 30Ач с напряжением 12 В получаем.

Энергия в одной АБ равна

$$\mathcal{E}_{\text{АБ}} = 30\text{ Ач} * 12\text{ В} = 360\text{ Втч} = 0.36\text{ кВтч}$$

Отсюда следует, что число АБ n равно

$$n = 16 / 0.36 = 45$$

2. Расчет инвертора

Расчет (выбор) инвертора производится по мощности нагрузки, или выбираем инвертор мощностью 1кВт.

2.4. Расчет числа солнечных модулей.

Из табл. 4, считая, что реальное $E_c = 250\text{ Вт/м}^2$ выбираем модули типа БСР-60, которые при данной E_c имеют мощность 30Вт. Число модулей равно n_M

$$n_M = 3 / 0.015 = 200, \text{ а их габаритная площадь составит } 200 * 0.67 = 134\text{ м}^2$$

При понижении температуры электролита на 1 градус емкость батареи уменьшается примерно на 1 процент. Таким образом, емкость батареи при 25 градусах мороза наполовину меньше, чем при 25 градусах тепла. Указанную зависимость следует учитывать при выборе места хранения батареи.

Саморазряд аккумуляторной батареи возникает вследствие образования местных токов между окислами активной массы и решеткой пластин. Кроме того, при длительном хранении плотность электролита в нижних слоях становится больше, чем в верхних. Это приводит к появлению разности потенциалов и возникновению уравнивающих токов на поверхности пластин. Нормальный саморазряд исправной батареи составляет около 10% за 14 суток.

Период эксплуатации любых батарей не вечен, даже если соблюдать правила хранения и обслуживания. Но для любых типов батарей справедливо правило: чем меньше глубина и количество разрядных циклов, тем дольше жизнь батареи.

Выбор инвертора производится исходя из пиковой мощности энергопотребления стандартного напряжения 220В/50Гц. Существует два режима работы инвертора. Первый режим – это режим длительной работы. Данный режим соответствует номинальной мощности инвертора. Второй режим – это режим перегрузки. В данном режиме большинство моделей инверторов в течении нескольких десятков минут (до 30) могут отдавать мощность в 1,5 раза больше, чем номинальная. В течении нескольких секунд большинство моделей инверторов могут отдавать мощность в 2,5-3,5 раза большую чем номинальная. Сильная кратковременная перегрузка возникает, например, при включении холодильника. Как правило, мощность инвертора примерно равна расчетной мощности ВЭУ. Ниже приведены характеристики и цены на инверторы Штиль табл. 2.9 и 2.10.

6. Плотность падающего солнечного излучения – E_c ;
7. Расчетное изменение плотности солнечного излучения в течение дня – f_{ct}
(φ, τ, δ, k);
8. Зависимость поступления солнечного излучения от метеофакторов - f_{cm} ;

9. Угол падения солнечных лучей на приемно-концентрирующий элемент солнечной установки (для высокотемпературных солнечных установок это угол между оптической осью и солнечными лучами, для низкотемпературных солнечных установок это угол между нормалью к приемной поверхности и направлением солнечных лучей) – i ;

10. Расчетное число часов солнечного сияния в день - τ_c .

Показатель E_c или плотность солнечного излучения E_c включает прямую и диффузную составляющие, которые, в общем, зависят от различных факторов - ясности неба и характеристик окружающих зданий и сооружений.

Показатель 2 или $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ характеризует изменение плотности солнечного излучения в течение дня и года при ясном небе. И она зависит от широты места - φ , времени дня - τ , времени года, или склонения - δ и коэффициента поглощения солнечного излучения в атмосфере – k . Т.е. $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ включает не только известные параметры, но и случайную составляющую, которая входит в коэффициент поглощения k (влияние на k прозрачности атмосферы и в общем метеоусловий). Однако при этом зависимости E_c от времени существенно усложняются, поэтому желательно введение отдельного показателя f_{cm} , характеризующего метеофакторы, а в показателе $f_{ct}(\varphi, \tau, \delta, k)$ принимать для k его значение, характерное для данного района.

