

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Каршибаев Фуркат

**ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ЗДАНИЙ**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра по  
специальности: 5А310108 - «Теплоэнергетика»

Работа рассмотрена и  
допускается к защите.  
Зав. каф. «Теплоэнергетика»  
доц. Р. П. Бабаходжаев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Научный руководитель:  
проф. Р. А. Захидов

**ТАШКЕНТ 2014**

## Содержание

### ВВЕДЕНИЕ

<b>Глава 1. ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ</b> .....	5
1.1. Схемы фотоэлектрических систем для энергоснабжения зданий.....	5
1.2 Комбинированные схемы энергоснабжения фотоэлектрическими системами с тепловыми насосами.....	15
<b>ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КОМБИНАЦИИ С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ</b> .....	18
2.1 Оценка комбинированного использования тепловых насосов и солнечных установок для энергоснабжения жилых объектов.....	18
2.2 Внедрение при новом строительстве в системах отопления тепловых насосов. ....	26
<b>ГЛАВА 3 РАСЧЕТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ</b> .....	27
3.1 Расчет фотоэлектрической системы.....	29
3.2 Экономическое обоснование проекта гелиосистемы с фотоэлектрическими преобразователями.....	44
3.3 Расчёт инвертора.....	49
3.4. Устройство заряда-разряда аккумуляторных батарей.....	53
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	60
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы.

Изучение вопросов автономного энергоснабжения жилых зданий приобретает в условиях дефицита органического топлива и износа структуры большое значение как для устойчивого развития энергетики, так и социальной политике в республике.

Задача исследования схем и разработки методики расчета параметров фотоэлектрических систем приобрела в настоящее время особую важность в связи с проблемами энергосбережения, в частности с задачами уменьшения потерь энергии в жилых и производственных зданиях в электро- и теплосетях. Данная проблема касается также экономически целесообразного выбора оборудования солнечных фотоэлектрических систем.

В конечном счете, для теплоснабжения эта задача сводится к выбору фотоэлектрических систем для теплонасосных установок.

Как показывает анализ литературы, задача выбора оборудования фотоэлектрических систем как при проектировании зданий так и особенно при проектировании комбинированных солнечных теплонасосных установок решается в настоящее время с "запасом", т.е. параметры при таком подходе выбираются максимальными, что не может не сказаться на стоимости.

При этом должны учитываться динамика изменения температур и потоков солнечной инсоляции, которые для районов с континентальным климатом могут заметно изменяться в течение дня и суток. При этом время выхода фотоэлектрических элементов на устойчивые режимы может быть одного порядка с периодичностью поступления солнечного излучения.

### Цель диссертации.

Исследование и разработка методов расчета параметров элементов фотоэлектрических систем для энергоснабжения зданий с учетом возможности их работы в комбинированном режиме с теплонасосными установками, которая определяет устойчивость энергоснабжения жилых зданий, как индивидуального, так многоквартирных домов.

### Задачи.

1. Составление методики расчета фотоэлектрических систем для индивидуального дома с учетом его электрических нагрузок.
2. Определение экономической составляющей комбинированной установки, состоящей из фотоэлектрической системы и теплового насоса для энергоснабжения многоквартирных зданий.

### Практическая значимость.

Решение этих задач позволит использовать полученную методику для предварительного проектирования фотоэлектрических систем в энергоснабжении зданий.

Новизна.

Впервые для климатических условий республики рассматриваются вопросы экономической оценки фотоэлектрических систем в комбинации с тепловыми насосами для систем энергоснабжения зданий.

Предмет исследования.

Расчет фотоэлектрических систем энергоснабжения жилых зданий с учетом климатических факторов (наружной температуры, солнечной радиации).

Объект исследования.

Автономные системы энергоснабжения зданий.

## ГЛАВА 1

### ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

#### 1.1. Схемы фотоэлектрических систем для энергоснабжения зданий

Солнечные электростанции для зданий представляют собой системы, которые функционируют на базе солнечных модулей, вырабатывающих из солнечной энергии электрическую. Использование таких автономных систем актуально практически в любом месте в большей или меньшей степени. Автономные системы электропитания с каждым годом становятся все популярнее, так как даже малые системы являются экономически выгодным вложением средств.

Системы на базе солнечных модулей и аккумуляторных батарей используются там, где нет возможности получать электрическую энергию централизованно. Такие системы также накапливают энергию, поэтому электрическая энергия есть в любое время суток, даже ночью или в пасмурную погоду. Солнечные электростанции дают постоянный и переменный ток, для получения переменного в состав системы добавляют инвертор необходимой мощности.

Гибриды солнечных генераторов с прочими типами электростанций по праву считаются наиболее эффективными. В системе можно сочетать дизельные и солнечные генераторы, ветровые с солнечными или все три типа одновременно. С помощью таких устройств можно обеспечить потребности нескольких квартир или большого особняка.

Солнечная электростанция для зданий представлена в виде полноценной системы, которая состоит из трех основных элементов:

1. Солнечные модули. Они являются основой любой системы и выполняют основную функцию – ловят лучи солнца. Именно эти элементы создают электрическую энергию из солнечной. Существуют классификации солнечных модулей согласно строению фотоэлектрических модулей, конструктивным особенностям, мощности и типу функционирования. Также они могут быть стандартными или разработанными на заказ, учитывая индивидуальные чертежи, потребности здания и солнечную обстановку региона.

2. Аккумуляторы. Актуальность данного элемента объясняется тем, что мы не постоянно видим солнце на небосводе и прямой процесс преобразования можно реализовать не круглые сутки. Именно для решения этой проблемы в солнечной электростанции присутствуют аккумуляторы, которые накапливают энергию. В дальнейшем она используется для преобразования в переменный ток.

3. Инверторы. Этот элемент создан для преобразования постоянного тока в переменный, который так необходим для питания электрических приборов. Благодаря инвертору систему можно применять в бытовых целях, для активации работы электрических и осветительных приборов.

Фотоэлектрические панели не требуют обслуживания и рассчитаны на работу в течение 25 лет. Максимально допустимая механическая нагрузка фотоэлектрических панелей не должна превышать 250 кг/кв.м. Солнечные панели являются главной составляющей для построения фотоэлектрических систем. Собираются они из отдельных солнечных элементов, принцип работы которых построен на основе явления внутреннего фотоэффекта в полупроводниках, причем толщина полупроводника не превышает  $0,25 \div 0,35$  мм.

В фотоэлектрических панелях при преобразовании солнечной энергии в электрическую используется кремний с добавками других элементов, образующих структуру с p-n-переходом. Энергия может использоваться напрямую различными нагрузками постоянного тока, запасаться в аккумуляторных батареях для последующего использования или покрытия пиковой нагрузки, а также преобразовываться в переменный ток напряжением 220 Вольт для питания различной нагрузки переменного тока по ГОСТу. При использовании фотоэлектрических систем в качестве резервных систем питания для зданий с автономной системой обогрева, рекомендуется использовать качественные строительные и отделочные материалы в здании для уменьшения теплопотерь в здании и уменьшения нагрузки на автономную систему электропитания.

Можно выделить два типа фотоэлектрических систем: автономные системы и системы соединенные с электрической сетью. Последние отдают избыток электрической энергии в сеть, которая служит резервом в случае возникновения внутреннего дефицита электроэнергии. Например, если установить солнечные батареи, состоящих из двух фотоэлектрических панелей общей мощностью 100 ватт и аккумуляторной батареи на 100 ампер/часов, то такая система может вырабатывать достаточное количество энергии для освещения помещения, работы компьютера и охранной системы.

Таким образом солнечные батареи осуществляют практически автономное энергоснабжения здания, используя при этом только энергию солнца. В последнее время все чаще можно увидеть здания с подобными системами электрификации. Солнечные маломощные батареи позволяют не зависеть от центрального электроснабжения и полностью освобождают от платы за электроэнергию. Но прежде чем устанавливать солнечные батареи на здание с целью выработки электричества, необходимо рассчитать эффективность применения данного метода.

Фотоэлектрические панели генерируют электроэнергию не только при прямом солнечном освещении, но даже и в пасмурные дни. Отметим, что отделка фасада здания солнечными батареями не нарушает вентиляцию здания. С экономической и технической точки зрения очень выгодно использовать фотоэлектрические панели в отделке здания. Тем более, что система на базе солнечных батарей окупается в ближайшее время.

Сложно представить современное жилище без электробытовых приборов, систем кондиционирования, водоснабжения, отопления, канализации, электронных систем безопасности и т. д., создающих необходимый комфорт жизни за городом. Работа все этих систем напрямую связана с отсутствием

перебоев в электроснабжении. Однако все чаще загородные дома возводят в районах, удаленных от централизованного энергоснабжения. А если дом и подключен к центральной электросети, то и тогда он не застрахован от частых отключений электроэнергии, ее низкого качества, перегрузки сети, да и просто недостатка электроэнергии, которые являются достаточно распространенными явлениями на территории республики. Только постоянный и независимый источник энергоснабжения даст Вам гарантию полноценной и качественной жизни за городом, комфорта и спокойствия, так необходимых городскому жителю после суеты современных мегаполисов.

В каких случаях лучше генерировать собственную электроэнергию, а когда лучше подсоединиться к существующим централизованным сетям электроснабжения?

Генератор собственной электроэнергии от возобновляемых источников является единственно возможным решением, позволяющим получать требуемое количество электроэнергии вне зависимости от центрального электроснабжения, не нанося при этом вреда окружающей среде. Такое решение проблемы потребует определенных вложений средств и времени, что компенсируется независимостью и гарантией бесперебойной работы. Что касается рентабельности, по расчетам специалистов автономная система электроснабжения более экономически целесообразна для Вашего загородного дома, если суммарная мощность электрических нагрузок не превышает нескольких киловатт, а расстояние до места подключения к сетям централизованного электроснабжения несколько сотен метров, а также, если Ваша местность богата источниками возобновляемой энергии. Рентабельность солнечных систем тем выше, чем больше солнечных дней в данной местности, такой, например, как Крым либо высокогорные плато, расположенные выше зоны облачности. Оправдано применение солнечной электростанции в случаях необходимости обеспечения бесперебойного питания таких систем как компьютерная сеть либо охранная сигнализация. Затраты при подключении к сетям центрального электроснабжения складываются из собственно стоимости подключения, стоимости прокладки линии электропередач, варьирующуюся в пределах от 10 000 до 17 000 долларов США за 1 км, в зависимости от региона, а также счетов за потребляемую электроэнергию. Если заказчиков несколько, то стоимость подключения и строительства ЛЭП делится на число заказчиков, при самостоятельном же подключении затраты весьма значительны.

Автономная система электроснабжения позволяет не платить ни за подключение к сетям централизованного электроснабжения, ни за прокладку ЛЭП. Ваши затраты на электроснабжение дома уже не зависят от цен на электроэнергию, Вы можете производить электроэнергию по мере необходимости. Однако в этом случае Вам придется самостоятельно производить профилактическое обслуживание и необходимый ремонт Вашей автономной энергосистемы (это более относится к системам, содержащим дизель- или бензогенератор, как основной или резервный источник электроснабжения, поскольку фотоэлектрические батареи требуют минимум обслуживания). В настоящее время стоимость электроэнергии от сети меньше,

чем стоимость электроэнергии, получаемой от автономного источника возобновляемой энергии, такого, например, как Солнце. Однако, с каждым годом тарифы на сетевую электроэнергию растут, а стоимость электроэнергии от автономных систем уменьшается. К тому же есть надежда, что и в нашем государстве, как и в большинстве европейских стран, Японии и США будут приняты программы, поддерживающие «зеленые технологии».

Наиболее высокую стоимость из альтернативных источников энергии сейчас имеют солнечные модули и батареи (3-7 долларов за ватт). Однако, учитывая развитие физики полупроводников, микроэлектроники, прогресс налицо. Уже в ближайшие 3-5 лет цена солнечной электроэнергии снизится до 1 доллара за ватт, что сопоставимо со стоимостью энергии от ветряных электростанций, а прогноз на будущее еще более оптимистичен: солнечная энергия станет самым дешевым источником возобновляемой энергии. Солнечные модули и батареи - это самое перспективное направление развития энергетики, так как уже сейчас обладают высочайшей надежностью при сравнительной простоте сборки и эксплуатации. Выбор солнечных модулей для системы автономного электрообеспечения Вашего дома не вызовет затруднений, поскольку при аналогичных технических характеристиках ассортимент их достаточно разнообразен.

Один из самых новых небоскребов Манхэттена, 48-этажный «Conde Nast Building@Four Times Square», является также одним из самых экологичных. Его высота составляет 264 м, площадь – 150 тыс. м<sup>2</sup>. Офисное здание находится на углу Бродвея и 42-й улицы.

Здание спроектировано американскими архитекторами Робертом Фоксом (Robert Fox) и Брюсом Фоулом (Bruce C. Fowle), архитектурное бюро «Fox & Fowle Architects». Строительство здания было начато в 1996 году и закончено в январе 2000 года.

Использование энергосберегающих мероприятий потребовало более высоких инвестиций в строительство, но при этом обеспечило существенное снижение эксплуатационных расходов, уменьшение вредного воздействия на окружающую среду и улучшение качества микроклимата. По первоначальным оценкам, эксплуатационные расходы в этом здании на 15–20 % ниже, чем в подобных зданиях, построенных без использования энергосберегающих мероприятий. Период окупаемости энергосберегающих мероприятий оценивается в 6–10 лет. Общая стоимость строительства составила \$270 млн.

Основные энергоэффективные мероприятия, использованные при строительстве здания

1. Собственная электростанция на топливных элементах для электроснабжения, побочный продукт химической реакции (горячая вода) используется для теплоснабжения и горячего водоснабжения
2. Использование фотоэлектричества для электроснабжения.
3. Абсорбционные чиллеры/нагреватели с прямым использованием природного газа (direct-fired absorption chiller/heaters).
4. Использование главным образом естественного освещения.
5. Окна с повышенными тепло- и солнцезащитными характеристиками.

6. Ограждающие конструкции с сопротивлением теплопередаче  $3,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

7. Автоматическое управление освещением с датчиками, регистрирующими наличие людей в подсобных помещениях и на лестничных клетках.

8. Осветительные приборы с малым энергопотреблением и световые указатели на светодиодах.

9. Насосы и вентиляторы с регулируемым электроприводом.

Кроме энергосбережения, большое внимание уделялось повышению качества микроклимата за счет увеличения воздухообмена и применения нетоксичных материалов.

Проектировщики используют системный подход, рассматривая здание как единую систему (whole-building approach).

Для выбора оптимальных характеристик наружных ограждающих конструкций и параметров системы климатизации использовалось математическое моделирование при помощи программного пакета «DOE-2.1», разработанного Американским министерством энергетики (Department of Energy, DOE). Программный пакет «DOE-2.1» позволяет моделировать почасовое потребление энергии зданием с учетом условий наружного климата и сравнивать различные способы достижения энергоэффективности.

Первоначальный замысел предусматривал выбор формы здания, позволяющей оптимальным образом использовать теплоступления с солнечной радиацией, однако в связи с ограниченными размерами участка, отведенного под строительство, от этого замысла пришлось отказаться.

Наиболее интересным элементом здания является его система энергоснабжения.

Здание использует три вида энергии:

- электрическую энергию от городской электросети;
- природный газ для тепло- и холодоснабжения здания, а также для получения электрической энергии, тепла и воды в специальных электрохимических генераторах – топливных элементах;
- солнечную радиацию для получения электрической энергии в фотоэлектрических панелях (солнечных батареях), которыми облицованы верхние этажи здания.

Производство энергии на месте позволяет снизить потери при транспортировке.

Встроенные в здание фотоэлектрические панели позволяют снизить потребности здания в электроэнергии. Пиковая мощность фотоэлектрических панелей достигает 15 кВт. Фотоэлектрические панели расположены на верхних 19 этажах здания с южной и восточной сторон (рис. 1.1). Тонкопленочные фотоэлектрические элементы были наклеены на листы закаленного стекла и интегрированы в фасад между рядами окон в виде полос шириной 150 см. Панели, интегрированные в ограждающие конструкции, увеличивают теплозащитные характеристики ограждений.

В системе климатизации здания механическая система вентиляции обеспечивает помещения наружным воздухом. Воздухозаборные устройства

располагаются на высоте 24 и 213 м над уровнем земли. Система вентиляции – с переменным расходом приточного воздуха (VAV). Расход приточного воздуха составляет  $3,66 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ . По требованию арендаторов можно обеспечить дополнительную вентиляцию  $0,9 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ . Воздухообмен в помещениях на 50 % выше, чем требуется по американским нормам.

Газовый состав наружного воздуха, поступающего в здание, контролируется при помощи газоанализаторов, установленных в приточных устройствах. Через заданные промежутки времени в наружном воздухе оценивается концентрация диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ , углекислого газа) и оксида углерода ( $\text{CO}$ , угарного газа).

Система подачи воздуха в помещения – через воздухораспределители, установленные в полу, и с прокладкой воздуховодов под фальшполом обслуживаемого помещения. Там же, под фальшполом, прокладываются электрические коммуникации.

