

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и
систем
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Разработка комплексной системы энергообеспечения автономной
мобильной группировки технических средств»

Студент

Д.О. Фадеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., В.И. Платов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Проблемы электроснабжения мобильных группировок.....	5
1.1 Анализ задач и состава мобильных группировок.....	5
1.2 Базовая версия – полевой госпиталь	6
1.3 Расчет минимальных потребностей модуля в электроэнергии	12
1.4 Электроснабжение медицинского оборудования	20
1.5 Электроснабжение системы связи.....	24
1.6 Выводы по 1 разделу.....	36
2 Способы длительного автономного электроснабжения	37
2.1 Бензиновые и дизельные электроагрегаты.....	37
2.2 Солнечные батареи	41
2.3 Ветряные электрогенераторы	52
2.4 Термоэлектрогенераторы	60
2.5 Выводы по 2 разделу.....	67
3 Предложения по электроснабжению мобильных группировок	68
3.1 Выбор накопителей электрической энергии	69
3.1.1 Свинцовые аккумуляторы.....	69
3.1.2 Щелочные аккумуляторы	71
3.1.3 Литиевые аккумуляторы.....	73
3.1.4 Топливные элементы	76
3.1.5 Ионисторы.....	78
3.2 Модуль 0,5 кВт на солнечных батареях	80
3.3 Ветряная электростанция	82
3.4 Конструкция термоэлектрогенератора	83
3.5 Безопасность проекта и оценка его стоимости	84
3.6 Выводы по 3 разделу.....	85
Заключение	85
Список используемых источников.....	86

ВВЕДЕНИЕ

К мобильным группировкам относятся объединения сил и средств различного назначения, выполняющие свои задачи на удалении от мест постоянной дислокации. Они могут относиться к Министерству Обороны, МЧС и другим ведомствам. Нельзя не упомянуть и группы медиков, развертывающие полевые госпитали для борьбы с пандемией коронавируса.

Одним из важнейших условий успешного выполнения своих задач такими группировками является их обеспечение электрической энергией. Хотя они, как правило, имеют свои штатные источники питания, однако иногда, и не так уж редко, возникают нештатные ситуации, когда выработка электроэнергии становится трудноразрешимой проблемой. Из множества исторических примеров наиболее ярким можно считать дрейф во льдах ледокола Седов, который длился 812 дней - с апреля 1938 до января 1940г. Все это время 15 моряков во главе с капитаном поддерживали связь с большой землей и проводили научные исследования. Данных об энергообеспечении корабля нет, но, несомненно, это была непростая задача.

Целью диссертационного исследования является разработка технических предложений по обеспечению надежного электроснабжения мобильных группировок, действующих автономно длительное время в нештатных ситуациях.

В соответствии с указанной целью поставлены следующие задачи:

1. Определение электроэнергетических потребностей мобильных группировок.
2. Анализ возможностей солнечных батарей и ветроэлектрогенераторов в различных условиях и определение способов принятия решения по их использованию.
3. Разработка конструкции термоэлектрогенератора мощностью не менее 0,5 кВт для группировок, действующих в условиях неограниченного количества топлива.

Современные мобильные группировки имеют гораздо больше шансов на своевременную помощь, чем вышеупомянутый ледокол «Седов», но нужно рассматривать и наихудшие варианты и заблаговременно к ним готовиться. При этом условия можно разделить на 4 группы по первичным источникам энергии [16]:

1. Много солнечного света.
2. Постоянно дуют сильные ветры, например, в горах или на побережье.
3. Неограниченный запас топлива, например, лесистая местность.
4. Нет ничего, кроме собственной мускулатуры.

В нормальном режиме работы группировок предполагается наличие доступа к местным электрическим сетям или достаточный запас моторного топлива для работы бензиновых и дизельных электроагрегатов. В случаях нарушения планового режима работы в результате катаклизмов, а также при увеличении продолжительности периода работы может возникнуть необходимость поиска новых источников электропитания. В настоящей работе исследуются возможности использования альтернативных источников питания, к которым относятся [8]:

1. Солнечные батареи,
2. Ветроэлектростанции,
3. Термоэлектрогенераторы.
4. Генераторы с ножным приводом

1 Проблемы электроснабжения мобильных группировок

1.1 Анализ задач и состава мобильных группировок

Мобильные группировки сил и средств по своим задачам и составу чрезвычайно разнообразны, поэтому для дальнейших исследований необходимо конкретизировать это понятие. В общем случае, к таковым можно отнести любые группы, действующие на значительном удалении от основных сил – партизанские отряды, геологоразведочные экспедиции, отряды МЧС, военные группировки. Проведем их систематизацию и разделим условно на следующие категории:

1. Военные части и подразделения, действующие в отрыве от основных сил. Их энергообеспечение решается по правилам, установленным Министерством обороны.
2. Относительно стандартные группировки сил МЧС, МВД, ФСБ и других ведомств, например, группы, привлекаемые для тушения природных пожаров или при других стихийных бедствиях. Их энергоснабжение также возложено на вышеуказанные ведомства.
3. Нестандартные группировки. Так, например, сейчас для борьбы с эпидемией коронавируса формируются мобильные группы медиков с соответствующим оборудованием. Их состав во многом зависит от конкретной ситуации и ее развития. Многое здесь может измениться, поэтому задачи энергообеспечения таких группировок являются актуальными. Именно таким задачам и посвящена настоящая работа.

В качестве базовой группировки выберем полевой госпиталь, например, развернутый в Бергамо, с которого начиналась работа наших медиков в Италии. Результаты исследований по его электроснабжению можно будет в дальнейшем экстраполировать на другие объекты.

1.2 Базовая версия – полевой госпиталь

В настоящее время наша страна направляет для помощи в борьбе с коронавирусом мобильные госпитали. Подобные действия проводились и ранее, например, для борьбы с эпидемиями в Африке. Как показывает опыт, в работе таких организаций не все идет гладко, многие ситуации оказываются неожиданными. В связи с этим, нужно рассмотреть возможность работы медицинских мобильных группировок в нештатных ситуациях, когда могут быть недоступны плановые источники энергии. Так, например, было во время землетрясения в Армении. Чтобы сохранить работоспособность полевого госпиталя, необходимо предусмотреть возможность его перехода на полностью автономное электропитание.