Показатель f_{cm} характеризующее изменение E_c от метеофакторов – облачность, пыль, является случайной величиной относительно некоторой плотности солнечного излучения в данном районе. За эту базовую величину можно брать либо солнечную постоянную у Земли, либо какое-то характерное значение падающего солнечного излучения E_c'' в данном районе, например расчетную солнечную радиацию в полдень для данного дня, месяца, сезона или года, или

$$E_c = E_c'' * f_{ct} * f_{cm}$$

где E_c'' - расчетная плотность солнечного излучения в полдень. В общем, в первом приближении, для ясного дня зависимость для E_c имеет вид

$$E_c'' = E_0 \exp(-k \cdot r_0 / \sin h)$$

где E_0 – солнечная постоянная у поверхности Земли (1335 Вт/м^2), r_0 – "толщина" атмосферы, h – Высота Солнца. Для полудня

$$E_c'' = E_0 \exp(-k \cdot r_0 / \sin h_0)$$

где h_0 – Высота Солнца в полдень, равная

$$h_0 = 90 - \varphi + \delta$$

В зависимости f_{cm} за базовую плотность солнечного излучения можно принимать E_c'' , однако в принципе это может быть любая другая характерная величина плотности солнечного излучения, например среднемесячная и т.д. Функция f_{cm} , как мы определили выше случайная функция, изменяющаяся в данном случае от 0 до 1 (но, может быть и больше 1, если за базовую величину берет средняя солнечная радиация за некоторый интервал времени).

Для солнечных фотоэлектрических установок влияние угла падения на плотность падающего солнечного потока, пропорционально $\cos i$, однако оно характеризует установку и должно учитываться в его характеристиках, или окончательно выражение (2.1) примет вид

$$E_c = E_c'' \cdot f_{ct} \cdot f_{cm}$$

Можно отметить, что с изменением угла падения изменяется и коэффициент отражения солнечных лучей от фотоэлемента и от поверхности защитного стекла солнечной батареи (формулы Френеля), что, в общем, для углов i больших 37° также необходимо учитывать.

Число часов солнечного сияния от полудня τ можно определить из формулы // при $h = 0$.

$$h = \arcsin(\cos \delta \cdot \cos(\omega_3 \cdot \tau) \cdot \cos \varphi + \sin \delta \cdot \sin \varphi) = 0$$

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены кристаллические, тонкопленочные полупроводниковые, органические материалы, из которых изготавливают солнечные элементы; устройство и физический принцип работы фотоэлементов и солнечных батарей. Приведены и проанализированы факторы, влияющие на эффективность и выходные характеристики солнечных батарей: интенсивность солнечного излучения и его спектральный состав, рабочая температура, ионизирующее излучение космического пространства, скорость ветра, влажность и давление воздуха, конструктивные особенности солнечных батарей.