Помещения со сходными требованиями к параметрам микроклимата и освещенности объединены в группы, что позволяет точнее и эффективнее регулировать эти параметры, а также уменьшить суммарную длину системы воздуховодов. На каждом этаже уровень вентиляции может устанавливаться индивидуально.

Получение холодной и горячей воды для охлаждения и отопления здания обеспечивается абсорбционными чиллерами/нагревателями с прямым использованием природного газа (direct-fired natural-gas absorption chiller/heaters). В отличие от компрессорных установок кондиционирования воздуха, работающих на электрической энергии, в данных установках в качестве источника энергии используется относительно дешевый природный газ. Кроме снижения затрат на тепло- и холодоснабжение, использование природного газа позволяет снизить загрязнение воздушной среды, поскольку в установках этого типа не применяются озоноразрушающие соединения (CFC и HCFC). Проектировщики называют эти установки «экологически эффективными» («environmentally efficient»).

Четыре таких установки располагаются на 48 этаже (рис. 1.1). Каждая установка состоит из абсорбера, генератора, насоса и рекуперативного теплообменника. Установки имеют разную мощность, что позволяет использовать их в различных комбинациях для наилучшего удовлетворения потребностей здания. Установка оборудования теплоснабжения непосредственно в здании позволила снизить потери, связанные с транспортировкой энергии.

Установка такого оборудования потребовала более высоких капитальных затрат, однако эксплуатационные расходы значительно снизились. Период окупаемости этих установок составляет 3 года.

Для управления всем оборудованием климатизации используется компьютерная система (DDC – Direct Digital Control).



**Рисунок 1.1** Верхние этажи здания с интегрированными фотоэлектрическими панелями (источник [www.wirednewyork.com](http://www.wirednewyork.com))



**Рис. 1.2.** Автономная система электроснабжения на солнечных батареях с низковольтной сетью для освещения

*Освещение и окна* Для снижения затрат энергии и создания лучшего психологического комфорта в здании широко использовалось естественное освещение рабочих мест. Для этого применялись окна большой площади, высота которых составляет 2,1 м при высоте помещений 2,7 м. Однако при большой площади остекления необходимо было решить проблемы, связанные со значительными теплопоступлениями от солнечной радиации, которые увеличивают нагрузку на систему климатизации здания в летнее время, а также со значительными теплопотерями через остекление в зимнее время. Для решения этих проблем проектировщиками было использовано стекло с повышенными тепло- и солнцезащитными характеристиками, позволяющее снизить теплопотери и теплопоступления от солнечной радиации, но хорошо пропускающее свет видимого диапазона. Сопротивление теплопередаче окон составляет  $0,59 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  при коэффициенте затенения 0,30 и коэффициенте светопропускания 0,40.

Помещения, расположенные вдоль наружного периметра здания, не препятствуют естественной освещенности внутреннего пространства. Всего на каждом этаже естественным образом может быть освещено до 25 % площадей.

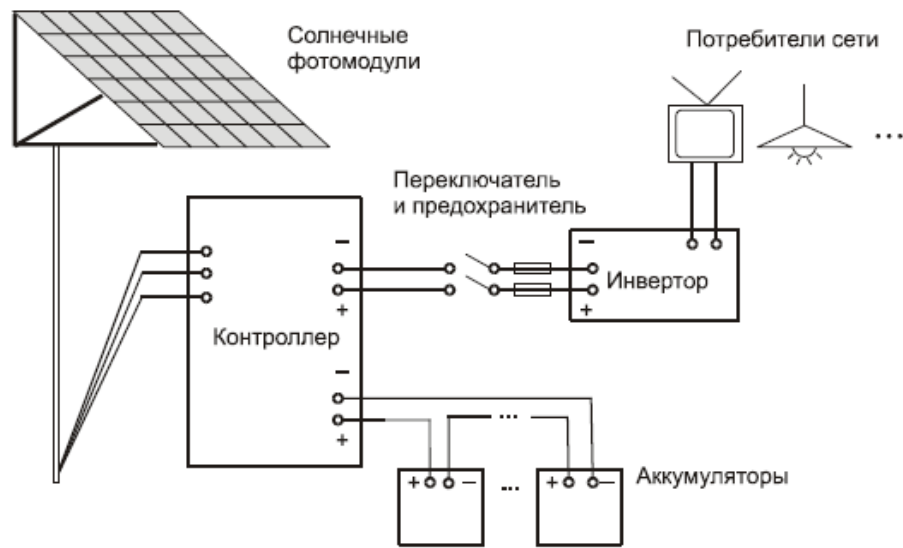
Внутренние помещения здания окрашивались преимущественно в светлые цвета, что также позволило улучшить естественную освещенность рабочих мест за счет отражения света.

Для уменьшения расхода энергии осветительными приборами проектировщики использовали ряд решений, повышающих эффективность освещения. Эти решения включали установку высокоэффективных люминесцентных осветительных приборов с малым энергопотреблением и централизованным управлением, применение световых указателей на светодиодах (LED), а также включение освещения в местах временного пребывания людей (например, на лестничных клетках) только при их присутствии. Для определения наличия людей в этих зонах используются датчики движения (motion sensing).

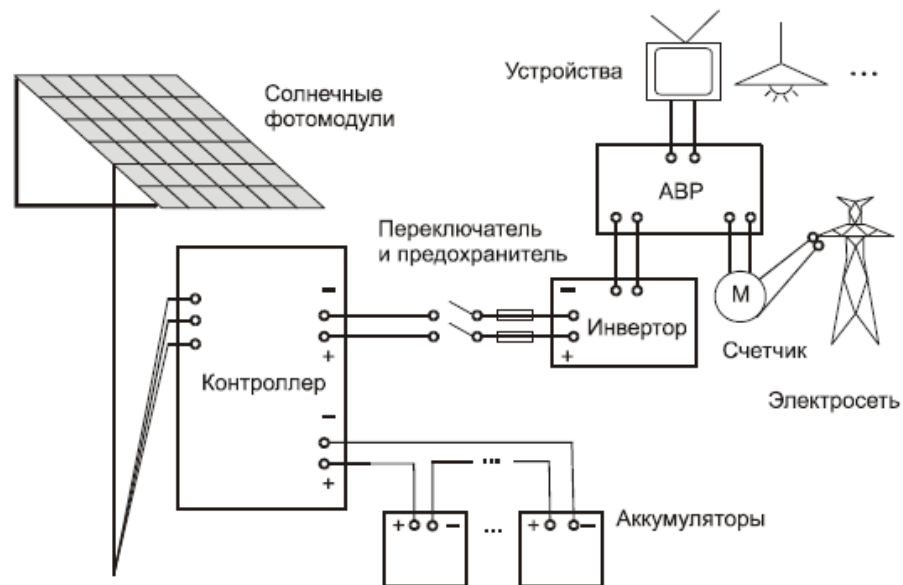
При создании системы электроснабжения на солнечных батареях для загородного дома, как и в случае с ветроэнергетическими установками, возможны различные варианты. Одна схема автономного электроснабжения может быть построена с наличием низковольтной сети постоянного тока с напряжением 12 В для освещения (рис. 1.2). При этом загородный дом оборудуется для освещения энергосберегающими лампами 12 В, а для питания бытовой техники на 220 В используется инвертор, подключенный к аккумулятору. Цена энергосберегающих ламп ELS NAPS мощностью 5 Вт на напряжение 12 В (рис. 1.3) составляет 20 \$ [27].

Обычно такие системы применяются, если максимальное расстояние от аккумулятора до самой дальней подключенной нагрузки не превышает 10–15 м, а ее мощность не более 100 Вт. При этом нужно следить за тем, чтобы падение напряжения при всех включенных потребителях в самой дальней точке было в пределах допустимого (обычно не более 10 %).

Дальнейшее развитие схемы – введение в нее контроллера и отказ от низковольтной сети освещения – иллюстрирует рис. 1.4.



**Рис. 1.3.** Автономное обеспечение электроэнергией загородного дома от солнечных модулей и аккумуляторов



**Рис. 1.4.** Автономное обеспечение загородного дома от солнечных модулей с возможностью переключения на центральную электрическую сеть

Контроллер заряда служит для предохранения аккумуляторов от избыточной подзарядки солнечной батареей, а также от избыточной разрядки в ходе ее использования. Так как все это отрицательно влияет на функциональность и сокращает срок службы оборудования. При такой схеме производимая электроэнергия аккумулируется в батареях и расходуется затем в темное время суток или в период слабой инсоляции

Система данного типа требует, чтобы фотоэлектрическое поле имело размеры, обеспечивающие в период нормальной инсоляции как непосредственно нагрузку рабочего электрического контура, так и подзарядку аккумуляторных батарей.

Если загородный дом подключен к сети централизованного электроснабжения, то желательно выбрать систему электроснабжения с фотоэлектрической установкой в качестве резерва (рис. 1.4). При отключении сети или недостаточном сетевом напряжении включается фотоэлектрическая установка. Малые резервные фотоэлектрические установки служат для электроснабжения наиболее важной нагрузки: освещение, компьютер и средства связи. Более крупные системы могут также снабжать энергией, например, холодильник. Чем больше мощность, необходимая для питания ответственной нагрузки, и чем дольше периоды отключения сети, тем большая мощность фотоэлектрической системы необходима.

Устройство автоматического ввода резерва (АВР) позволяет переключить питание объекта при отсутствии солнечной энергии и полном разряде аккумуляторов на электросеть. Эта же схема может функционировать и наоборот: солнечный модуль служит резервным источником питания. В этом случае АВР переключается на аккумуляторные батареи при потере питания от электросети.

Количество вырабатываемой генератором электроэнергии зависит от целого ряда факторов, в частности угла наклона и ориентации установки. Критерием ориентации генератора является азимут.

Угол наклона – это угол между горизонталью и батареей. При установке на скатной крыше угол наклона задается скатом кровли. Наибольшее количество энергии воспринимается панелью батареи при расположении ее плоскости под прямым углом к направлению солнечных лучей. Поскольку угол падения света зависит от времени суток и года, ориентацию плоскости батареи следует выполнять в соответствии с высотой Солнца в период поступления наибольшего количества солнечной энергии.

Азимут описывает отклонение плоскости солнечной батареи от направления на юг; если плоскость батареи ориентирована на юг, то азимут равен нулю.

Устанавливать солнечную батарею и определять ее размеры нужно так, чтобы воздействие дающих тень соседних зданий, деревьев, линий электропередачи и т. п. было незначительным.

## **1.2. Комбинированные схемы энергоснабжения фотоэлектрическими системами с тепловыми насосами.**

Система геотермального теплоснабжения включает гелиоустановки для обеспечения горячего водоснабжения в летний период, когда геотермальные скважины не работают, накапливая гидропотенциал. Кроме того, в технологической схеме используется тепловой насос и фотоэлектрические модули.

Структурная схема системы геотермального теплоснабжения показана на рис. 1.5. В нее входят:

- две геотермальные скважины (3Т, 4Т) с общим расчетным дебитом 1 718,4 м<sup>3</sup>/сут. с повысительными насосами и баками;
- магистральные тепловые сети от скважин до ЦТП (Ду = 150 мм) общей протяженностью 1,6 км;
- центральный тепловой пункт тепловой мощностью 5,28 МВт с теплообменным и насосным оборудованием;
- гелиотеплонасосная установка производительностью 8–20 м<sup>3</sup>/сут. при температуре ГВС 55 °С;
- распределительные тепловые сети диаметром 32–150 мм общей протяженностью 12 км;
- сливной трубопровод обработанной геотермальной воды Ду = 200 мм, длиной 0,465 км;
- насосная станция аварийного расхолаживания;
- сети электроснабжения 10–0,4 кВ;
- трансформаторная подстанция 150 кВт;
- АСУ системы геотермального теплоснабжения.

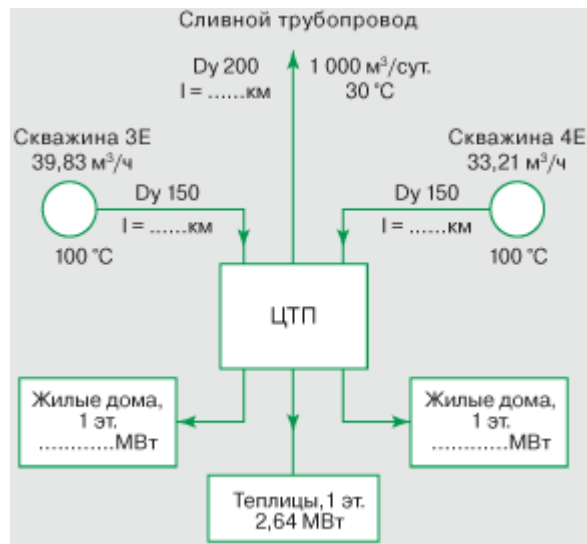


Рисунок 1.5 Структурная схема геотермального теплоснабжения

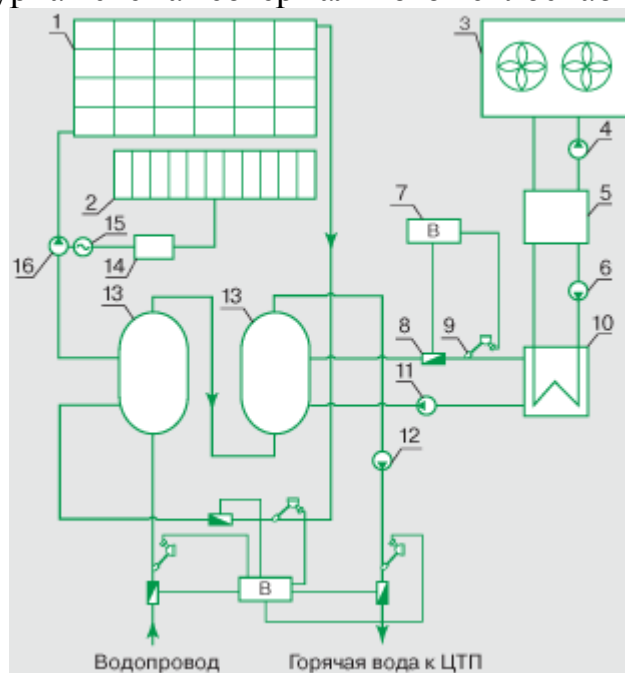


Рисунок 1.6 Схема гелиотеплонасосной установки

- 1 – солнечные коллекторы
- 2 – фотоэлектрические преобразователи (ФЭП)
- 3 – драйкулеры
- 4 – насос контура ТН
- 5 – тепловой насос (ТН)
- 6 – насос ТН-теплообменник
- 7 – тепловычислитель
- 8 – расходомер
- 9 – термодатчик
- 10 – теплообменник ТН
- 11 – насос контура теплообменника
- 12 – насос ГВС
- 13 – бак-аккумулятор
- 14 – инвертор ФЭП
- 15 – электродвигатель; 16 – насос гелиоконтура

Особенностью геотермальных скважин является снижение давления на устье до 3 м вод. ст. в отдельные дни отопительного сезона. Предусмотрены насосы с частотно-регулируемым приводом, баки разрыва струи, приборы учета тепловой энергии. Конструкция скважинного сборно-разборного павильона позволяет производить капитальный ремонт скважины.

Центральный геотермальный тепловой пункт запроектирован в центре тепловых нагрузок. Подключение системы теплоснабжения к геотермальным скважинам выполнено по независимой схеме. Расчетные температурные графики потребителей поселка 90–60 °С определяются существующими системами отопления. Система теплоснабжения поселка двухтрубная с открытым водоразбором на горячее водоснабжение. Геотермальная вода после нагрева теплоносителя системы теплоснабжения поселка поступает в теплообменники теплиц, работающих с расчетным температурным графиком 60–30 °С. Охлажденный геотермальный теплоноситель сбрасывается в существующий пруд.

Предусмотрена насосная станция аварийного расхолаживания. В здании ЦТП помимо технологического оборудования предусмотрены помещения для демонстрационного центра технологий использования ВИЭ.

Предусматривается сброс обработанной геотермальной воды в пруд, а на втором – ее обратная закачка. Для восстановления внутрипластового давления месторождения в летнее время запроектирована гелиоустановка для горячего водоснабжения с тепловыми насосами «воздух-вода» для нагрева воды при пасмурной погоде. На рис. 1.6 представлена схема данной гелиотеплонасосной установки с фотоэлектрическим приводом насосов. Солнечные коллекторы расположены на навесе на высоте 3,5–4,2 м над землей. Для электроснабжения циркуляционных насосов гелиоустановки запроектированы фотоэлектрические преобразователи установленной мощностью 1 кВт.

При работе над этим проектом решаются следующие основные задачи:

- надежное обеспечение теплоснабжения объектов в условиях переменного дебита скважин;
- каскадное срабатывание теплового потенциала геотермального теплоносителя последовательно в системах отопления жилых домов и далее в теплицах;
- восстановление давлений скважин в межотопительный период за счет работы на горячее водоснабжение гелиотеплонасосной установки;
- устойчивое горячее водоснабжение в межотопительный период от комбинированной солнечной водонагревательной установки с тепловыми насосами, использующими тепло воздуха;
- выделение отдельных контуров теплоснабжения объектов по этажности и назначению (теплицы).