За основу целесообразно взять полевые госпитали, которые наша страна сейчас отправляет в Италию. Они разработаны с учетом опыта мировой и российской медицины в экстремальных условиях и оснащены самым необходимым и современным оборудованием. При этом нужно учесть, что кроме основного электрооборудования, есть еще система жизнеобеспечения, а также ряд вспомогательных устройств, необходимых для работы в условиях эпидемии – кварцевых ламп, стерилизаторов и т.п. За основу можно взять госпиталь, который наша страна направила в Италию для борьбы с эпидемией коронавируса. Он имеет 142 койко-места и рассчитан на работу 200 сотрудников [25].

В зависимости от решаемых задач, полевой госпиталь может быть укомплектован различными специалистами. Для определения их перечня проанализируем с точки зрения целесообразности наличия в полевом варианте специалистов стационарной поликлиники. При этом будем исходить из того, что полевой госпиталь – компактная организация, в которой есть только самое необходимое, без излишеств. То есть полевой

госпиталь – не кабинет косметолога или массажиста и даже не роддом на выезде. Итак, в обычной поликлинике работают [3] :

1. Акушер
2. Андролог
3. Анестезиолог
4. Венеролог
5. Ветеринар
6. Вирусолог
7. Гастроэнтеролог
8. Гинеколог
9. Дерматолог
- 10.Диетолог
- 11.Инфекционист
- 12.Кардиолог
- 13.Косметолог
- 14.Мануалист
- 15.Массажист
- 16.Невролог
- 17.Невропатолог
- 18.Прозектор
- 19.Логопед
- 20.Окулист
- 21.Онколог
- 22.Педиатр
- 23.Проктолог
- 24.Психиатр
- 25.Рентгенолог
- 26.Реаниматолог
- 27.Сексолог
- 28.Стоматолог

- 29.Терапевт
- 30.Травматолог
- 31.Уролог
- 32.Хирург
- 33.Лаборант
- 34.Врачи скорой помощи

Абсолютно необходимыми из них можно считать следующих специалистов:

1. Анестезиолог
2. Вирусолог
3. Гастроэнтеролог
4. Гинеколог
5. Дерматолог
6. Инфекционист
7. Кардиолог
8. Невролог
9. Невропатолог
- 10.Педиатр
- 11.Психиатр
- 12.Рентгенолог
- 13.Реаниматолог
- 14.Стоматолог
- 15.Терапевт
- 16.Травматолог
- 17.Хирург
- 18.Лаборант
- 19.Врачи скорой помощи.

Каждый из вышеуказанных специалистов использует свое профессиональное оборудование, перечень которого будет сформирован далее.

Рассмотрим оргштатную структуру стационарного медучреждения, чтобы определить перечень отделений полевого госпиталя. Основными отделениями стационарного госпиталя считаются [3] :

1. Приемное
2. Операционное
3. Отделение анестезиологии и реанимации
4. Хирургическое
5. Онкологическое
6. Гинекологическое
7. Урологическое
8. Травматологическое
9. Терапевтическое
10. Неврологическое
11. Инфекционное
12. Отделение реабилитации
13. Отделение гемодиализа
14. Отделение функциональной диагностики
15. Отделение УЗИ
16. Эндоскопическое
17. Рентгенологическое
18. Лаборатория

Исключим из этого списка отделения, без которых полевой госпиталь может обойтись. Останутся:

1. Приемное
2. Отделение анестезиологии и реанимации
3. Хирургическое
4. Травматологическое
5. Терапевтическое
6. Неврологическое
7. Инфекционное

8. Отделение функциональной диагностики и УЗИ
9. Рентгенологическое
10. Лаборатория

С целью минимизации занимаемого объема и площадей некоторые отделения можно совместить, однако часть отделений должна сохранить автономность, например, инфекционное. Тогда организационно-штатная структура полевого госпиталя может включать:

1. Организационный отдел, в том числе, приемное отделение.
2. Хирургическое
3. Травматологическое
4. Терапевтическое
5. Неврологическое
6. Отделение комплексной диагностики (УЗИ, рентген, функциональная (
7. Лаборатория
8. Процедурный кабинет.

Оборудование госпиталя может размещаться в надувных конструкциях, специально выпускаемых промышленностью для этой цели [23]. Их размеры могут варьироваться в широких пределах по желанию заказчика. Внешний вид такого госпиталя представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Пневмокаркасная конструкция для полевого госпиталя

Развернутый в Италии для помощи в борьбе с коронавирусом госпиталь имеет 142 койко-места и рассчитан на работу персонала из 200 человек. Очевидно, что его элементы будут размещаться во множестве таких конструкций. Различия между ними будут заключаться только в составе оборудования.

Вначале рассмотрим вариант помещения общего назначения, то есть без специального медицинского оборудования. К ним относятся помещения для персонала (200 человек в вышеуказанном примере итальянского госпиталя), а также помещения для больных, не требующих энергоемкой аппаратуры. К последним можно отнести палаты, где больные получают лечение в порядке обхода медсестер. Кроме того, сюда же относятся полевые столовые и другие структуры, не связанные с выполнением конкретных медицинских процедур. Таким образом, задача сводится к определению энергетических потребностей одной палатки – модуля общего типа. Общие потребности в электроэнергии для данной категории объектов можно определить простым суммированием, исходя из числа модулей.

Поскольку размеры могут быть заданы заказчиком, для определенности примем 8x15 м из следующих соображений. Наиболее компактное расположение коек в отделении для лежачих больных показано на рисунке 2.