Представлены модели, применяемые для имитирования солнечных батарей, рассмотрены их достоинства и недостатки. Исследованы методы и средства изучения полупроводниковых солнечных батарей малой мощности с учетом воздействия природных и аппаратных факторов. Показано полезность и целесообразность моделирования солнечных батарей для повышения эффективности их применения. Изучен алгоритм моделирования солнечных батарей из различных полупроводниковых материалов. В результате проведенных опытов с предложенным вариантом подключения солнечных преобразователей была подтверждена работоспособность разработанной схемы и полученные результаты имеют небольшое расхождение с расчетными данными. В свою очередь после ряда выполненных исследований рекомендую применение разработанной схемы подключения солнечных преобразователей как одного из множества вариантов решения проблемы по повышению производительности как солнечных батарей индивидуального пользования, так и солнечных электростанций в целом.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляторные батареи. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. / НИИАТ, - М., Транспорт, 1970
2. Андрианов В. Н. Электрические машины и аппараты. - М., Колос, 1971.
3. Атлас Ростовской области. /РГУ, Гл. упр. геодезии и картографии. - М.,1973.
4. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник/ А7Э7 Кравчик и др. - М., Энергоиздат, 1988.
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М., Высшая школа, 1977.
6. ГОСТ 12.1.013 - 78. ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.1.018 - 86. ССБТ Статическое электричество. Искробезопасность. Общие требования.
8. ГОСТ 12.1.019 - 79. ССБТ Электробезопасность. Общие требования.
9. ГОСТ 12.1.010 - 76. ССБТ Взрывобезопасность. Общие требования. (СТ СЭВ 3617 - 81)
- 10.ГОСТ 12.1.007 - 76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация. Общие требования безопасности.
- 11.ГОСТ 12.1.030 - 81. ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 12.ГОСТ 12.2. 007.1 - 75. ССБТ. Машины электрические вращающиеся. Требования безопасности.
- 13.ГОСТ 12.2. 007.7 - 75. ССБТ. Устройства управления комплектные на напряжение до 1000 В. Требования безопасности.

- 14.ГОСТ 12.2. 006 - 83. ССБТ. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Общие требования безопасности.
- 15.ГОСТ 12.2.007.11 - 83. ССБТ. Преобразователи энергии - статические силовые. Требования безопасности.
- 16.ГОСТ 12.2. 007.12 - 75. ССБТ. Источники тока химические. Требования безопасности.
- 17.ГОСТ 12.2. 007 - 75.ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- 18.Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии (Пер. с англ.). - М., Энергоатомиздат, 1990.
- 19.Драгилев В. А., Рязанцев Н. И. Строительство распределительных электросетей. Справочник электролинейщика. - Тула, Приокское книжное издательство, 1970.
- 20.Пилюгина В.В., Гурьянов В.А. Применение солнечной и ветровой энергии в сельском хозяйстве.Обзорная инф.-М.: ВАСХНИЛ, 1981.
- 21.Каганов И. Л. Курсовое и дипломное проектирование. - М., Колос, 1980.
- 22.Кажинский Б., Перли С. Ветроэлектростанции. - М., ДОСААФ, 1966.
- 23.Кораблев А. Д. Экономия энергоресурсов в сельском хозяйстве. - М., Агропромиздат, 1988.
- 24.Костенко М. П. Питровский Л. М. Электрические машины. Ч.1. Машины постоянного тока. Трансформаторы. - Л., Энергия, 1973.
- 25.Костенко М. П. Пиотровский Л. М. Электрические машины. Ч.2. Машины переменного тока. - Л., Энергия, 1973.
- 26.Машины электрические. Справочник. Т.2, Ч.1. - М., ВНИИ - стандартэлектро, 1991.
- 27.Машины электрические. Справочник. Т.2, Ч.2. - М., ВНИИ - стандартэлектро, 1991.

28. Низковольтные электрические аппараты. Справочник. Ч.1. Пускатели, контакторы. - М., ВНИИСтандартэлектро, 1991.
29. Низковольтные электрические аппараты. Справочник. Ч.2. Электрические реле. - М., ВНИИСтандартэлектро, 1991.
30. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). / Минэнерго СССР. - М., Энергоатомиздат, 1985.
31. ПРОНТО. Еженедельный информационный бюллетень товаров и услуг. - Ростов Н/Д, QWERTY, 1997.
32. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. - М., Сельэнергопроект, 1981.
33. Тлеулов А. Х. Методы оценки характеристик ветроэнергетических и гелиоустановок сельскохозяйственных объектов. Автор д. т. н., Челябинск, 1996.
34. Фатеев Е. М. Ветродвигатели и ветроустановки. - М., Сельхозгиз, 1957.
35. Д. Дэвинс. Энергия. - М.: Энергоатомиздат. 1985.
36. Шичков Л. П., Коломиец А. П. Электрооборудование и средства автоматизации сельскохозяйственной техники. - М., Колос, 1995.