## ГЛАВА 2

### АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КОМБИНАЦИИ С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

#### **2.1 Оценка комбинированного использования тепловых насосов и солнечных установок для энергоснабжения жилых объектов.**

Одним из эффективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является использование возобновляемых источников энергии, и в первую очередь солнечной энергии, аккумулированной посредством солнечных коллекторов в баке-аккумуляторе. Однако периодичность действия и низкий температурный потенциал этих источников не позволяет использовать их энергию для отопления и кондиционирования зданий непосредственно без преобразований. Теплонасосные системы теплоснабжения позволяют повысить температурный потенциал солнечной системы и скомпенсировать несовпадение по времени их максимальной энергоемкости и пика теплопотребления. Независимо от типа теплового насоса и типа привода компрессора на единицу затраченного исходного топлива потребитель получает в 1,1-2,3 раза больше тепла, чем при прямом сжигании топлива. Такая высокая эффективность его производства достигается тем, что тепловой насос вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло от солнечной энергии в жилых зданиях с температурой от +3 до 40<sup>0</sup>С, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения.

В настоящее время в мире работает более 20 млн. тепловых насосов различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт [1]. В США более 30% жилых домов оборудованы тепловыми насосами. В Швеции действует крупная установка в г.Стокгольме мощностью 320 МВт, работающая на принципе отбора тепла воды поступающей из Балтийского моря, в том числе и зимой охлаждая морскую воду с температурой 4<sup>0</sup>С, охлаждая её до 2<sup>0</sup>С. Себестоимость тепла от этой установки на 20% ниже себестоимости тепла, получаемой от газовой котельной. Общее количество тепла, вырабатываемого теплонасосными установками в Швеции составляет около 50% необходимого для потребления. В Японии предпринимают значительные усилия для развития теплонасосного теплоснабжения, там ежегодно продается 3 млн. тепловых насосов против 1 млн. в США. В Швейцарии для реализации национальной программы энергоснабжения, предусматривающей в ближайшее время тройное увеличение до 2250 ГВтч производства тепла тепловыми насосами инвесторам выделяются значительные дотации. В Германии предоставляется самая крупная из развитых стран государственная дотация – на 1 кВт тепловой мощности запущенного в эксплуатацию теплового насоса выплачивается 300 евро. И это при том, что по производству экономичных индивидуальных котлов на жидком или газообразном топливе для централизованного и

индивидуального теплоснабжения Германия занимает одно из первых мест в мире.

Представляет интерес выполнение энергоснабжения зданий на основе комбинированного применения фотоэлектрических батарей, солнечных тепловых коллекторов и тепловых насосов.

На рис.1 показана схема системы теплоснабжения с тепловым насосом. Когда температура в аккумуляторе приближается к комнатной, регулирование температуры за счет тепла в баке в обычных системах становится невозможным. В этих условиях можно запустить холодильный компрессор для перекачки тепла из аккумулятора в теплообменник на линии подачи воды в помещение посредством пневматического выключателя на выходе регулятора температуры воды. Когда температура в аккумуляторе начинает опускаться ниже температуры в теплообменнике, дифференциальный термовыключатель прекращает циркуляцию через бак.

В аккумуляторах систем солнечного отопления температура воды в течение дня может повыситься до  $60^{\circ}\text{C}$ . В результате отвода тепла из аккумулятора в течение ночи эта температура может упасть до  $37,8^{\circ}\text{C}$  в зависимости от погодных условий, размеров бака-аккумулятора, температуры в помещении и т.п. Увеличение размеров бака, тепловая емкость которого превышает 1-2 суточную потребность в тепле, может оказаться экономически невыгодным. При включении в схему теплового насоса температуру в аккумуляторе можно понизить до  $0^{\circ}\text{C}$  и фактически удвоить тепловую емкость системы.

Вакуумированные коллекторы с селективными покрытиями позволяют нагревать теплоносители – воду или антифриз (даже при больших скоростях прохождения теплоносителя по внутренним каналам коллектора) до температур  $80-90^{\circ}\text{C}$ , что делает возможным применение в жилом доме не только системы солнечного отопления и горячего водоснабжения, но и системы кондиционирования на основе, например, адсорбционных холодильных машин с хладагентом, имеющем подходящую температуру испарения.

Исследования [2] показали, что солнечный коллектор, особенно трубчато-вакуумированный, может быть использован при работе теплового насоса дома в качестве испарителя, а в бак-аккумулятор может быть помещен теплообменник, в котором будет происходить конденсация хладагента и тем самым нагрев содержимого бака-аккумулятора. Для работы компрессора теплового насоса необходима электрическая энергия, источником которой могут служить фотоэлектрические батареи. При ярком солнечном освещении солнечные батареи площадью до  $30\text{ м}^2$  могут генерировать до 3 кВт электрической мощности которая может частично идти питание компрессора и бытового освещения, а также на подзарядку электрохимических батарей, используемых в ночное время.

Известны разработки [3] фотоэлектрических коллекторов, объединяющие в одной конструкции фотоэлектрические батареи и солнечные коллектора. Суммарный коэффициент усвоения солнечного излучения может составлять  $55\div 60\%$ . Возможная конструкция фотоэлектрического коллектора может быть

выполнена на основе стеклянного трубчато-вакуумированного коллектора, у которого селективное покрытие может быть заменено на кристаллическое из пленочных солнечных элементов, с поверхностью имеющей низкую излучательную способность. В таком фотоэлектрическом коллекторе теплоноситель проходит по внутренней трубке. При этом имеется возможность настилать этими установками крыши жилого дома, что значительно уменьшает расходы на его сооружение. Следует отметить серьезный конструктивный недостаток – низкий коэффициент заполнения световоспринимающей поверхностью площади крыши. Это связано с тем, что слишком много места занимают вакуумированные зазоры между внешней и внутренней трубкой. Этот недостаток преодолевается нанесением на внутреннюю поверхность внешней трубки отражающего слоя алюминия, который выполняет роль встроенного в коллектор концентратора солнечного излучения, направляющего к внутренней поглощающей излучение трубке дополнительное количество энергии. Такой концентратор солнечного излучения изолирован от вредного воздействия внешних факторов, таких как пыль и осадки.

Выше сказанное подтверждает представленный на выставке Intersolar 2009 в Мюнхене (Германия) проект энергоэффективного здания «SOLARHAUS 50+» компании DSTTP при Франгоферском институте солнечных систем, в котором в зависимости от стоимости его энергопотребление может покрываться от 50 до 100% за счет возобновляемых источников энергии, в первую очередь солнечной [4]. По оценкам немецких специалистов наиболее приемлемая с экономической точки зрения величина годового замещения тепловой нагрузки составляет 60÷70%.

Основными компонентами солнечной системы теплоснабжения являются солнечные коллекторы на крыше жилого дома площадью от 30 до 60 м<sup>2</sup> и бак-аккумулятор объемом соответственно 6000÷10000 литров в подвале, объем которого выбирается из расчета обеспечения потребностей проживающих людей в течение 2-3 дней. Потребности в электроэнергии для жилого дома на 3 человека потребует установки примерно 30 м<sup>2</sup> солнечных фотоэлектрических модулей с возможностью параллельной работы с сетью. Дизайнерское решение предусматривает установку PV модулей на окнах сбоку для использования в качестве затенения. Для стабилизации теплоснабжения предусмотрено подключение биогазовых котлов либо теплонасосных установок.

Аналогичные системы на основе трубчато-вакуумированных коллекторов устанавливает крупная фирма Rioma из Великобритании. В частности ими были оборудованы объекты олимпийской деревни в Пекине, при этом обеспечивалось также кондиционирование воздуха в летний период.

Страны СНГ существенно отстают в этой сфере даже от малых стран, например в России мощность теплонасосных установок меньше чем в Люксембурге. Причин такому отставанию несколько:

- искусственно заниженная стоимость топлива, что делает производство теплонасосных установок нерентабельным;

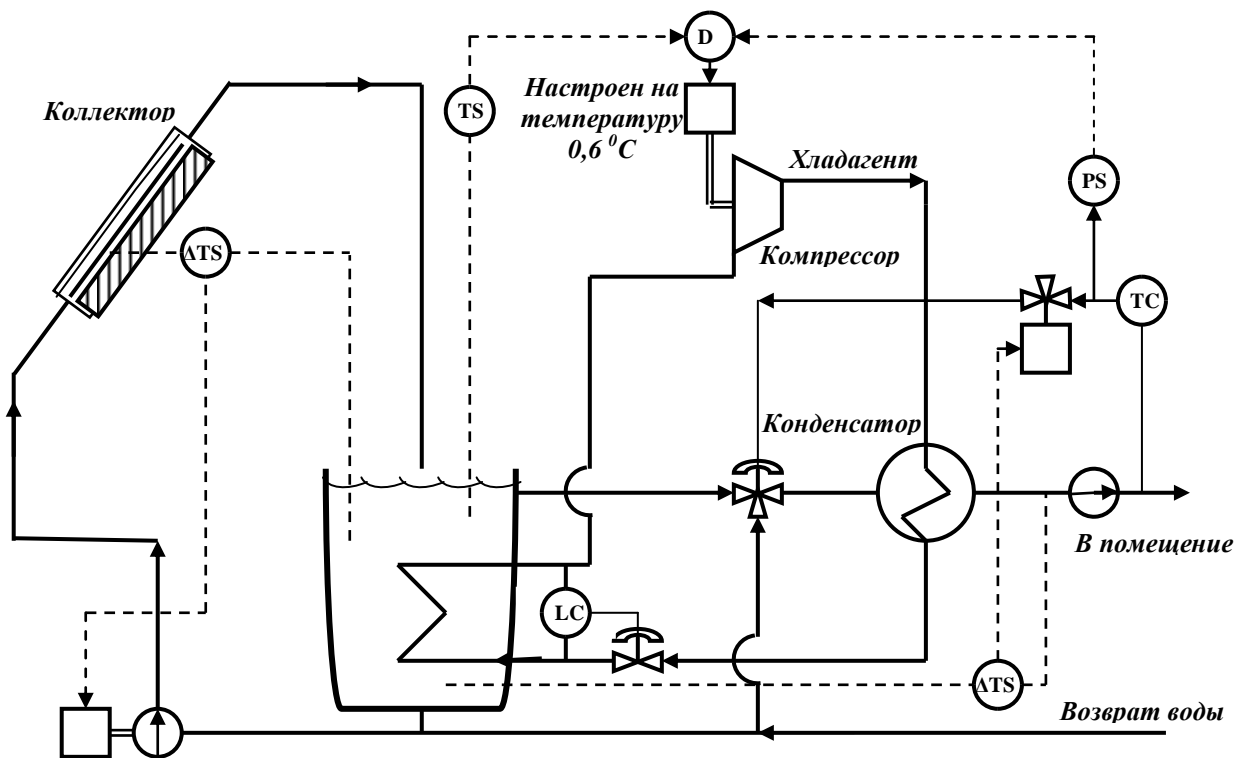
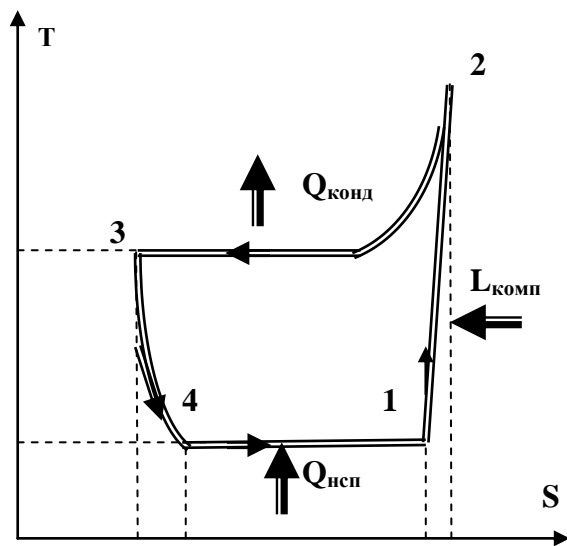


Рис.2.1. Система теплоснабжения с тепловым насосом: TS – дифференциальный регулятор температуры; TC – регулятор температуры; LC – регулятор уровня;  $\Delta TS$  – дифференциальный термовыключатель; PS – пневматический выключатель; D – исполнительный механизм.



- 1-2 сжатие в компрессоре
- 2-3 отвод тепла потребителю
- 3-4 расширение через дроссель
- 4-1 подвод тепла от низкопотенциального источника

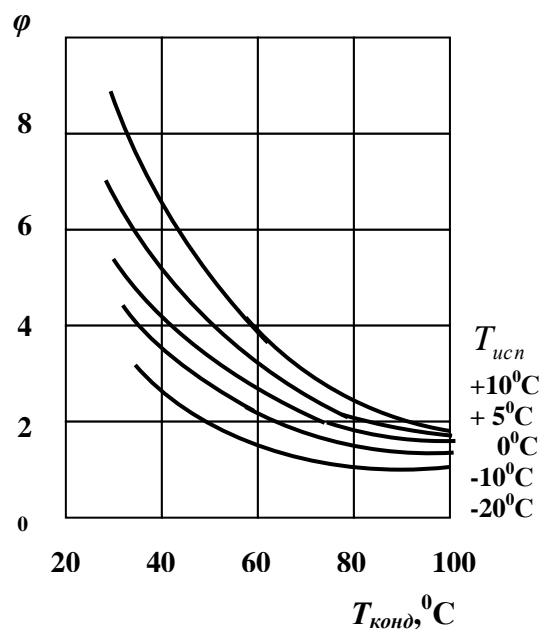


Рис. 2.2. а) термодинамический цикл теплового насоса; б) коэффициент преобразования теплового насоса с поршневым компрессором

- отсутствие разработок по тепловым насосам и, соответственно, отсутствие специализированного производства,
- отсутствие каких-либо льгот со стороны государства, стимулирующих более интенсивное применение данного вида техники.

Создание теплонасосных компрессоров и других комплектующих требует значительных средств, большинство фирм в России пошли по пути использования без какой либо модернизации оборудования для холодильных машин соответствующей холодопроизводительности или по пути использования чрезвычайно дорогих импортных комплектующих [1]. Стоимость тепловых насосов, выпускаемых в России, составляет от 90 до 110 тыс. долларов США при его теплопроизводительности 1 Гкал/час, что на 40-320% ниже стоимости зарубежных производителей.

Парокомпрессионный тепловой насос работает следующим образом. В испарителе фреон отбирает тепло от теплоносителя системы теплосбора (солнечного коллектора), при этом испаряясь и в парообразном состоянии засасывается в компрессор, работающий за счет подводимой электроэнергии. В нем пар сжимается, в результате чего повышается его термодинамический потенциал. В конденсаторе пары фреона конденсируются, полученная им в испарителе и компрессоре энергия высвобождается в виде тепла и передается теплоносителю системы отопления. На каждый киловатт, затраченный на привод компрессора, в систему отопления поступает 2,45-4 кВт тепла.

В настоящее время некоторые фирмы, в частности ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» [4], при производстве собственного теплонасосного оборудования приспособили их к условиям, в которых они работают. Так, например, отношение давления нагнетания к давлению всасывания в поршневых компрессорах холодильных машин не должно превышать  $P_k = P_{нагн} / P_{всас} = 6 \div 7$ , а разность должна быть  $P = P_{нагн} - P_{всас} = 11$ .

В тепловых насосах в нормальном режиме работы  $P_k = 9 \div 10$ , а может достигать 15÷17, т.е. весь шатунно-поршневой механизм, коленвал, масляный насос и механизм его привода работают в запредельном режиме. В итоге, как показала практика, ресурс работы холодильной техники в теплонасосном режиме резко сокращается и составляет треть ресурса положенного при работе в холодильном режиме. Для модернизации устанавливают усиленный коленвал, маслонасосный привод на поршневых компрессорах П-110 и П-220. Широко используемые парокомпрессионные тепловые насосы различаются по термодинамическим циклам. Наибольшее распространение получили работающие по циклу Ренкина. В таблице 1 приведены технические характеристики разных типов тепловых насосов [5].

Как видно из табл.2.1 тепловые насосы с поршневыми компрессорами – малой мощности до 0,5 Гкал/час и используются они для отопления жилых зданий, небольших объектов. Они имеют наибольший КПД, но меньший ресурс работы (до 40000 часов) и требуют более квалифицированного персонала.