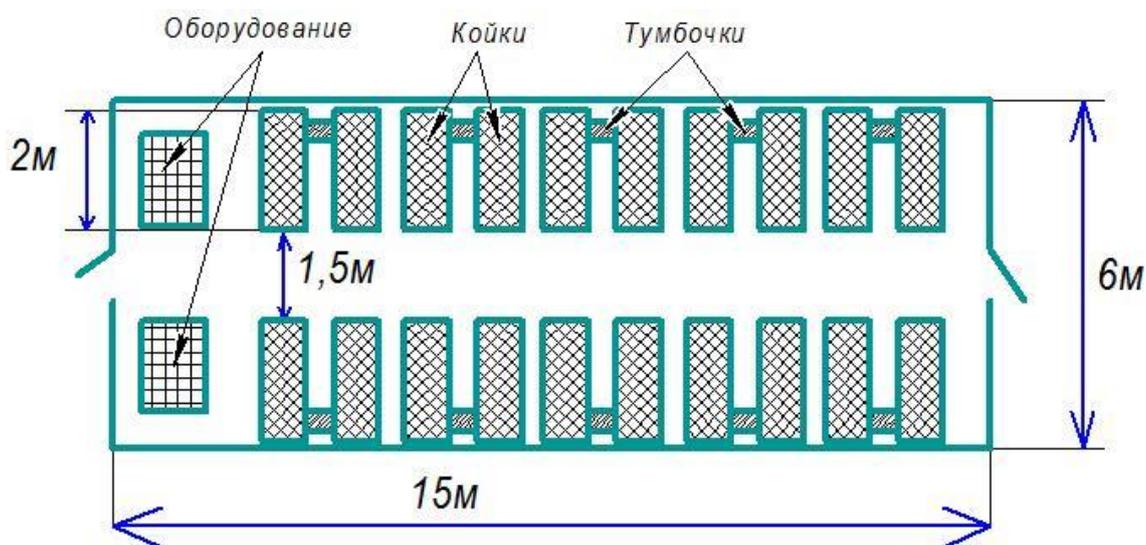


Рисунок 2 – Вариант внутреннего расположения отделения

1.3 Расчет минимальных потребностей модуля в электроэнергии

В соответствии с принятыми размерами, на 1 койко-место приходится площадь

$$S_{км} = S_{общ} / n = 4,5 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Из электрических нагрузок на данном объекте имеется:

1. Дежурное освещение;
2. Дневное освещение;
3. Дополнительное освещение
4. Компьютер
5. Средства связи.

Нормы освещенности для медицинских учреждений установлены СанПин 2.1.3.2630-10 - “Санитарно-эпидемиологические требования к организациям , осуществляющим медицинскую деятельность” [3] и СНиП 2.08.02-89 - [2, 4]. Основные из них приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Требования к освещенности медицинских помещений

Помещение	Общая освещенность, лк
1	2
Приемные фильтры, фильтры-боксы, палаты для взрослых	100
Палаты: детских отделений, новорожденных, интенсивная терапия, послеоперационная, матери и	200

ребенка	
Игровые комнаты	400
Столовые	200

Продолжение таблицы 1

1	2
Процедурные, манипуляционные	500
Посты медсестер	300
Операционные, родовые, реанимационные, перевязочные	500
Предоперационная	300
Монтажные аппаратов искусственного кровообращения, искусственной почки и т.д.	400
Помещения хранения крови	200
Регистратуры, диспетчерские	200
Кабинеты хирургов, акушеров, гинекологов, травматологов, педиатров, инфекционистов, дерматологов, аллергологов, стоматологов, смотровые	500
Кабинеты приема врачей других специальностей, фельдшеров	300
Темные комнаты офтальмологов	20
Кабинеты функциональной терапии, физиотерапии	300
Процедурные эндоскопических кабинетов	300
Лаборатория проведения анализов, кабинеты серологических исследований.	500

Очевидно, что в условиях экономии энергии выполнение этих нормативов может быть затруднительным. Поэтому предлагаю общее освещение разделить на дежурное - 20 лк, дневное 50 лк и дополнительное,

создающее освещенность локально при процедурах с одним больным. Это освещение должно создаваться переносным аккумуляторным светильником. Учитывая, что площадь кровати не превышает 2 м^2 , обоснуем требования к светильнику и выберем его тип, исходя из следующих исходных данных:

- Рабочая высота (от кровати до источника света) $h = 1,5 \text{ м}$;
- Минимальная освещенность $E_{min} = 50 \text{ лк}$.
- КСС – косинусная, показанная на рисунке 3.

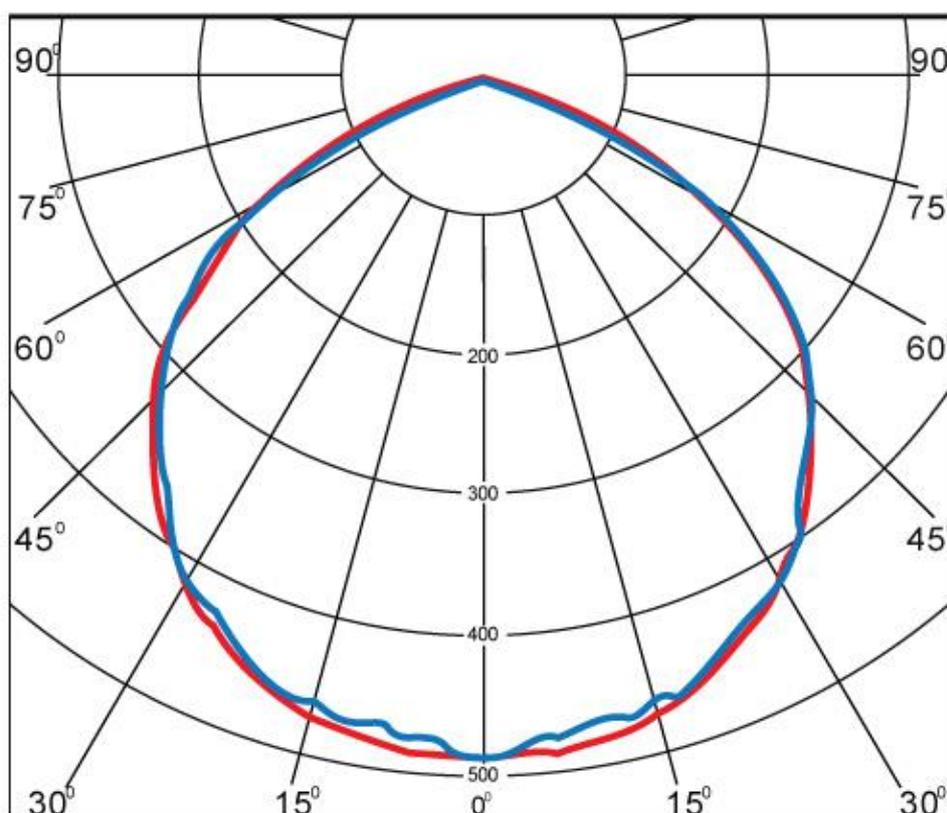


Рисунок 3 - Косинусная КСС

Коэффициенты отражения поверхностей 70/70/30 для локального освещения могут в расчет не браться.

В качестве типа конструкции выберем два светильника, размещенных на расстоянии 1 м над кроватью, как это показано на рисунке 4.

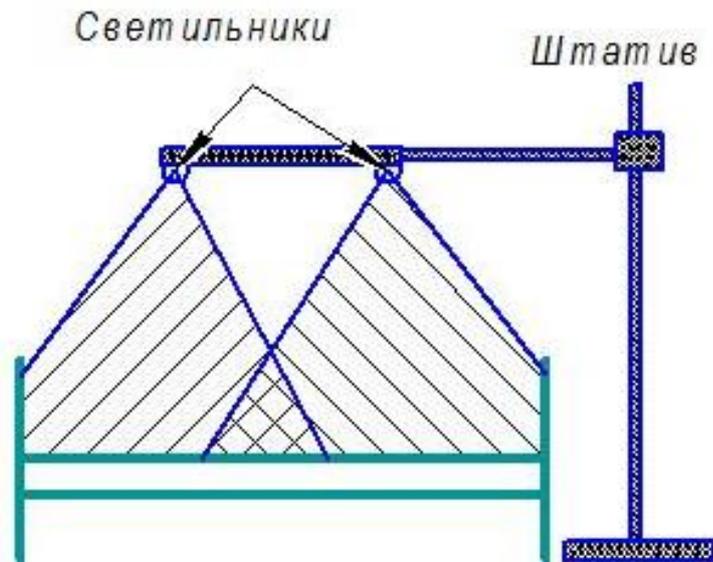


Рисунок 4 – Размещение светильников над кроватью

Расчет освещенности выполним точечным методом для точек непосредственно под источником света и между ними. Геометрические основы данного расчета поясняются рисунком 5.

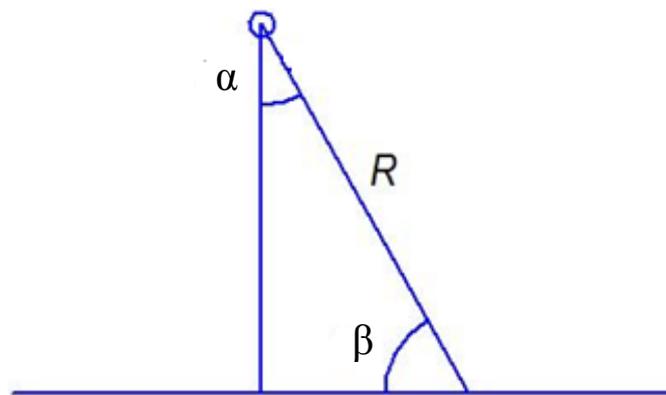


Рисунок 5 – К расчету освещенности точечным методом

Формула для расчета освещенности в заданной точке имеет вид

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \beta}{R^2} \quad (2)$$

где I_{α} - сила света под углом α (определяется по КСС);

$\cos\beta$ - косинус угла падения на поверхность;

R - расстояние до точки.

По КСС для угла 18° определим силу света для источника со световым потоком 1000лм. Она составит 450 лк. Одиночный 1-ваттный светодиод создает световой поток 100 лм, поэтому освещенность в данном направлении составит 45 лк. Так как расстояние от проекции светильника до середины кровати составляет 0,5 м, а высота 1,5 м, углы α и β определим как арктангенс соотношения длин катетов прямоугольного треугольника и получим

$$\alpha = 18^\circ, \beta = 72^\circ.$$

Расстояние R определим по теореме Пифагора

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

Подставив приведенные выше значения, получим $R = 1,6$ м.

Тогда

$$E = \frac{45 \cdot 0.95}{1,6^2} = 16,7 \text{ лк}$$

Для получения 500 лк потребуется 30 светодиодов [13,14]. Так как освещенность в данной точке создается двумя светильниками, то в каждом должно быть по 15 светодиодов. С учетом КПД драйверов, весь светильник из двух светодиодных фонарей будет потреблять максимум 35 Вт.

Так как такие фонари должны быть переносными имеет смысл разделить их на два отдельных фонаря по 15 Вт. В этом случае возможность их оптимального расположения позволит сэкономить на мощности. То есть расчет нужно выполнить для излучения в надир. Это позволит обойтись мощностью 15 Вт с учетом драйвера.

На рисунке 6 показаны наиболее распространенные формы светодиодов, подходящих для решения рассматриваемой задачи.

Из рисунка видно, что задача проектирования светильника решается достаточно просто и имеет множество вариантов исполнения. Например, светодиоды можно закрепить на штативе из алюминиевого профиля, являющегося также теплоотводом, как это показано на рисунке 7.

Светодиоды крепятся винтами М3 к алюминиевому швеллеру 10x20x3 мм, который имеет шарнирное соединение со стойкой из швеллера 15x25x3 мм, в который вкладывается при транспортировке.