Таблица 2.1

Тип тепловых насосов	АТНУ-10	НТ-300	НТ-500, НТ-1000, НТ-3000	НТ-9000
Тип компрессора	Поршневой		Винтовой	Турбокомпрессорный
Теплопроизводительность, тыс.ккал				
-для воды 8 <sup>0</sup> С	8,9	300	500,1000,2500	6150
-для воды 25 <sup>0</sup> С	11	400	800,1600,4000	7500
Потребляемая электрическая мощность, кВт				
-для воды 8 <sup>0</sup> С	3,5	90	150,300,630	1250
Площадь отапливаемого помещения (м <sup>2</sup> ) из расчета 0,7кВт/м <sup>2</sup>				
-для воды 8 <sup>0</sup> С	250	500	830,1660,4150	10200
-для воды 25 <sup>0</sup> С	267	655	1330,2660,6640	12500
Температура (конденсации) хладагента				
- для R142в	70	80	80	80
- для R134а	55	60	60	60
Заправочная масса, кг				
- фреона	13	430	450,1200,2700	6200
- масла	1,1	40	250,320,2700	6200
Масса теплового насоса	130	4300	9700,15000,22000	60500
Расходы, м <sup>3</sup> /час				
- горячей воды	25	25	35,85,140	340
- воды низкопотенциального источника	50	50	70,165,310	810

Тепловые насосы с винтовыми компрессорами – средней мощности, до 3 Гкал/час. Они более просты в обслуживании, надежны и более доступны для полной автоматизации. Их ресурс до капитального ремонта достигает 60000 ч.

Турбокомпрессорные тепловые насосы имеют ресурс до 100000 часов, но имеют большую мощность 9÷30 Гкал/час. При меньшей единичной мощности их КПД значительно снижается.

При расчетах солнечных теплонасосных установок в основном базируются на упрощенном описании коэффициента преобразования насоса [1,4].

Как показано на рис.2.2,а энергетический баланс теплового насоса

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{исп}} + L_{\text{комп}}$$

где  $Q_{\text{конд}}$  - тепло к потребителю,

$Q_{\text{исп}}$  - тепло от низкопотенциального источника,

$L_{\text{комп}}$  - электроэнергия на привод компрессора,

При этом коэффициент преобразования теплового насоса

$$\varphi = \frac{Q_{\text{конд}}}{L_{\text{комп}}} = \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}} \cdot \alpha$$

где  $T_{\text{исп}}, T_{\text{конд}}$  - температура испарения и конденсации хладагента,

$\alpha$  - суммарный коэффициент потерь теплового насоса (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче).

Детальная математическая модель теплового насоса достаточно сложна, поэтому для расчетов может быть использована модель, базирующаяся на расчетах эмпирических зависимостей с использованием метода планирования эксперимента по графикам для компрессоров типа П110, работающих на озонобезопасном хладоне R-134a (рис.2.2,б) при рабочем объеме компрессора  $0,083\text{м}^3$ . Эти графики показывают, что при температуре испарения хладагента  $T_{исп}$ , (учитывая температурный градиент теплообменника, ниже температуры теплоносителя на входе в коллектор на  $5^{\circ}\text{C}$ ), изменяющейся в пределах  $0\div 10^{\circ}\text{C}$ , и температуре конденсации  $T_{конд}$  равной  $60\div 70^{\circ}\text{C}$ , коэффициент преобразования  $\phi$  лежит в пределах  $2\div 4$ , что является достаточно высоким значением.

Кроме того, эффективность солнечного теплоприемного контура, которая мало связана с величиной  $T_{конд}$ , благодаря уменьшению температуры на входе в коллектор увеличивается на  $15\div 25\%$  по сравнению с КПД двухконтурных солнечных систем горячего водоснабжения без теплового насоса. Обратное положительное воздействие заключается в повышении  $T_{исп}$  в тепловом насосе и улучшении за счет этого термодинамических показателей цикла.

Учитывая интенсивный рост строительства коттеджей, для технико-экономической оценки выбрано здание, отапливаемое комбинированной установкой с тепловым насосом и солнечными установками площадью  $250\text{ м}^2$ , в котором проживают 7 человек. Средние годовые расходы населения по текущим месячным тарифам в Узбекистане на горячее водоснабжение (2,4\$ на одного человека) и отопление (0,25\$ за  $1\text{ м}^2$  отапливаемого помещения) общие годовые затраты на теплоснабжение дома составляют порядка  $CT=950\text{\$}$ .

Приобретение теплового насоса с техническими параметрами АТНУ-10 обойдется потребителю примерно в  $1200\text{\$}$ . Анализ предложений солнечных установок на рынке Узбекистана различных местных производителей показывает, что их удельная стоимость приведенная ко всему поставляемому оборудованию, включая бак и автоматику, колеблется от  $250$  до  $400\text{\$/м}^2$ .

Это позволяет перейти к технико-экономической оценке и выявлению областей оптимального применения солнечной теплонасосной установки, для чего необходимо определить капитальные затраты и издержки при эксплуатации данной установки

$$C = E_H + I + (k_{yd} \cdot F + P) \cdot c_e \cdot N_{комп} \cdot T_{эксп}$$

где  $E_H$  - нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений в год (принят 0,1);  $I$  - норма эксплуатационных издержек как доля капитальных вложений 5%;  $k_{yd}$  - приведенная удельная стоимость солнечной установки;  $F$  - площадь солнечных коллекторов;  $P$  - стоимость теплового насоса;  $c_e$  - стоимость 1 кВтч электроэнергии  $0,04\text{\$}$ ;  $N_{комп}$  - мощность компрессора;  $T_{эксп}$  - число часов эксплуатации компрессора в год 2190 при работе теплового насоса 6 часов в сутки.

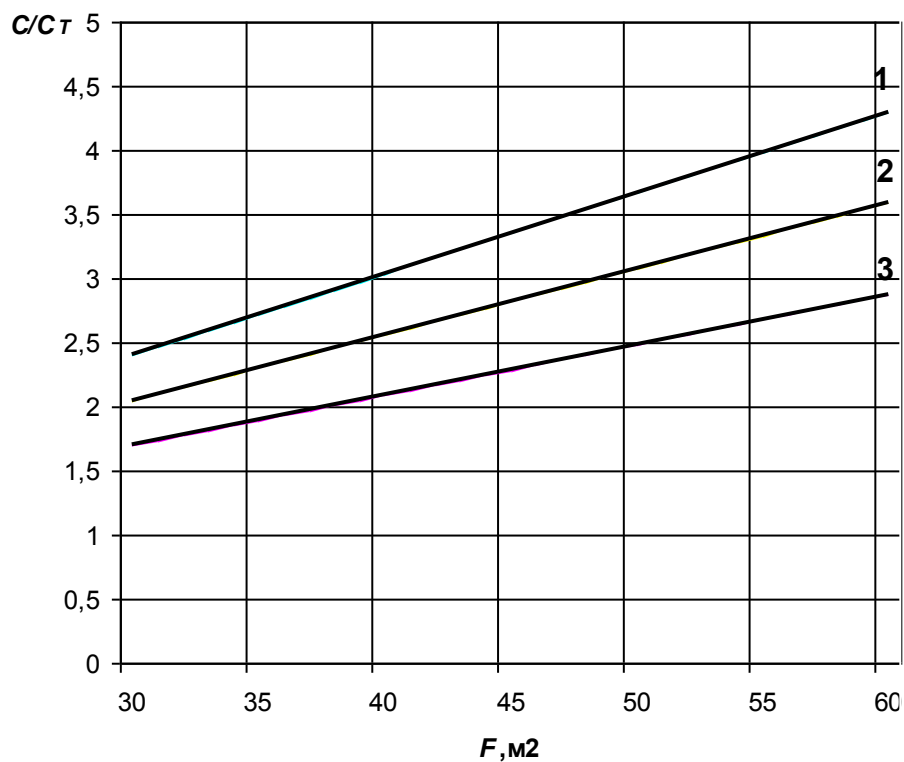


Рис.2.3. График отношения относительных годовых издержек комбинированной солнечной теплонасосной установки к затратам по традиционному источнику в зависимости от площади солнечных коллекторов при их удельной стоимости: 1-400\$/м<sup>2</sup>, 2-325\$/м<sup>2</sup>, 3-250\$/м<sup>2</sup>.

На рис.2.3 приведен график изменения относительных годовых издержек, в котором учитывается диапазон площадей солнечных коллекторов применительно к изменению условий прихода солнечной радиации для районов республики [6].

Экономическая эффективность внедрения комбинированной солнечной теплонасосной установки возрастает по направлению к более южным широтам. При этом стоимость солнечных компонентов наибольшим образом влияет на срок окупаемости системы теплоснабжения. Оптимальный срок окупаемости при текущих ценах на энергоресурсы составит 12÷15 лет.

В целом, можно сделать вывод, что в условиях республики комбинированное использование тепловых насосов и солнечных установок является перспективным в плане энерго- и экономической эффективности при новом строительстве жилых домов коттеджного типа.

## **2.2 Внедрение при новом строительстве в системах отопления тепловых насосов.**

В областях и районах, где существует относительный избыток электроэнергии и относительный недостаток теплоты крайне выгодна установка тепловых насосов. Теплонасосные установки, используя возобновляемую низкопотенциальную энергию окружающей среды и повышая ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивают в 3 ÷ 7 раз меньше первичной энергии, чем при сжигании топлива. В целом за счет экономии на инженерных коммуникациях стоимость квадратного метра в здании, оснащенных системами ВИЭ, примерно на 30–40 % ниже, чем в обычном доме.

Средняя площадь крыши типичного многоквартирного дома составляет 1200м<sup>2</sup>. Если половину этой площади покрыть солнечными батареями, то можно получить 60 тыс. кВтч энергии в год в каждом доме даже при том, если они имеют КПД только 10%. Избыточная энергия может накапливаться за лето в специальном аккумуляторе, расположенном под домом, и использоваться зимой.

Стоимость ФЭП в составе автономных энергоустановок равна на мировом рынке \$6 /Вт<sub>пик</sub> с радиусом фотоэлемента 2,5 см на 1 Вт<sub>пик</sub>. Стоимость теплового насоса \$279тыс. за 1Гкал/час установленной мощности. Отопительный период в республике длится в среднем 3000 часов.

Для среднестатистического дома потребляется тепловая энергия при отапливаемых площадях 1500м<sup>2</sup> × 0,43Гкал/м<sup>2</sup> ≈ 640 Гкал. Таким образом, дополнительные капиталовложения для одного дома составляют

$$\begin{aligned} \$6 \times (1200/2)/(3,14 \times (2,5 \times 10^{-1})^2) + \$279\,000 \times 640/3000 = (\$18\,345 + \$59\,520) = \$ \\ 77\,865 \end{aligned}$$

В этом случае срок окупаемости с учетом стоимости экономии электро- и теплоэнергии, что ненамного больше показателей развитых стран

$$\$77\,865/(\$0,03 \times 60000 + \$15,5 \times 640) = 6,65 \text{ лет}$$

## ГЛАВА 3

### РАСЧЕТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

1. Задается объект, для которого нужно рассчитать фотоэлектрическую систему, и место строительства. Для расчета необходимы планы всех этажей с обозначением площадей помещений и их функционального назначения, план кровли и/или прилегающей территории, на которых будут размещены солнечные батареи;

2. Указываются климатические условия для объекта, то есть интенсивности прямой, диффузной и суммарной радиации для каждого месяца, широта местности, максимальное количество дней без солнца;

3. Выбирается схема, по которой будет осуществляться электроснабжение: автономная работа фотоэлектрической системы, работа с генератором в качестве дублера, совместная работа с сетью;

4. Указывается хозяйственное назначение объекта, его потребность в электроэнергии. Например, для загородного дома основное потребление энергии приходится на выходные дни, в то время как в рабочие дни выработанная электроэнергия может передаваться в сеть. Для юридических объектов, работающих пять дней в неделю, наоборот, в выходные дни вырабатываемая электроэнергия может передаваться в сеть или аккумулироваться. Эти данные также должны учитываться при расчете емкости аккумуляторных батарей.

#### Расчет освещения по методу удельной мощности

1. Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» определяется требуемая освещенность  $E$  для заданного помещения (табл. 2.1).

2. Принимается, что для создания средней освещенности 100 лк на каждый квадратный метр площади освещаемого помещения требуется удельная мощность  $P_{уд}$  16 – 20 Вт/м<sup>2</sup> при прямом освещении лампами накаливания и 6 – 10 Вт/м<sup>2</sup> при прямом освещении люминесцентными лампами. 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:

$$P_{уд}^{mp} = P_{уд} \cdot \frac{E}{100}, \text{ где } E - \text{требуемая освещенность, в лк.}$$

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

$$P_{тр} = P_{уд}^{mp} \cdot F, \text{ где } F - \text{площадь помещения.}$$

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

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

$$N = \frac{P_{тр}}{P_{лампы}}.$$

## Освещенность некоторых помещений.

Наименование помещения	Наименьшая освещенность Е, лк		Плоскость, для которой нормируется освещенность, и ее высота от пола, м
	При газоразрядных лампах	При лампах накаливания	
Канторы, кабинеты, комнаты для занятий, классы	300		Г-0,8
Конструкторские, чертежные, копировальные бюро, помещения для проектных работ	500		Г-0,8
Читальный зал			
Помещения для записи и регистрации читателей, справочный отдел	300		Г-0,8
Конференц-зал	300		Г-0,8
Киноаппаратная, щитовая			
Светокопировальная мастерская			
Проходная	200		Г-0,0
Помещение для отдыха, культурного обслуживания, ожидания	75		Г-0,8
	200		Г-0,8
Помещение общественных организаций			
Фойе	100		Г-0,8
Выставочный зал	150		Г-0,8
Отделение связи и сбербанка			
Помещение для программистов			
Кабинеты врачей	200		Г-0,8
Кулинария			
Спортивный зал	150		Г-0,0
Актный зал в учебном здании	200		Г-0,8
Кабинеты и комнаты преподавателей	300		Г-0,8
Рекреационные помещения	300		Г-0,8
Комнаты для игр			
Обеденные залы	200		Г-0,8
Торговые залы универмагов, магазинов готового платья, белья, обуви, тканей, меховых изделий,	300		Г-0,8
головных уборов, ювелирных, книжных,	200		Г-0,0
кустарно-художественных изделий, торговые	200		Г-0,0
залы продовольственных магазинов	200		Г-0,8
Площадки у лифтов	150		Г-0,0
Раздевалки в банях, преддушевые	200		Г-0,5
Моечные в банях, душевые	200		Г-0,8
Вестибюли, холлы, гардеробные в школах и центральных гостиницах	300		Г-0,8
Лестницы главные в общественных зданиях			
Лестницы главные в учреждениях отдыха и гостиницах			
Прочие лестницы в общественных зданиях			
Шахта лифта			
Технические этажи			
Кладовые продуктов	150		Г-0,0
Чердак	(75)		Г-0,8

### Расчет освещения

1. Объектом расчета будет являться жилое помещение – гостиная частного дома, площадью 16 м<sup>2</sup>. Освещенность по таблице 2.1 E=75 лк для ламп накаливания.
2. Принимаем, что удельная мощность P<sub>уд</sub>=20 Вт/м<sup>2</sup>.
3. Удельная мощность для требуемого уровня освещения:

$$P_{уд}^{mp} = P_{уд} \cdot \frac{E}{100} = 20 \cdot \frac{75}{100} = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

4. Общая требуемая мощность ламп P<sub>тр</sub>:

$$P_{тр} = P_{уд}^{mp} \cdot F = 15 \cdot 16 = 240 \text{ Вт.}$$

5. Принимаем к использованию лампы накаливания с P<sub>лампы</sub>=60 Вт.

6. Требуемое количество ламп:

$$N = \frac{P_{тр}}{P_{лампы}} = \frac{240}{60} = 4.$$

### 3.1 Расчет фотоэлектрической системы

Расчет системы включает следующие этапы:

1. Определение нагрузки, потребляемой энергии и необходимой мощности инвертора.
2. Определение значения емкости аккумуляторной батареи и их количества.
3. Определение необходимого количества солнечных батарей.

#### *Определение энергопотребления и мощности инвертора.*

1.1. Перечислить всю нагрузку переменного тока с указанием ее номинальной мощности и числа часов работы в неделю. Занести данные в таблицу 3.1. Умножить мощность на число часов работы для каждого прибора и сложить получившиеся значения для определения суммарной потребляемой энергии переменного тока в неделю W<sub>пер</sub>. Значения мощностей некоторых приборов даны в таблице 3.2. Расчет освещения был приведен выше. Необходимо умножить значение общей требуемой мощности ламп для каждого помещения на число часов работы и записать суммарный результат в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Нагрузка переменного тока.

№	Нагрузка переменного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1			×		=	
2			×		=	
3			×		=	
Всего					=	

## Мощности потребителей.

№	Потребитель	Мощность в Вт
1	Микроволновая печь	850 – 1500
2	Чайник	1200 – 1500
3	Холодильник	230 – 550
4	Посудомоечная машина	2000 – 2500
5	Кофемолка	140 – 220
6	Тостер	800 -1500
7	Блендер	220 – 700
8	Кухонный комбайн	500 – 800
9	Кофеварка	150 – 3000 (зависит от типа, объема, температуры нагрева)
10	Телевизор	17 – 300 (зависит от модели и диагонали)
11	Компьютер	150 – 300
12	Кондиционер	800 – 2500 (зависит от режима работы)
13	Пылесос	700 – 2000
14	Фен	1200 – 1800
15	Стиральная машина	700 – 2000
16	Утюг	800 – 2400 (делятся на маломощные, средней и максимальной мощности)
17	Электроплита	1200 – 4000
18	Принтер	100 – 650
19	Копировальное устройство	2000 – 5000
20	Факс	130
21	Насос	250-500
22	Музыкальный центр	100
23	DVD-плеер	35 – 60
24	Вытяжка	100 – 150
25	Вентилятор	10 – 60
26	Электросушилка	400 – 2000
27	Электроодеяло	40 – 100
28	Бритва	10 – 15
29	Обогреватель	1500 – 6000 (зависит от площади обогреваемого помещения)
30	Дрель	600 – 1000

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

$$W_{mp} = W_{пер} \cdot k .$$

1.3. 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  $k$ .