Рисунок 6 – Внешний вид светодиодов

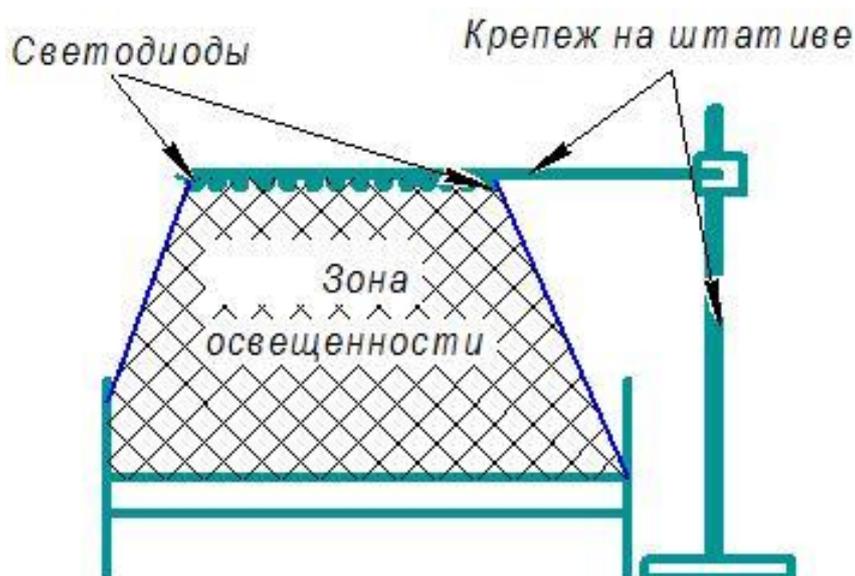


Рисунок 7 – Конструкция светильника

Для определенности примем вариант, основанный на точечном методе расчета освещенности [28].

Рассмотрим требования к их аккумуляторам [26]. Для 15-ваттного светильника на сутки работы потребуется 360 Вт·ч электроэнергии. Самый простой автомобильный аккумулятор 6СТ-60 может выдать

$$12В \cdot 60Ач = 720 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Это обеспечить работу фонаря в течение двух суток. Однако, учитывая требования мобильности, целесообразно выбрать литиевый аккумулятор в два раза меньшей емкости. Вариантов на современном рынке множество [6].

Для расчета общей освещенности применим метод коэффициента использования светового потока, основанный на формуле [29]

$$N = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k}{\Phi \cdot \eta \cdot n} \quad (4)$$

За основу возьмем те же 1-ваттные светодиоды. Они имеют световой поток 100 лм, угол излучения 120° , что соответствует косинусной КСС. Для формирования КСС не требуется никаких приспособлений – светодиоды оборудованы встроенной линзой. С точки зрения повышения качества освещения целесообразно разместить их равномерно на потолке – это избавит от теней. Расчет проведем для дневного освещения 50 лк и дежурного – 20 лк.

Площадь помещения составит $8 \times 15 = 120 \text{ м}^2$. Высоту потолка примем 2,5 м, а высоту рабочей поверхности 0,5 м. Рассчитаем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(a+b)} = \frac{120}{2(8+15)} = 2,61 \quad (5)$$

Для ранее указанных коэффициентов отражения 70/70/30, косинусной КСС и индекса помещения $i=2,61$ найдем по таблице коэффициент использования светового потока $\eta=86\%$.

Коэффициент запаса $k=1$, так как устареть светодиоды не успеют, а уборку в медучреждениях проводят ежедневно. Тогда для дневного освещения

$$N = \frac{50 \cdot 120}{100 \cdot 0,86} = 69,7 = 70 \text{ светодиодов,}$$

А для дежурного

$$N = \frac{20 \cdot 120}{100 \cdot 0,86} = 20 \text{ светодиодов.}$$

Их можно разместить на шнуре по 10 штук. Схема расположения светильников показана на рисунке 8.

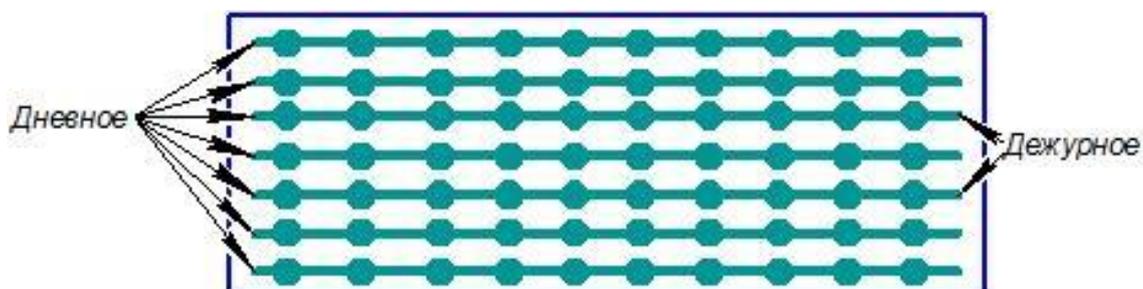


Рисунок 8 – Схема расположения светильников

Ночное освещение работает 8 ч в сутки, в остальное время – дневное, так как естественный свет в палатке незначителен. Тогда определим коэффициенты использования соответственно $K_{и-н}=0,33$, $K_{и-д}=0,67$.

Переносные светильники используются при выполнении процедур с больными при обходах, которые занимают не более 3 часов в сутки, то есть $K_{и}=0,125$.

Ноутбук потребляет 120 Вт, он может использоваться весь дневной период, то есть его $K_{и}=0,67$.

Подсчитаем энергопотребление всего отделения. Оно будет складываться из освещения и ноутбука. Средняя мощность освещения составит :

$$P= 20\cdot 0,33+50\cdot 0,67+2\cdot 15\cdot 0,125=44 \text{ Вт.}$$

$$\text{С учетом ноутбука } P=120\cdot 0,67+44= 124,4 = \mathbf{125 \text{ Вт.}}$$

За сутки объект потребит $125\text{Вт} \times 24\text{ч} = 3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии. Нетрудно подсчитать, что суточный запас электроэнергии для данного объекта может содержаться в 3 аккумуляторных батареях 6СТ-90.

1.4 Электроснабжение медицинского оборудования

Хирургическое отделение имеет стандартное оборудование [33]. Типовой операционный блок включает 3 помещения: раздевалку, предоперационную и операционную. Их оборудование включает:

- оборудование операционной
- операционный стол;
- столик с антисептиками;
- столик сестры-анестезистки;
- бестеневые лампы;
- большой стерильный стол для перевязочного материала и инструментов;
- инструментальный столик операционной медсестры;
- биксы со стерильным материалом и бельём на подставках;
- электроотсос;
- электрокоагулятор;
- бросалки для использованного материала и инструментов;

- стойки для капельных вливаний;
- централизованная подводка кислорода;
- наркозный аппарат;
- аппарат ИВЛ;
- бактерицидные лампы (для обработки воздуха - настенные, потолочные и передвижные);
- подставки для ног.

Оборудование предоперационной:

- умывальники с локтевыми кранами;
- зеркала;
- рядом с умывальником на столике: бикс со стерильными салфетками, масками и шапочками; сосуд с антисептиком, в который погружён корнцанг (для работы с биксом);
- непромокающие фартуки и моющие средства.

Также в блоке имеется раздевалка, которая должна иметь освещение.

Таким образом, потребителями электроэнергии в операционном отделении являются:

- общее освещение операционной, предоперационной и раздевалки;
- бестеневые лампы;
- электроотсос;
- электрокоагулятор;
- наркозный аппарат;
- аппарат ИВЛ;
- бактерицидные лампы (для обработки воздуха - настенные, потолочные и передвижные);

Согласно [33] площадь операционной должна быть не менее 36 м², а предоперационной – 10 м². С учетом раздевалки в описанной ранее пневмоконструкции размерами 8x15 м может разместиться два хирургических отделения.

Наиболее высокие требования по освещению относятся к операционной – рана должна иметь освещенность 3000 лк, а остальная часть помещения 300 лк. Также 300 лк должно быть в предоперационной. Для этой цели используются специальные бестеневые лампы, как правило, на основе светодиодов. Их внешний вид показан на рисунке 9. Такие светильники содержат от 80 до 120 светодиодов мощностью 1 Вт.

Поскольку палатка прежняя, то и рассчитанные ранее величины для расчетов остаются актуальными.



Рисунок 9 - Внешний вид бестеневых ламп

Число 1-ваттных светодиодов, которые нужно разместить на потолке для общего освещения операционной, составит

$$N = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1}{100 \cdot 0,86 \cdot 1} = 126 \text{ шт.}$$

Их можно повесить в виде 6 гирлянд по 21 светодиоду.

Для предоперационной

$$N = \frac{300 \cdot 10 \cdot 1}{100 \cdot 0,86 \cdot 1} = 35 \text{ шт.}$$

Бестеневые светильники могут быть усовершенствованы с целью повышения равномерности освещения. Эффект отсутствия теней, необходимый для проведения операций, достигается равномерным

размещением светодиодов на потолке над хирургическим столом, то есть на площади 1x2 м. Воспользуемся той же формулой для определения количества 1-ваттных светодиодов.

$$N = \frac{3000 \cdot 2 \cdot 1}{100 \cdot 0,86 \cdot 1} = 70 \text{ шт.}$$

Учитывая возможность нагрева светодиодов при такой плотности размещения, их целесообразно закрепить на листе дюралюминия 1x2 м.

В общей сложности система освещения операционного блока включает 231 1-ваттный светодиод. Учитывая КПД драйверов (около 90%) мощность системы освещения составит 257 Вт.

Остальные электроприборы операционной создают следующую электрическую нагрузку [1, 23].

Электроотсос производительностью 15-20 л/час потребляет мощность около 50 Вт. Электрокоагулятор потребляет также 50 Вт.

Современные наркозные комплексы состоят из системы высокого давления, дозиметра, испарителя жидких анестетиков, встроенного аппарата ИВЛ (имеют несколько рабочих режимов вентиляции), дыхательного контура с абсорбером, дисплея для мониторинга процессов, аспиратора и увлажнителя дыхательной смеси. Средний комплекс потребляет мощность 200 Вт и имеет собственную аккумуляторную батарею, обеспечивающую автономную работу до 2 часов. Поскольку данный аппарат выполняет несколько функций, коэффициент его использования следует считать равным единице.

Бактерицидные лампы используются для дезинфекции помещений. Типовая лампа имеет мощность 9 Вт и работает периодически. Поэтому ее можно не включать в энергетический расчет.

Подводя итог вышеприведенным рассуждениям, просуммируем потребляемые мощности для операционного отделения и получим суммарную мощность 557 Вт. С учетом потерь округлим ее до 600 Вт.

При круглосуточном режиме работы за сутки будет израсходовано 14,4 кВт·ч. Если использовать ранее упомянутые аккумуляторы 6СТ-90, то их потребуется 14 штук, что вполне приемлемо [5, 7].

Анализ оборудования других отделений показывает, что по электрическим нагрузкам они существенно уступают операционному блоку и могут быть приравнены к модулю общего назначения.

1.5 Электроснабжение системы связи

В большинстве случаев мобильные группировки не имеют доступа к стационарной системе связи и вынуждены создавать собственную. Так как конкретные условия работы неизвестны, то нельзя рассчитывать на доступность коммуникаций жилых массивов. Единственным выходом может быть использование радиосвязи.

Требования к дальности и пропускной способности полевой системы связи также нельзя считать определенными и следует рассчитывать на худший вариант. Дальность связи, в идеале, должна быть глобальной. Пропускная способность должна, как минимум, обеспечивать передачу информации документального характера. Рассмотрим возможные способы обеспечения такой радиосвязи.

Особенности использования радиоволн зависят, прежде всего, от их длины.

Сверхдлинные волны, частота которых менее 30 кГц для радиосвязи не используются. Длинные – от 30 до 300 кГц долгое время были основными в радиовещании. Они хорошо огибают землю и, особенно, морское пространство. Средние волны имеют частоту от 300 кГц до 3 МГц. Они при прохождении по земной поверхности быстро ослабевают, зато отражаются от

ионосферы, но лишь от ее слоя, существующего ночью. По этой причине удаленные средневолновые радиостанции днем не слышно. Короткие волны – от 3 до 30 МГц считаются самыми интересными, поскольку хорошо отражаются от ионосферы и днем и ночью. Их используют профессиональные радисты и любители для связи на большие расстояния. Ультракороткие волны частотой выше 30 МГц проходят ионосферу насквозь, а землю не огибают. Для УКВ-радиосвязи применяют антенны, расположенные на вышках, чтобы кривизна земной поверхности и местные предметы не преграждали их путь. Можно сказать, что они распространяются как луч света. Сверхвысокие частоты используются для многоканальной наземной и спутниковой радиосвязи.