1.4. Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока, определяется по формуле:

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

1.5. Посчитать нагрузку постоянного тока  $W_{пост}$  и занести результат в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Нагрузка постоянного тока.

№	Нагрузка постоянного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	Вт*ч/неделю
1			×		=	
2			×		=	
3			×		=	
Всего					=	

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

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

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

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

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

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

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7}.$$

*Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества.*

2.1. 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 3.4 и ориентируясь на режим эксплуатации. При круглогодичной эксплуатации фотоэлектрической системы с дублером, 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 3.4

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	20-35

2.2. Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца  $N_{bc}$ :

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

2.3. 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  $\gamma$  составит от 0,2 до 0,5. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%.

2.4. Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

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

2.5. Выбрать коэффициент  $\alpha$  из таблицы 3.5, 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 3.5

Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи.

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

2.6. Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{общ} = q_\gamma \cdot \alpha.$$

2.7. Выбрать тип аккумуляторной батареи, который будет использоваться (лучше свинцово-кислотные аккумуляторы). Выписать для него номинальную емкость  $q_{ном}$  и номинальное напряжение  $U_{ном}$ .

2.8. 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:

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

2.9. 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:

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

2.10. Подсчитать требуемое количество аккумуляторных батарей:

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

*Определение необходимого количества солнечных батарей.*

3.1. Определить количество  $i$  пиковых солнце-часов в день для заданной местности. Для этого среднемесячное поступление 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/м<sup>2</sup>. 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. 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  $\beta$  к горизонту, то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность, может быть найдено по формуле:

$$E_{н} = R \cdot E,$$

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 солнечного излучения;  $R_n$  – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;  $\beta$  – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту;  $\rho$  – коэффициент отражения (альбедо) 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  $\varphi$  – широта местности, град;  $\beta$  – угол наклона солнечной батареи к горизонту, град;  $\delta$  – 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  $\delta$  можно взять из таблицы 3.6.

Таблица 3.6

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
$\delta$ , град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

$\omega_3$  – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности:

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

$\omega_{zn}$  – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией:

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

3.2. Выбрать тип солнечной батареи, который планируется использовать. Для него выписать номинальную мощность  $P_{ном}^{CB}$  и напряжение  $U_{ном}^{CB}$ , а также ток в точке максимальной мощности  $I_{mp}$ .

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

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta.$$

3.4. 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:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i}.$$

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

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

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

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

3.7. Общее количество требуемых фотоэлектрических модулей:

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

3.8. Площадь солнечных батарей:

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

где  $S_1^{CB}$  - площадь одной солнечной батареи.

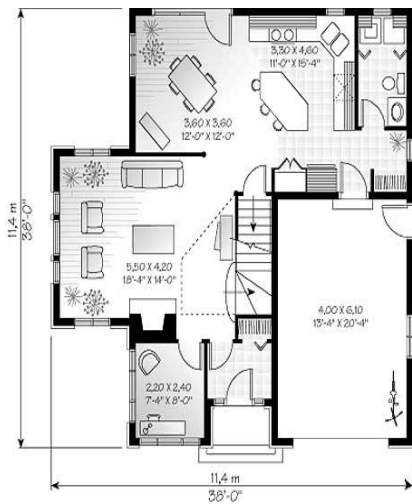
## Расчет фотоэлектрической системы

### Определение энергопотребления и мощности инвертора

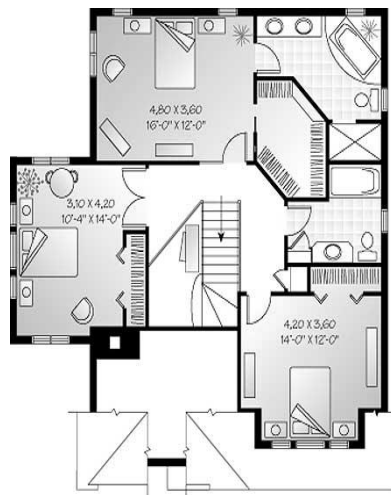
1.1. Расчет производится для двухэтажного частного дома с габаритными размерами 11,4 м × 11,4 м, расположенного в г. Ташкенте. На первом этаже находятся: гостиная, столовая, кухня, кабинет, прихожая, санузел, гараж. На втором этаже соответственно: три спальни, ванная, санузел, коридор. Потребление энергии в неделю составит  $W_{неп} = 151,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  (таблица 3.7). Дом подключен к общей энергосети. Когда энергии, вырабатываемой солнечными батареями, будет недостаточно, энергия будет потребляться из сети. И наоборот, когда выработка будет больше потребления, электроэнергия передается в сеть.



а)



б)



в)

Рис. 3.1. Двухэтажный частный дом. а). Фасад; б). План первого этажа; в). План второго этажа.

Нагрузка переменного тока

№	Нагрузка переменного тока	Мощность в Вт	×	Часов в неделю	=	кВт*ч/неделю
1	Освещение	1460	×	30,3	=	44,2
2	СВЧ-Печь	1000	×	7,0	=	7,0
3	Чайник	1500	×	3,7	=	5,6
4	Другие кухонные устройства	200	×	4,2	=	0,8
5	Холодильник	230	×	103,6	=	23,8
6	Телевизор	300	×	21,5	=	6,4
7	Компьютер	300	×	43,4	=	13
8	Кондиционер	1000	×	32,2	=	32,2
9	Пылесос	1000	×	3,9	=	3,9
10	Фен	1200	×	3,3	=	4,0
11	Стиральная машина	700	×	4,9	=	3,4
12	Утюг	800	×	6,7	=	5,3
13	Инструменты	1500	×	1,3	=	2,0
				Всего	=	151,6

Графики распределения мощности показаны на рис. 3.2.

1.2. Энергии постоянного тока с учетом потерь в инверторе потребуется:

$$W_{mp} = W_{пер} \cdot k = 151,6 \cdot 1,2 = 181,92 \text{ кВтч.}$$

1.3. Для того чтобы выбрать инвертор, разделим значение  $W_{mp}$  на число часов за неделю, то есть на  $7 \cdot 24 = 168$  ч:

$$P_{инв} = \frac{W_{mp}}{7 \cdot 24} = \frac{181,92 \cdot 10^3}{7 \cdot 24} = 1082,86 \text{ Вт.}$$

Выбираем инвертор Simin SIM-1500P. Номинальное напряжение инвертора  $U_{инв} = 24 \text{ В}$ , номинальная мощность:  $P_{н.инв} = 1500 \text{ Вт}$ .

1.4. Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{mp}}{U_{инв}} = \frac{181,92 \cdot 10^3}{24} = 7580 \text{ Ач.}$$

1.5. Принимаем, что в доме нет нагрузки постоянного тока  $W_{пост} = 0$ .

1.6. Суточное значение потребляемых Ач:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7} = \frac{q_{нед}^{пер}}{7} = \frac{7580}{7} = 1082,86 \text{ Ач.}$$

*Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества*

2.1. Принимаем, что максимальное число последовательных "дней без солнца" в связи с круглогодичным режимом работы и использованием общей энергосети, то есть в условиях, когда подзарядка аккумуляторных батарей может осуществляться в любое время суток и в любой день  $N_{бс} = 1$ .

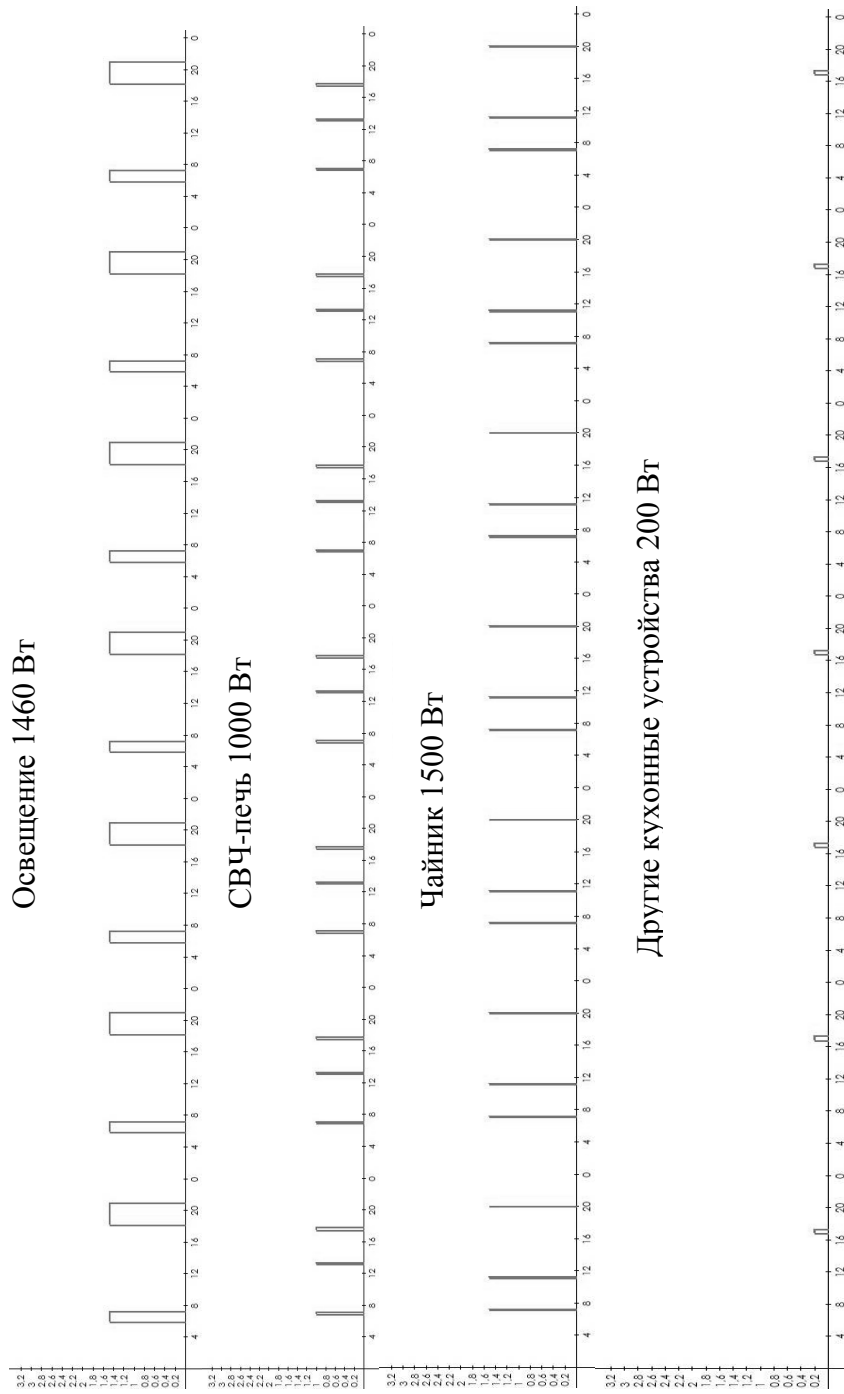
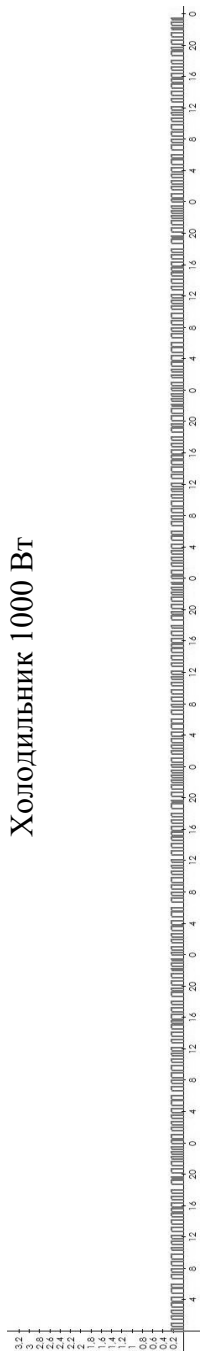
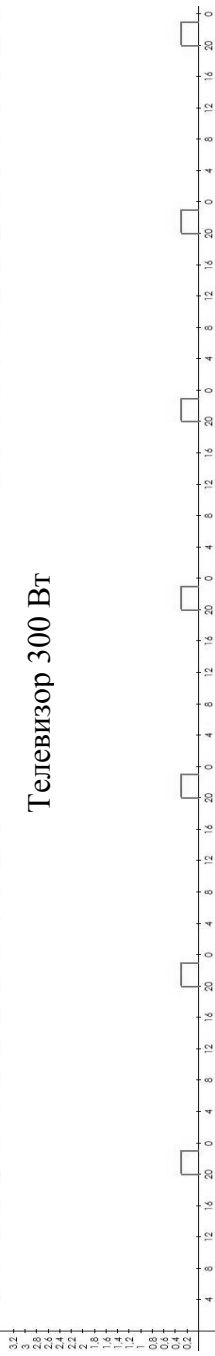