Подводя итог приведенным выше рассуждениям, можно выделить три основных способа использования радиоволн для обеспечения связи мобильных группировок:

1. Привязка по радиорелейному или тропосферному каналу к ближайшему действующему узлу связи. Это наиболее удобный вариант, так как он не требует больших энергетических затрат и создает возможность для работы не только средств связи, но и интернета.
2. Использование спутниковой связи. Это сложно, дорого и требует специального оборудования. Пропускная способность каналов спутниковой связи вполне удовлетворительна. Однако нужно иметь в виду, что связь через спутники на эллиптической орбите реализуется сложнее, а ориентация параболической антенны на геостационарный спутник не всегда возможна.
3. Радиосвязь в коротковолновом диапазоне ионосферной волной хорошо изучена как профессионалами, так и радиолюбителями. Ее возможности зависят от многих случайных факторов, особенно от состояния ионосферы. Прогнозирование распространения радиоволн,

по месячным прогнозам, ИЗМИРАН дает достаточную точность, но требует высокой квалификации операторов.

Сначала рассмотрим радиорелейную связь, как наиболее перспективную для большинства возможных ситуаций. Принцип ее организации поясняется рисунком 10. Высокая направленность излучения радиоволн в сочетании с зависимостью от преград на интервале обуславливает необходимость множества ретрансляций. Несмотря на это, такая связь широко применяется в различных сферах жизни.

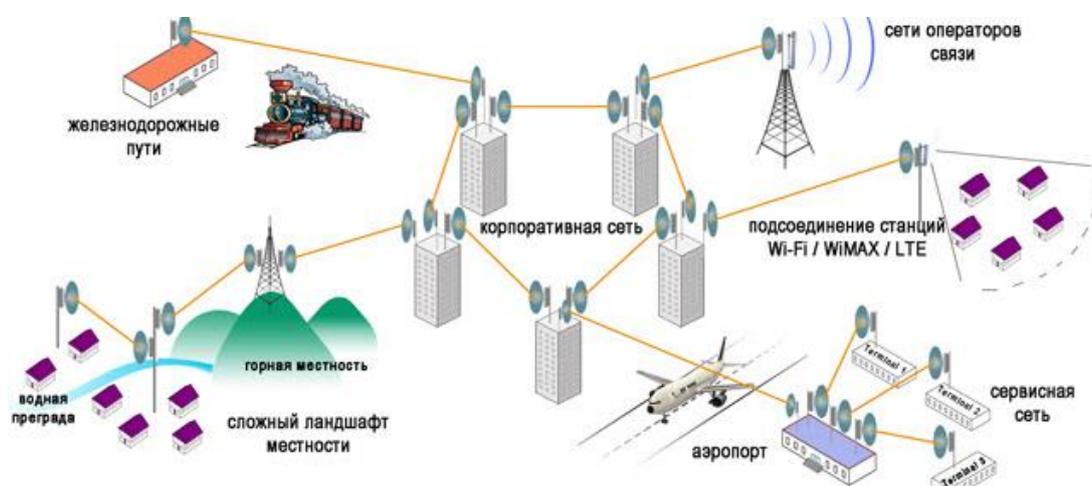


Рисунок 10 - Принцип организации радиорелейной связи

Радиорелейная радиосвязь осуществляется в УКВ диапазоне, начиная от метровых волн, заканчивая сантиметровыми. Более высокие частоты обеспечивают большую пропускную способность, но при этом требуют более сложной аппаратуры и использования остронаправленных (как правило, параболических) антенн. Антенны метрового и дециметрового диапазона типа «волновой канал» или синфазные антенные решетки с Z-образными излучателями дешевле и проще в эксплуатации.

Главное в радиорелейной связи – антенны должны быть расположены так, чтобы между ними не было препятствий, потому что распространение УКВ происходит по законам геометрической оптики. Для этого антенны поднимают на высокие мачты и ориентируют на друг друга.

В отсутствие выраженных препятствий только из-за кривизны земной поверхности дальность связи D в километрах связана с высотой антенн h_1, h_2 в метрах простой формулой

$$D = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (6)$$

Нетрудно посчитать, что при высоте антенн 16 м дальность связи составит всего 28,56 км. Если группировка удалена от точки возможной привязки дальше, то можно применить несколько ретрансляторов, однако такой способ менее надежен.

Выбор конкретной радиорелейной станции (РРС) лучше остановить на военных образцах, так как они более надежны и приспособлены к быстрому развертыванию. Многоканальные станции способны передавать большие потоки информации, что для мобильных отрядов не актуально, поэтому ограничимся образцами, обеспечивающими работу хотя бы одного полноценного телефонного канала. Рассмотрим возможные варианты.

Более полувека стоят на вооружении РРС Р-405, но они до сих пор остаются востребованными. Им предшествовали Р-401 и Р-403, мало отличающиеся по своим техническим возможностям от Р-405:

- Дальность связи (при 3 ретрансляциях) до 120 км.
- Количество телефонных каналов – 2.
- Количество телеграфных каналов – 2
- Диапазон частот 60-70 МГц и 390-420 МГц.
- Время развертывания – 45 минут.

Выпускается и более современная РРС Р-415, характеристики которой приведены ниже:

- Диапазон частот 80 – 120 МГц, 390-420 МГц.
- Мощность передатчика 10 Вт.
- Дальность связи при антеннах 16 м – 30 км, максимальная – до 50 км.
- Электропитание постоянный ток 27 В, переменный 220, 380 В.