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

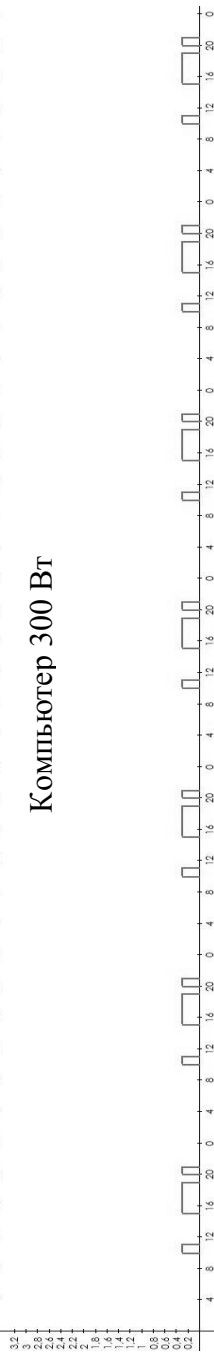
### Холодильник 1000 Вт



### Телевизор 300 Вт



### Компьютер 300 Вт



### Кондиционер 1000 Вт

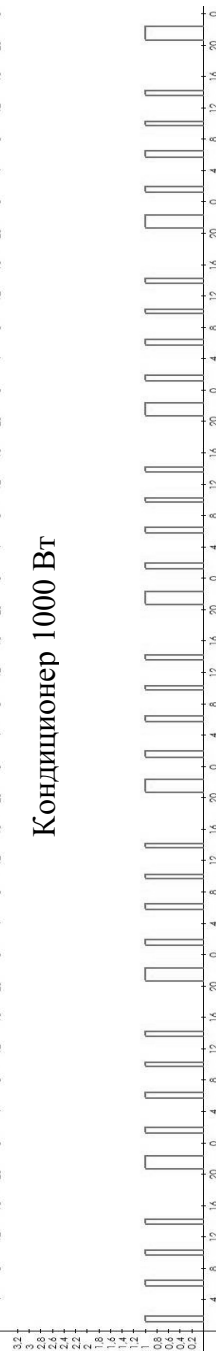


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

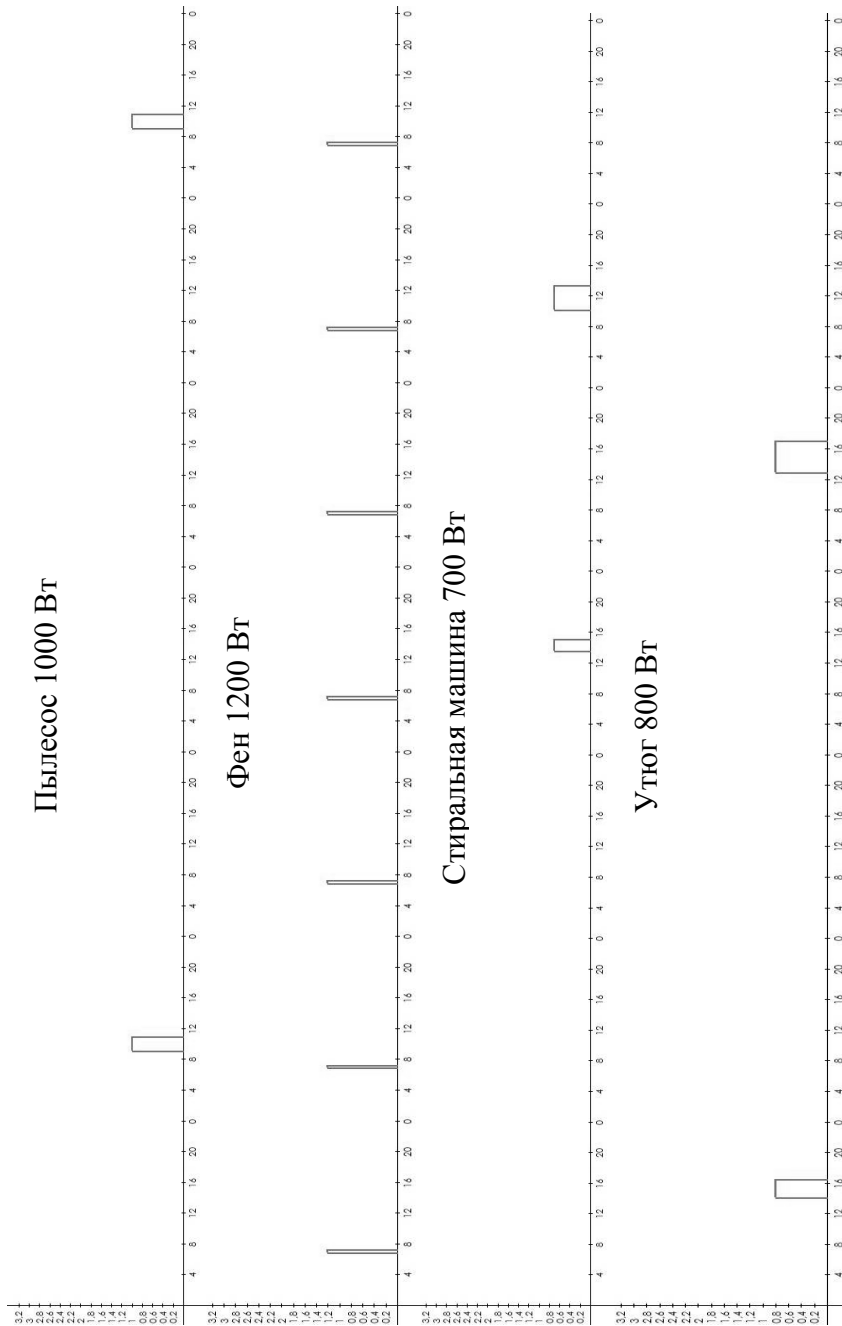
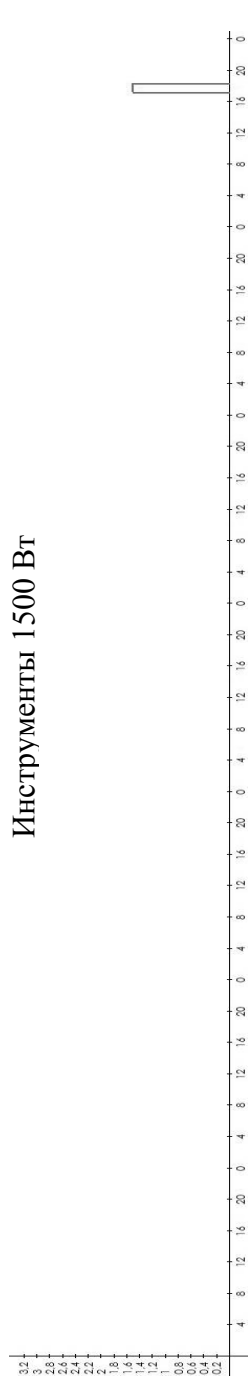


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

### Инструменты 1500 Вт



### Сумма нагрузок 151,6 кВт·ч/нед

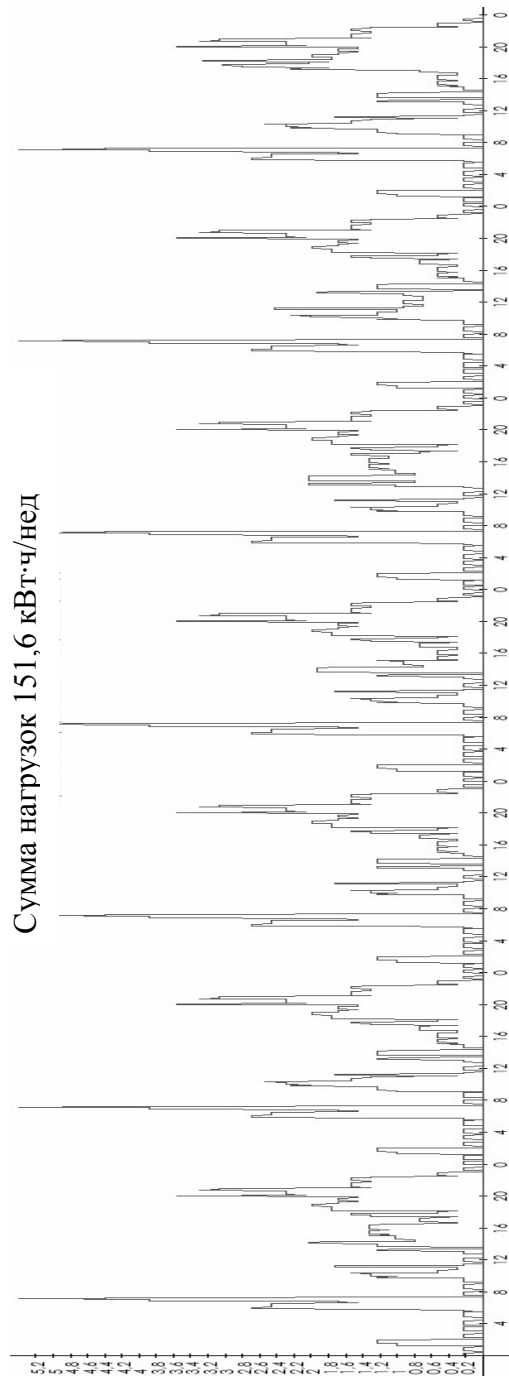


Рис. 3.2. Графики распределения нагрузки.

2.2. Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца:

$$q_N = q_{\text{сут}} \cdot N_{\text{бс}} = 1082,86 \cdot 1 = 1082,86 \text{ Ач.}$$

2.3. Задаемся величиной глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи 50%. Соответственно коэффициент использования  $\gamma=0,5$ .

2.4. Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{1082,86}{0,5} = 2165,72 \text{ Ач.}$$

2.5. Выбираем из таблицы 3.4 коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Если аккумуляторные батареи располагаются в гараже, то при  $15,6\text{C}$   $\alpha=1,11$ .

2.6. Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{\text{общ}} = q_\gamma \cdot \alpha = 2165,72 \cdot 1,11 = 2403,95 \text{ Ач.}$$

2.7. Выбираем аккумуляторную батарею DJM 12200. Номинальное напряжение  $U_{\text{ном}}=12 \text{ В}$ , емкость  $q_{\text{ном}}=200 \text{ А*ч}$ .

2.8. Количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{2403,95}{200} = 12.$$

2.9. Количество батарей, соединенных последовательно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{24}{12} = 2.$$

2.10. Общее количество требуемых аккумуляторных батарей:

$$N^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = 12 \cdot 2 = 24.$$

### *Определение необходимого количества солнечных батарей.*

3.1. Для того чтобы определить число пиковых солнце-часов, необходимо знать значения среднемесячного поступления солнечного излучения в Ташкенте.

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом  $\beta=45^0$  к горизонту, то производится перерасчет солнечного излучения с горизонтальной поверхности на наклонную. Значения широты местности, угла наклона солнечных батарей, часового угла захода Солнца для горизонтальной поверхности, часового угла захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией, коэффициента пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией, значения солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, альbedo земной поверхности, среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность и число часов солнечного сияния приведены в таблице 3.8.

Расчет в данном случае будет производиться по среднегодовому количеству пиковых солнце-часов, чтобы уменьшить затраты на фотоэлектрическую систему. Это возможно за счет использования общей

энергосистемы в качестве дублера. В теплое время года вырабатываемая энергия может передаваться в общую сеть, а в холодное соответственно забираться.

Таблица 3.8

Расчет числа пиковых солнце-часов для угла наклона  $\beta=45^0$

Месяц	$\varphi$	$\beta$	$\omega_z$	$\omega_{zn}$	$R_n$	Прямое излучение $E_s$ , кВт*ч/м <sup>2</sup>	Рассеянное излучение $E_D$ , кВт*ч/м <sup>2</sup>	Суммарное излучение $E$ , кВт*ч/м <sup>2</sup>	$\rho$	R	i
Январь	45	45	67,55	90	2,98	15,13	24,44	39,57	0,7	1,78	2,37
Февраль	45	45	76,65	90	2,13	20,95	31,43	52,38	0,7	1,48	2,58
Март	45	45	87,60	90	1,51	47,72	51,22	98,94	0,7	1,29	4,26
Апрель	45	45	99,53	90	1,11	77,99	59,36	137,35	0,2	1,01	4,61
Май	45	45	109,90	90	0,89	96,61	73,33	169,94	0,2	0,88	4,99
Июнь	45	45	115,25	90	0,80	123,38	69,84	193,22	0,2	0,84	5,38
Июль	45	45	112,82	90	0,84	145,5	66,35	211,85	0,2	0,86	6,09
Август	45	45	103,89	90	1,01	123,3	57,04	180,42	0,2	0,98	5,87
Сентябрь	45	45	92,20	90	1,33	87,3	48,89	136,19	0,2	1,18	5,34
октябрь	45	45	80,26	90	1,89	59,3	38,41	97,77	0,7	1,61	5,26
ноябрь	45	45	69,98	90	2,71	22,12	27,94	50,06	0,7	1,79	2,99
декабрь	45	45	64,88	90	3,33	11,64	20,95	32,59	0,7	1,85	2,00
										Среднее:	4,31

3.2. Выбираем солнечную батарею KV 175, то есть  $P_{ном}^{CB}=175$  Вт,  $U_{trp}^{CB}=36$  В, ток в точке максимальной мощности  $I_{trp} = 4,93$  А. Площадь солнечной батареи  $1,28$  м<sup>2</sup>.

Для питания инвертора устанавливаем понижающий стабилизатор напряжения и принимаем минимальное напряжение на выходе солнечной батареи  $U_{мин}^{CB} = 24$  В. Это обеспечит стабильность работы энергосистемы при низких интенсивностях солнечной радиации.

Учитываем потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta = 1082,86 \cdot 1,2 = 1299,43 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

3.3. Значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{1299,43}{4,31} = 301,49 \text{ А}.$$

3.4. Общее количество требуемых солнечных батарей:

$$N^{CB} = \frac{I^{CB} \cdot U_{инв}}{P_{ном}^{CB}} = \frac{301,49 \cdot 24}{175} = 41.$$

3.5. Число модулей, соединенных последовательно:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{мин}^{CB}} = \frac{24}{24} = 1.$$

3.6. Число модулей, соединенных параллельно:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{N^{CB}}{N_{посл}^{CB}} = \frac{41}{1} = 41.$$

3.8. Площадь солнечных батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB} = 41 \cdot 1,28 = 52,48 \text{ м}^2.$$

### 3.2 Экономическое обоснование проекта гелиосистемы с фотоэлектрическими преобразователями

#### 1. Исходные данные.

В соответствии с предшествующим расчетом подбираем оборудование, необходимое для работы энергосистемы, используя таблицы 3.9, 3.10, 3.11, 3.12.

Таблица 3.9

#### Стоимость фотопреобразователей.

Наименование	Габариты, мм	Вес, кг	Номинальная мощность, Вт	Напряжение при P <sub>max</sub> , В	Ток при P <sub>max</sub> , А	Стоимость, \$
KV-10	440x285x35	1,85	10	18	0,7	От 700
KV-25	527x487x35	3,5	25	18	1,4	От 1400
KV-80	1210x527x35	7,5	80	17,5	4,57	От 3840
KV-85	1210x527x35	7,5	85	17,65	4,82	От 4080
KV-90	1210x660x35	7,5	90	18	5	От 4320
KV-175	1585x805x35	16	175	35,5	4,93	От 7770
KV-180	1585x805x35	16	180	36	5	От 7992
KV-185	1585x805x35	16	185	36,1	5,14	От 8214

Таблица 3.10

#### Стоимость аккумуляторов

Наименование	Вес, кг	Напряжение, В	Емкость, Ач	Стоимость, \$
DJM 1245	14,9	12	45	950
DJM 1255	19	12	55	1100
DJM 1275	25	12	75	1375
DJM 12100	32	12	100	1725
DJM 12120	37,6	12	120	2125
DJM 12150	48,2	12	150	2700
DJM 12200	64	12	200	3300
Haze HZB 12230	70	12	230	4625

Таблица 3.11

#### Стоимость инверторов

Наименование	Номинальная мощность, Вт	Входное напряжение, В	Стоимость, \$
Powersine PS600-12	600	12	3950
Powersine PS800-24	800	24	4050
Powersine PS1000-12	1000	12	7087,5
Powersine PS1600-12	1600	12	10025
Simin SIM-1500P	1500	12/24	3612,5
Simin SIM-2000P	2000	12/24	4866,25
Simin SIM-3000PC	3000	12/24	8223,75

Таблица 3.12

## Расценки на строительные-монтажные работы

Вид проводимых работ	Стоимость услуги, \$
Демонтаж оборудования	820
Затяжка кабеля в п/э трубу	16,40
Монтаж, инсталляция аккумуляторной батареи более 120Ач	225
Монтаж, инсталляция аккумуляторной батареи до 120Ач	150
Монтаж, инсталляция инвертора более 2кВт	1500
Монтаж, инсталляция инвертора до 2кВт	900
Монтаж, инсталляция контроллера заряда (в зависимости от мощности)	150 – 750
Монтаж, инсталляция солнечного фотоэлектрического модуля более 100Вт	450
Монтаж, инсталляция солнечного фотоэлектрического модуля до 100Вт	300
Монтаж, инсталляция стабилизатора более 10кВт	900
Монтаж, инсталляция стабилизатора до 10кВт	600
Монтаж, подключение модуля синхронизации	1000
Перекоммутация автоматов	32
Подключение генератора к системе бесперебойного питания с ручным запуском	820
Подключение генератора с автоматическим режимом работы	1640
Прокладка кабелей хомутами (высота до 3м)	32,80
Прокладка короба сечением 40-100 мм на высоте до 3 м	24,60
Проход через бетон/стену толщиной до 550мм диаметром до18мм	328
Проход через кирпичную стену толщиной до 550мм диаметром до 18мм	164
Сборка, монтаж, инсталляция оборудования - устройств автоматики и защиты	820
Укладка кабеля в траншее	16,40

## 2. Расчет капитальных вложений.

По исходным данным, исходя из рассчитанной мощности системы и необходимого количества оборудования, а также оценки строительного-монтажных издержек, составляем таблицу 3.13, в которую вносим необходимые капитальные затраты.

Таблица 3.13

## 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  $i$  строки таблицы 4.5.

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.

### 3. 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. 3.14).

Таблица 3.14

Производственные затраты за 1 год работы системы

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

### 4. 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 3.15.

## Производственные доходы за 1 год работы системы

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

## 5. 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  $N_{fc} = T_1/10$ . Отбрасываем дробную часть, чтобы определить количество капитальных ремонтов, проведенных за срок эксплуатации системы.

При необходимости уточняем время окупаемости еще раз по формуле:

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

**Экономического обоснования фотоэлектрической системы**

## 1. Исходные данные.

В соответствии с предыдущим расчетом гелиосистемы для двухэтажного дома, выписываем необходимые данные для экономического обоснования:

- Количество солнечных батарей (KV 175):  $N^{CB} = 41$ ;
- Количество аккумуляторных батарей ( $q=200$  Ач,  $U=12$  В):  $N^{AB} = 24$ ;
- Количество произведенной за год электроэнергии (без электроэнергии, отданной в сеть):  $W_{Авт} = 16612$  кВтч;
- Количество энергии, взятой из сети:  $W_{Вх} = 2360$  кВтч;
- Количество электроэнергии, отданной в сеть:  $W_{Вых} = 2366$  кВтч.

## 2. Составляем смету капитальных вложений.

Таблица 3.16

## Капитальные вложения в первый год работы проекта

Наименование	Количество	Стоимость единицы, \$	Общая стоимость, \$
Солнечные батареи	41	971,25	39821,25
Аккумуляторы	24	412,5	9900
Инвертор	1	451,5	451,5
Монтаж солнечных батарей	41	56,25	2306,25
Монтаж аккумуляторов	24	28,125	675
Установка инвертора	1	112,5	112,5
Установка стабилизатора напряжения	1	75	75
Установка контроллера заряда	1	25	25
Прокладка кабелей	20	4,1	82
Установка устройств автоматики и защиты	1	102,5	102,5
		Итого:	53550

Определяем годовые затраты на текущий ремонт:

$$K_{\text{р}} = 53550 \cdot 0,01 = 535,5 \$;$$

## 3. Расчет производственных затрат.

Используя результаты предыдущих расчетов, составляем таблицу 3.17, в которую сводим все производственные затраты.

Таблица 3.17

## Производственные затраты за 1 год работы системы

Покупка электроэнергии из сети	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, \$	Стоимость электроэнергии, \$
	2360	0,03	73,75
Зарплата персонала	Количество человек	Средняя заработная плата 1 человека, \$	Фонд оплаты труда, грн
	1	250	250
		Итого:	323,75

## 4. Расчет производственных доходов.

Для расчета доходов и замещения топлива, определяем стоимость произведенной электроэнергии, включая ту энергию, которая была отдана в сеть. Стоимость единицы энергии, отданной в сеть, принимаем по условиям «зеленого тарифа», то есть как для потребителей второй группы с коэффициентом 2. Экономический эффект от замещения 1 кВтч сетевой электроэнергии принимаем как разницу между ценой на электроэнергию, купленную из сети, и ценой на электроэнергию, продаваемую в сеть в условиях «зеленого тарифа». Данные сводим в таблицу 3.18.

## Производственные доходы за 1 год работы системы

Замещение сетевой электроэнергии	Количество электроэнергии, кВтч	Стоимость 1 кВтч, \$	Стоимость электроэнергии, \$
	71243	0,03	2137,5

## 5. Расчет срока окупаемости системы.

Определяем срок окупаемости системы без учета капитальных ремонтов:

$$T_1 = \frac{53550}{2137,3 - 323,75 - 535,5} = 41,9 \text{ (лет)}.$$

## 3.3 Расчёт инвертора

Зная некоторые параметры инвертора: входное напряжение  $U_{вх.} = 220\text{В}$ , КПД  $\eta_{II} = 0,94$ , а также расчетную потребляемую мощность, например,  $P_p = 17\text{кВт}$ , а следовательно суммарную энергию, потребляемую зданием за неделю  $W_{нед} = 464,07 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{нед}$ , мы можем определить необходимое количество постоянного тока для питания инвертора, что в дальнейшем нам позволит определить необходимые параметры для выбора качества и количества фотоэлектрических модулей (ФЭМ) солнечных батарей, аккумуляторных батарей (АКБ) и импульсного стабилизатора напряжения (ИСН).

1. Определим необходимую нагрузку постоянного тока в неделю для питания инвертора:

$$P_{рнед.} = W_{нед} / \eta_{II}, (\text{кВт}\cdot\text{ч} / \text{неделя}),$$

где  $W_{нед}$  - суммарная энергия, потребляемая зданием в неделю. Она равна сумме энергии, потребляемой электроприборами и освещением.

$\eta_{II}$  – КПД инвертора,  $\eta_{II} = 0,94$ .

$$P_{рнед.} = 464,07 / 0,94 = 493,7 (\text{кВт}\cdot\text{ч} / \text{неделя}).$$

2. Определим количество постоянного тока в неделю, для питания инвертора:

$$A_{нед} = \frac{P_{рнед.}}{U_{вв}}, (\text{А}\cdot\text{ч} / \text{неделя}),$$

где  $U_{вх.}$  - входное напряжение инвертора.

$$A_{нед} = \frac{493,7}{220} = 2,24 (\text{кА}\cdot\text{ч} / \text{неделя}).$$

3. Определим необходимое количество постоянного тока в день (за сутки), для питания инвертора:

$$A_{дн} = \frac{A_{нед}}{n}, (\text{А}\cdot\text{ч} / \text{день})$$

где  $n$  - количество рабочих дней, в которые происходит наибольшее потребление, принимаем 5 дней.

$$A_{\text{он}} = \frac{2244}{5} = 448,8 \approx 449(\text{А} \cdot \text{ч}) \text{ в день.}$$

### **Выбор инвертора для проектируемой системы электроснабжения**

При выборе инвертора для нашей системы следует руководствоваться следующими принципами: простота и надежность конструкции, простота в эксплуатации, невысокая стоимость наряду с такими характеристиками, как высокая точность поддержания частоты и значения выходного напряжения, высокая перегрузочная способность, синусоидальная форма выходного напряжения. При всем этом требуется однофазное выходное напряжение и довольно высокая мощность инвертора, для обеспечения общей нагрузки на инвертор в 17 кВт.

Поэтому предпочтение было отдано инверторам корпорации Benning серии INVERTRONIC, а именно инвертору типа DIN:G220 E230/.../2rfg, внешний вид которого представлен на рис. 3.3.

Инверторный силовой блок преобразует постоянный ток в однофазный переменный синусоидальный ток с постоянной амплитудой и стабильной частотой. Выходное напряжение не зависит от искажений или перебоев в сети.

В состав инвертора встроен байпас.

В случае перебоев или пропадания сети солнечная или аккумуляторная батарея, подключенная к входу постоянного тока, подключается моментально, без перерыва в питании потребителя. Если достигается уровень низкого разряда батарей, инвертор автоматически выключается, своевременно выдавая предупреждение об отключении.

Автоматическое переключение нагрузки на байпас или любой другой доступный ввод происходит в случае выхода инвертора за рамки предустановленного диапазона.

Статический байпас состоит из полупроводникового ключа в цепи байпаса. В случае допустимого отклонения выходного напряжения от установленного значения он автоматически и бесперебойно переключает нагрузку на сеть. Модуль статического байпаса задействует бесперебойный статический ключ для переключения сети в заданном диапазоне.

Ключ может быть приведен в действие как вручную, так и автоматически - контроллером. Микропроцессорный мониторинг автономен, и предотвращает сбои в работе модуля и любые нелогичные переключения статического байпаса. Так, например, переключение возможно в ручном или автоматическом режиме только в случае если напряжение, частота и фазность инвертора синхронизированы с байпасом. Отклонения от заданных значений по частоте приведут к блокировке переключения, или при отказе инвертора будет проведено переключение с прерыванием. Обратное переключение может быть произведено только в случае нормально работающего инвертора, и в любом случае является непрерывным.



Рис.3.3. Внешний вид инвертора: передняя панель, шкаф инвертора в закрытом и открытом состоянии.

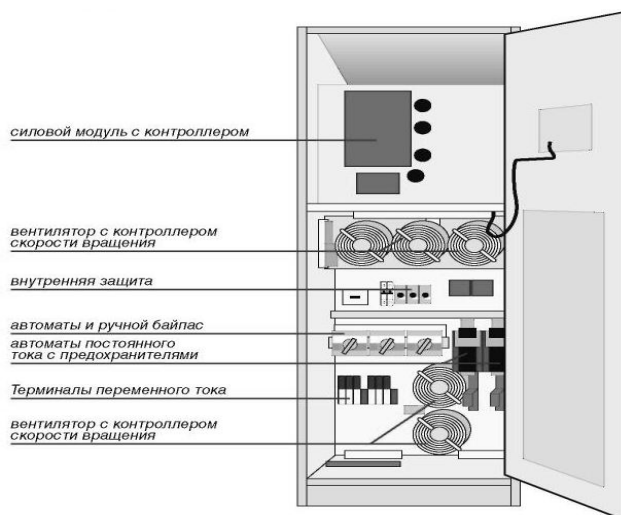


Рис.3.4. Внутренняя структура шкафа инвертора.

Статический байпас имеет перегрузочную способность 150% на 10 мин., и 1000% на 100 мс. Если прошла перегрузка или короткое замыкание байпас автоматически переводит нагрузку на инвертор, в случае если он работает в нормальном режиме. Статический байпас состоит из антипараллельного тиристорного блока с микропроцессорным управлением. Переключение с инвертора на сеть и обратно осуществляется в синхронизированном режиме без разрыва цепи. Внутренняя структура шкафа инвертора представлена на рис. 3.4.

Технические данные инвертора представлены в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Технические данные инвертора INVERTRONIC DIN:G220 E230/.../2rfg-WDG 20.

Номинальная выходная мощность (Cos φ = 0,8): 20кВА
<u>ВХОД ИНВЕРТОРА</u>
Входное напряжение: 220В
Допускаемое отклонение входного напряжения: от -15 до +20%
Коэффициент пульсации: < 5% эфф.
Входной ток при cos φ=0,8 и номинальном входном напряжении: 80А
Мощность при работе от батарей: 17,6 кВт
КПД на номинальной нагрузке: 94%
<u>ВЫХОД ИНВЕРТОРА</u>
Выходное напряжение: 1/N 230 PE
Пределы регулирования выходного напряжения: ±5%
Стабилизация напряжения:
-динамическая: ±4% для 100% изменения нагрузки
Время регулирования: <10мс
Номинальный выходной ток: 86А
Допускаемая перегрузка: 50% на 60с; 25% на 10 мин; 10% на 20мин
Ток короткого замыкания: устойчив к токам короткого замыкания; I <sub>кз</sub> = 3 x I <sub>ном</sub> в течение 20с
Частота на выходе: 50Гц (60Гц) ±0,1%; кварцевая или сетевая синхронизация
Форма выходного сигнала: синусоида
<u>СТАТИЧЕСКИЙ БАЙПАС</u>
Перегрузочная способность: 150% на 10мин, 500% на 100мс
Время переключения:
-при сбое инвертора: <1%мс (бесперебойно)
-при перегрузке или ручном включении: <1%мс (бесперебойно)
<u>ОБЩИЕ ДАННЫЕ</u>
Размеры:
-Высота: 2000
-Ширина: 800
-Глубина: 600

Производитель: Германия. Стоимость: 1875 \$.

Таким образом, для работы в данной системе принимается инвертор INVERTRONIC DIN:G220 E230/.../2rfg-WDG 20, имеющий полную выходную мощность 20 кВА, входное напряжение постоянного тока 220В. Выбор мощности, несколько большей, чем расчетная активная (17 кВт), обусловлен необходимостью иметь запас по мощности для обеспечения пусковых токов некоторого оборудования (например: холодильник, электродвигатель, большая часть радиотехники и т.д.), а также тем, что активная выходная мощность инвертора будет несколько ниже полной (порядка 17,4 кВт).

### 3.4 Устройство заряда-разряда аккумуляторных батарей

Рассмотрим расчет устройства, определяющего уровень «заряд»-«разряд» номинального напряжения аккумулятора.

Для расчета контроля напряжения аккумуляторных батарей предлагается блок-схема (рис.3.5) принципиальная схема (рис. 3.6) и методика расчета.

Как известно, при напряжении на клеммах 12-тивольтового аккумулятора равном 10,2 В аккумулятор считается разряженным; при напряжении 14,4 В он считается заряженным.

Для определения этих порогов служат два компаратора (рис.3.6) DA1-1 и DA1-2, собранные на базе сдвоенного операционного усилителя К140УД 2. Питается устройство от этого же аккумулятора. Датчиком напряжения аккумулятора служит сам аккумулятор. Делителем напряжения R5, R6 напряжение аккумулятора делится на два. Источником напряжения установки:  $U_{акк} < 10,2В$  и  $U_{акк} > 14,4В$  служит параметрический стабилизатор, собранный на элементах. VD1, R1, C1 (рис.3.6). Напряжение стабилизации выбирается ниже нижнего порога (аккумулятор считается разряженным).

Рассчитаем стабилизатор. В качестве VD1 выберем стабилитрон типа 2С482А с техническими данными  $U_{ст}=8,2 В$  - напряжение стабилизации;  $I_{ст\ min}=1$  мА - ток стабилизации минимальный. При  $I_{ст}=5$  мА:  $U_{ст}=8,2 В$ ; максимальный ток стабилизации  $I_{ст\ max}=96$  мА.

Для расчета сопротивления R1, учитывая, что  $U_{\min\ акк} \leq 10,2 В$ , выбираем:

$$U_{\min\ акк} = 10 В; U_{ст} = 8,2 В; I_{ст\ min} = 5 мА$$

$$R1 = \frac{U_{\min\ акк} - U_{ст}}{I_{ст\ min}} = \frac{10 - 8,2}{5 \cdot 10^{-3}} = 360 (Ом) = 0,36 (кОм)$$

Проверим, не будут ли превышены предельно допустимые параметры стабилитрона при напряжении заряженного аккумулятора  $U_{\max\ акк} = 14,4 В$ .

$$I_{ст} = \frac{U_{\max\ акк} - U_{ст}}{R1} = \frac{14,4 - 8,2}{360} = 0,0172 (А) = 17,2 (мА) \cdot$$

Так как  $I_{ст} < I_{ст\ max}$ ;  $17,2 мА < 96 мА$ , значит предельно допустимые параметры превышены не будут. Следовательно, стабилитрон выбран верно.

При выборе стабилитрона необходимо, чтобы при требуемом напряжении стабилизации, максимальный ток стабилизации был высок.

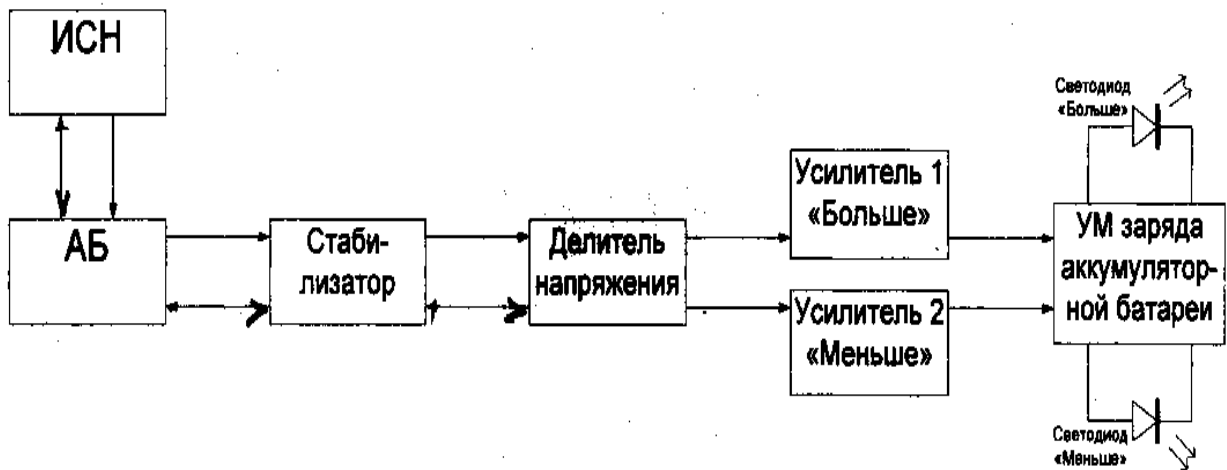


Рис. 3.5. Блок-схема устройства контроля заряда аккумуляторных батарей.

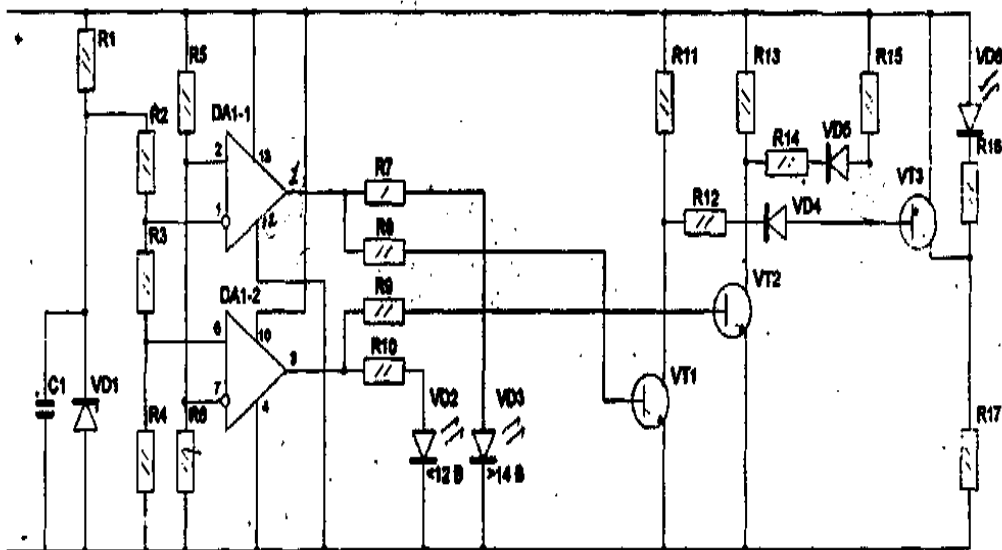


Рис.3.6. Принципиальная схема устройства контроля заряда аккумуляторных батарей.

По справочной литературе подбираем требуемую микросхему DA1. В данном случае подобрана микросхема - операционный усилитель типа К140УД20. Входной  $I_{вх}$  и выходной  $I_{вых}$  токи выбранной микросхемы:  $I_{вх}=0,2$  мА;  $I_{вых}=20$  мА.

Ток через делитель для установки пороговых опорных значений напряжения 10,2 В и 14,4 В находится следующим образом. Обычно ток через делитель выбирают из условия

$$I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр.},$$

где  $I_{нагр.}$  – ток через нагрузку;

$I_{д}$  – ток через делитель.

Для рассматриваемого случая  $I_{нагр.} = I_{вх}$  значит

$$I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot 0,2 \geq 0,4 \div 0,8 \text{ мА.}$$

Выбираем ток делителя  $I_{д1}=1$  мА.

Определим сопротивления делителя R2, R3, R4.

Согласно закону Ома:

$$R_{д1} = \frac{U_{см}}{I_{д1}} = \frac{8,2}{1} = 8,2 (\text{кОм}).$$

Ранее было определено, что напряжение аккумулятора резисторами R5 и R6 делится на два. Пусть R5, R6 есть делитель на два, тогда согласно выше изложенному  $R_{д2}$  должно быть  $\geq 1$  мА. При известном  $U_{\min \text{ акк}}$  имеем

$$R_{д2} = \frac{10}{1} = 10 (\text{кОм}).$$

При напряжении заряженного аккумулятора

$$I_{д2} = \frac{U_{\max \text{ акк}}}{R_{д2}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^3} = 0,00144 (\text{А}) = 1,44 (\text{мА}),$$

что  $> (2 \div 4) I_{нагр.}$

Сопротивления R5 и R6 равны.  $R5=R6$ , при делении напряжения аккумулятора, следовательно:

$$R5 = R6 = \frac{10}{2} = 5 (\text{кОм}).$$

Ближайший номинал, чтобы выполнялось  $I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр.}$  будет равен 4,7 кОм.

Следовательно  $R5 = R6 = 4,7 \text{ кОм}$ .

Напряжение U на делителе будет меняться от 5,1 В до 7,2 В при изменении напряжения на аккумуляторе от 10,2 В до 14,4 В.

Определим номиналы резисторов, входящих в делитель. Так как при изменении напряжения на аккумуляторе в вышеуказанных пределах:  $I_{д1}=1$  мА, значит

$$R4 = \frac{U_{1 \text{ пор.}}}{I_{д1}},$$

где  $U_{1 \text{ пор.}}$  - значение напряжения при разряженном аккумуляторе, равное  $U_{1 \text{ пор.}}=5,1 \text{ В}$ .

$$R4 = \frac{5,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 5100(\text{Ом}) = 5,1(\text{кОм}).$$

Второе пороговое напряжение  $U_{2 \text{ пор.}} = 7,2 \text{ В}$ , то есть

$$R3 + R4 = \frac{7,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,2(\text{кОм}).$$

Тогда

$$\begin{aligned} R3 + R4 &= 7,2, \\ R3 &= 7,2 \cdot 10^3 - R4 = 7,2 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3 = 2100(\text{Ом}), \\ R2 + R3 + R4 &= 8,2 (\text{кОм}), \\ R2 &= R_{\text{д1}} - (R3 + R4) = 8,2 - 7,2 = 1 (\text{кОм}). \end{aligned}$$

Если напряжение на резисторе R6 ниже опорного, стабильного на R4, то на выходе инвертирующего компаратора DA1-2 присутствует напряжение  $+U_{\text{ст}}$  питания и светится светоизлучающий диод VD2. VD2 подключен через токоограничивающий резистор R9. Выбираем по справочнику светоизлучающий диод типа АЛ102Г красного цвета, максимально допустимый прямой ток 10 мА. Примем

$$I_{\text{maxVD2}} = 9 \text{ мА, тогда}$$

$$R9 = \frac{U_{\text{выхDA1-2}} - U_{\text{д}}}{I_{\text{maxVD2}}},$$

где  $U_{\text{выхDA1-2}} \approx 10 \text{ В}$  (значение при разряде);  $U_{\text{д}} \leq 3 \text{ В}$ ;

$$R9 = \frac{10 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 777(\text{Ом}) = 0,777(\text{кОм}).$$

Ближайший номинал  $R9 = 820 \text{ Ом}$ .

Если напряжение на резисторе R6 выше опорного, стабильного на R4, то на выходе инвертирующего компаратора DA1-2 присутствует напряжение  $-U_{\text{ст}}$  питания. Светоизлучающий диод VD2 не светится.

Если напряжение на резисторе R3 (опорное, стабильное) выше напряжения на резисторе R6, на котором оно в пределах  $5,1 + 7,2 \text{ В}$  на выходе неинвертирующего компаратора DA1-1 соответствует  $-U_{\text{ист}}$  питания, светоизлучающий диод VD3 не светится.

Если напряжение на резисторе R6 превышает опорное, стабильное на R3, то на выходе неинвертирующего компаратора DA1-1 присутствует напряжение  $+U_{\text{ист}}$  питания и светоизлучающий диод VD3 светится, проходит ток через резистор R7, величина которого рассчитывается также, как и R9, но по значению напряжения для заряженного аккумулятора с помощью выражения:

$$R7 = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267(\text{Ом}) \approx 1,3(\text{кОм}).$$

Следовательно, когда напряжение на аккумуляторе  $> 10,2 \text{ В}$  и  $< 14,4 \text{ В}$ , выход DA1-1 и выход DA1-2 находятся в состоянии «откл», то есть на этих выходах уровень  $-U_{\text{ист}}$  питания, а значит VT1 и VT2 находятся в режиме отсечки, то есть  $U_{\text{к VT1}}$  и  $U_{\text{г VT2}}$  равно  $U_{\text{ист}}$  питания. Через делитель R14, R16, R17, а также диоды VD4 и VD5 ток не течет, следовательно цепочка VD6, R18, R19 не шунтируется транзистором VT3 и излучающий светодиод светится, сигнализируя  $U_{\text{акк. ном}}$ .

Элементы VT1; VT2; VT3; VD5; VD6; R8; R10; R13; R14; R15; R16; R17 выполняют логическую функцию «И» (функция логического умножения).

Найдем номиналы этих элементов. Используем для этого основные соотношения транзистора:

$$I_k = \beta \cdot I_b,$$

где  $I_k$  - ток коллектора;

$I_b$  - ток базы;

$\beta$  - коэффициент обратной связи.

Примем токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2  $I_k = 10$  мА при  $U_{акк. \max} = 14,4$  В, откуда по закону Ома

$$R_k = \frac{U_{\max акк}}{I_k} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 1440 \text{ (Ом)} = 1,44 \text{ (кОм)}.$$

Выбираем ближайший номинал  $R_k = 1,5$  кОм. Следовательно,  $R_{13} = R_{15} = 1,5$  кОм, тогда найдем базовый ток  $I_b$ , откуда рассчитаем сопротивление  $R_b$ .

В данном случае подходят транзисторы КТ503В, у которых  $\beta_{\min} = 40$ ;  $I_k = 150$  мА;  $U_{кэ} = 40$  В.

$$I_b = \frac{I_k}{\beta} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ мА}.$$

Найдем R10. Так как при  $U_{\min акк.} = 10,2$  В на выходе DA1 -  $1 + U_{\min акк.} = 10,2$  В.

Следовательно:

$$R_{10} = \frac{U_{\min акк.}}{I_b} = \frac{10,2}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 40800 \text{ (Ом)} = 40,8 \text{ (кОм)}.$$

Ближайший стандартный номинал 39 кОм.  $R_{10} = 39$  кОм.

Найдем R8 также при  $U_{\max акк.} = 14,4$  В. На выходе DA1-1 +  $U_{\max акк.}$ , значит:

$$R_8 = \frac{U_{\max акк.}}{I_b} = \frac{14,4}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 57600 \text{ (Ом)} \approx 58 \text{ (кОм)}$$

Ближайший стандартный номинал 56 кОм.  $R_8 = 56$  кОм.

В качестве транзистора VT3 подходит транзистор типа КТ502В, имеющий технические данные:  $\beta_{\min} = 40$ ;  $I_k = 150$  мА;  $U_{кэ} = 40$  В;  $U_{бэ \max} = 1,2$  В.

Определим значения сопротивлений R12; R14; R15; R16; R17. Рассчитаем балластный резистор R16+R17 в цепи светоизлучающего диода VD6. Чтобы не превысить предельно допустимый ток через VD6, примем степень насыщения  $N = 1,5$ . Следовательно:

$$U'_{\text{нас.бэ}} = U_{\text{бэ max.}} \cdot 1,5 = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ В.}$$

Максимальный прямой ток через VD6 также, как и через VD2 и VD3 равен 9 мА.

Балластный резистор R16+R17 рассчитывается по формуле:

$$(R_{16} + R_{17}) = \frac{U_{\max акк.} - U_{\text{д}}}{I_{\max}} = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267 \text{ (Ом)} \approx 1,3 \text{ (кОм)}.$$

Произвольно примем  $R_{16} = R_{17}$ :

$$R16 = R17 = \frac{R16 + R17}{2} = \frac{1300}{2} = 650(\text{Ом}).$$

Ближайший стандартный номинал 680 Ом, тогда  $R16=R17=680$  Ом.

В открытом, насыщенном состоянии ток  $I_{K \max}$  (или  $I_{KVT3}$ ) транзистора VT3 равен

$$I_{K \max} = \frac{U_{\max \text{акк}}}{R17} = \frac{14,4}{0,68 \cdot 10^3} = 0,021(\text{А}) = 21(\text{мА}).$$

Следовательно

$$I_{\beta VT3} = \frac{I_{KVT3}}{\beta} = \frac{21}{40} = 0,525(\text{мА}).$$

По ранее приведенному выражению ток  $I_D$ :

$$I_D > (2 \div 4) \cdot I_{\beta VT3} > 1,05 \div 2,1(\text{мА}).$$

Примем  $I_D = 2$  мА при  $U'_{\text{нас.бэ}} = 1,8$  В. В этом случае сопротивление R15 равно:

$$R15 = \frac{U'_{\text{нас.бэ}}}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9(\text{кОм}).$$

Ближайший стандартный номинал  $R15=910$  Ом.

Когда транзистор VT1 открыт, то  $U_{\text{акк max}} = 14,4$  В.

Тогда  $U_{R14+VD4} = U_{\text{акк max}} - U'_{\text{бэ нас}} = 14,4 - 1,8 = 12,6$  В.

$$R12 = \frac{U_{R14} - U_{VD4}}{I_D} = \frac{12,6 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 5950(\text{Ом}) = 5,95(\text{кОм}),$$

где  $U_{VD4} \approx 0,7$  В.

Ближайший стандартный номинал 5,9 кОм, то есть,  $R12=5,9$  кОм.

Когда транзистор VT2 открыт  $U_{\min \text{акк.}} = 10,2$  В.

Определим сопротивление R14. Напряжение на R14 и диоде VD5 определяется из выражения:

$$U_{R14+VD5} = U_{\min \text{акк.}} - U'_{\text{бэ}} = 10,2 - 1,8 = 8,4(\text{В}),$$

$$R14 = \frac{U_{R14} - U_{VD5}}{I_D} = \frac{8,4 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 3850(\text{Ом}) = 3,85(\text{кОм}).$$

Ближайший стандартный номинал 3,9 кОм, значит,  $R14=3,9$  кОм.

$U_{VD5}$  и  $U_{VD4}$  - прямое падение напряжения на кремниевых диодах, равное 0,7 В. В качестве диодов VD4 и VD5 можно выбрать маломощные кремниевые диоды типа КД522А.

Конденсатор фильтра выбираем произвольно, типа К50-29 - электролитический конденсатор емкостью 470 мкФ · 16 В. При выборе конденсатора необходимо, чтобы напряжение на конденсаторе было больше напряжения, на которое он будет подключаться.

На рис. 3.7 показана схема преобразования постоянного напряжения солнечных батарей в переменное трехфазное напряжение при подключении к промышленной сети.

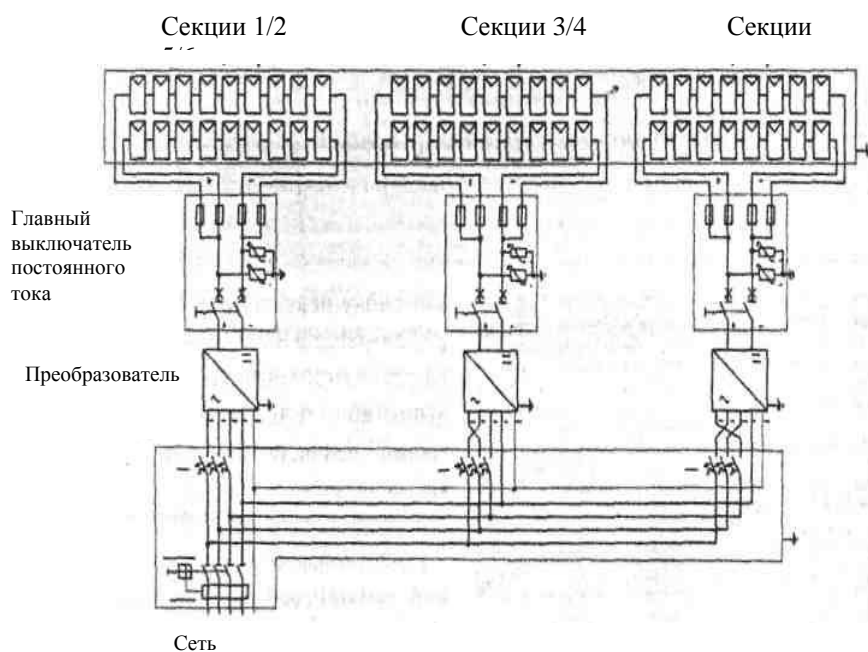
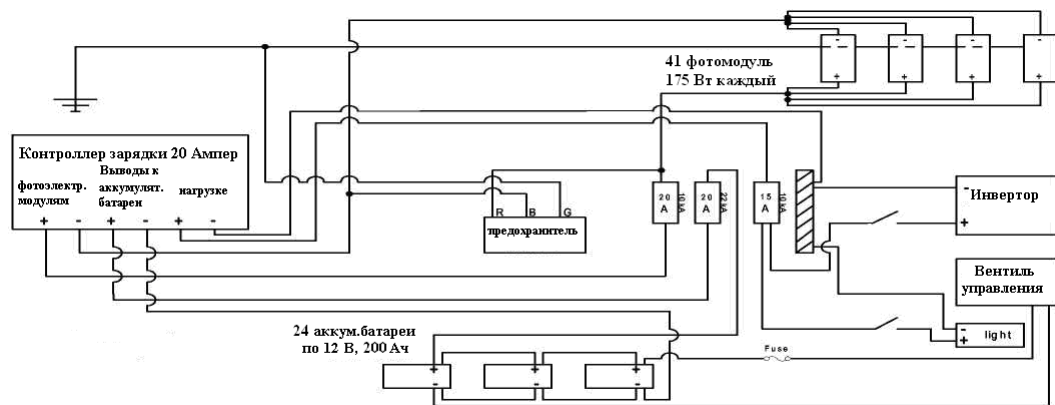


Рис. 3.7. Преобразование постоянного напряжения солнечных батарей в переменное трехфазное напряжение и подключение к промышленной сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Система данного типа требует, чтобы фотоэлектрическое поле имело размеры, обеспечивающие в период нормальной инсоляции как непосредственно нагрузку рабочего электрического контура, так и подзарядку аккумуляторных батарей.

2. Для работы насосов в схемах теплоснабжения необходима электрическая энергия, источником которой могут служить фотоэлектрические батареи.

3. В условиях республики комбинированное использование тепловых насосов и солнечных установок является перспективным в плане энерго- и экономической эффективности при новом строительстве жилых домов. В этом случае срок окупаемости с учетом стоимости экономии электро- и теплоэнергии, что ненамного больше показателей развитых стран

$$\text{\$ } 77\ 865 / (\text{\$ } 0,03 \times 60000 + \text{\$ } 15,5 \times 640) = 6,65 \text{ лет}$$

4. Составлена методика и выполнен расчет фотоэлектрической системы для энергоснабжения жилого дома коттеджного типа при климатических условиях г.Ташкента.

## ЛИТЕРАТУРА

### *по 1 главе*

1. Times Square New York City. Highlighting high performance. US DOE. 2001.
2. Energy efficiency in a Manhattan skyscraper. CADDET. 2000.
3. Environmental Guidelines For Tenant Improvements. Conde Nast Building@Four Times Square. Система электроснабжения на солнечных батареях
4. Поваров О. С., Томаров Г. В. Развитие геотермальной энергетики в России и за рубежом // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3.
5. Шетов В. Х., Бутузов В. А. Геотермальная энергетика // Энергосбережение. – 2006 – № 4. – С.70–71.
6. Бутузов В. А. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии. Дис... д-ра техн. наук. – М., 2004.

### *по 2 главе*

1. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Сборник материалов. /Под общей редакцией П.П.Безруких/. МЭИ. 2008.
2. А.И.Анарбаев, Р.А.Захидов, Н.И.Орлова. Гелиотехника. 2007. №1. с.14-20.
3. С.Танака, Р.Суда. Жилые дома с автономным теплохладоснабжением. М.Стройиздат.1989.
4. Материалы Special Exhibition Intersolar, May 27-29, 2009. Munich, Germany.
5. Техническая документация ОАО ИНСОЛАР-ИНВЕСТ (Россия). Теплонасосные системы теплоснабжения. М. 2008.
6. А.И.Анарбаев, Р.А.Захидов, Н.И.Орлова, У.А.Таджиев. Гелиотехника. 2008. №2. с.62-73.

### *по 3 главе*

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>].