- Потребляемая мощность от сети 220 В – 240 Вт, от постоянного 27 В – 180 Вт.
 - Режимы работы 2 ТФ+2ТГ канала или цифровой 12-48 кбит/с.
- Внешний вид РРС Р-415 представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Радиорелейная станция Р-415.

Если узел привязки расположен на расстоянии более 100 км, целесообразно использовать тропосферную станцию (ТРС).

Явление дальнего тропосферного распространения радиоволн было открыто еще в 40-е годы прошлого века. Суть его заключается в рассеянии дециметровых волн на неоднородностях тропосферы, как это показано на рисунке 12.



Рисунок 12 - Дальнее тропосферное распространение

При этом значительная часть электромагнитной энергии теряется бесполезно и приемника достигает лишь ее малая часть. Однако в этом диапазоне мало помех и при достаточной мощности передатчика дальность связи составляет сотни километров. Но мощный передатчик (около 1 кВт) требует громоздкой и сложной аппаратуры, для транспортировки которой не обойтись без отдельного автомобиля. Рассмотрим некоторые распространенные ТРС.

На рисунке 13 показана тропосферная станция Р-412. Мощность ее передатчика составляет 200 Вт, что позволяет обеспечивать прямую связь на расстояние до 150 км и строить линии до 500 км. Несмотря на сравнительно малую мощность излучения в диапазоне сантиметровых волн, в комплекте ТРС имеется электростанция мощностью 8 кВт на базе бензоагрегата АБ-8-т/400. Такая низкая экономичность является серьезным препятствием для использования данного средства связи в составе мобильной группировки. Кроме того, излучение ее передатчиков вредно действует на здоровье людей в ближней зоне.



Рисунок 13 - Тропосферная станция Р-412

Станции спутниковой связи могут успешно решить проблему обмена всеми видами информации в любой точке нашей планеты. Однако и здесь есть свои трудности [12].

Принцип работы системы спутниковой связи в значительной степени аналогичен радиорелейным линиям с одним ретранслятором. Но этот ретранслятор находится на орбите, высота которой достигает нескольких десятков тысяч километров.

Среди возможных орбит самой удобной является геостационарная. Находящийся на ней спутник движется синхронно с вращением Земли и как бы висит над одной точкой выше экватора. Это позволяет направить на него параболическую антенну и обеспечивать непрерывную качественную связь. Недостатков у такой орбиты три. Во-первых, количество таких спутников ограничено и связь через них стоит дорого. Во-вторых, из-за высоты орбиты около 36000 км радиосигнал получает заметное запаздывание, что создает определенные проблемы или неудобства. В частности, телефонная связь через спутник хотя и возможна, но

некомфортна. Вместе с тем, передача цифровой информации, включая пользование интернетом, никаких проблем не имеет. В-третьих, использование геостационарной орбиты по мере удаления от экватора становится менее эффективным и в приполярных широтах вообще невозможно.

Гораздо больше спутников движутся по наклонным круговым и эллиптическим орбитам. Их высота над земной поверхностью существенно меньше, что дает значительный энергетический выигрыш, что важно для систем связи мобильных группировок. Однако у этих орбит тоже есть серьезный недостаток - каждый спутник доступен лишь в течение заданного времени и для обеспечения постоянной связи приходится постоянно переориентировать антенну.

подавляющее большинство средств спутниковой связи являются весьма дорогими и громоздкими, требующими значительной мощности системы электропитания. В качестве примера на рисунке 14 показана станция спутниковой связи Р-441.



Рисунок 14 - Станция спутниковой связи Р-441

Эта аппаратная обеспечивает надежную всепогодную круглосуточную связь в Вооруженных силах – от штаба армии и выше. Для мобильных группировок она мало подходит по экономическим, массогабаритным и энергетическим причинам.

В последние годы появились компактные переносные системы спутниковой связи. Наиболее интересным образцом можно считать показанную на рисунке 15 портативную систему Р-438М.

Несмотря на то, что это средство связи разработано для мобильных группировок, работающих в различных местах планеты, надежность и помехоустойчивость связи не может быть 100%. Тем не менее, для случаев, когда привязка с помощью радиорелейной линии невозможна, использование Р-438М является наиболее целесообразным. При этом желательно иметь какой-либо дублирующий вариант для аварийной связи.



Рисунок 15 - Портативная система спутниковой связи Р-438М

Важным качеством рассмотренной аппаратуры является наличие специально под нее разработанной солнечной батареи, характеристики которой приведены в таблице 2.

Необходимо отметить, что заявленные характеристики реализуются при энергетической освещенности 1000 ± 50 Вт/м². Это соответствует идеальному солнечному дню при безоблачном небе летом на широте г. Тольятти и южнее.

Очевидно, что рассчитывать на такие условия можно далеко не всегда и для электроснабжения требуется дублирующий вариант.

В качестве аварийной связи, наиболее подходящей можно считать коротковолновую ионосферную радиосвязь. Этот вид радиосвязи имеет важную особенность – радиоволны могут распространяться как вдоль земной поверхности (земная волна) так и за счет отражения от ионосферы (ионосферная волна).

Таблица 2 - Основные тактико-технические характеристики ЭПС-100-2ПМ

№ п/п	Параметр	Значение
1	Максимальная мощность по цепи «Нагрузка»	100 Вт
2	Максимальный ток по цепи «Нагрузка»	10 А
3	Диапазон напряжений по цепи «Нагрузка»	3 – 24 В
4	Максимальная мощность ФЭГС	72 Вт
5	Ёмкость аккумуляторной батареи	7,2 х 2 А ч
6	Масса, не более	9,5 кг
7	Габаритные размеры ФЭГС в рабочем состоянии	1050x790x5
8	Температурный режим	от 0 до +50 °С

Ионосферный вариант подвержен воздействию множества факторов, но дальность связи при нем может достигать тысяч километров. Именно так партизанские отряды обеспечивали связь с большой землей. Распространение земной и ионосферной волны иллюстрируется рисунком 16.

Главная особенность КВ-радиосвязи – зависимость дальности связи от состояния ионосферы. Это влияние бывает, как положительным, так и отрицательным.

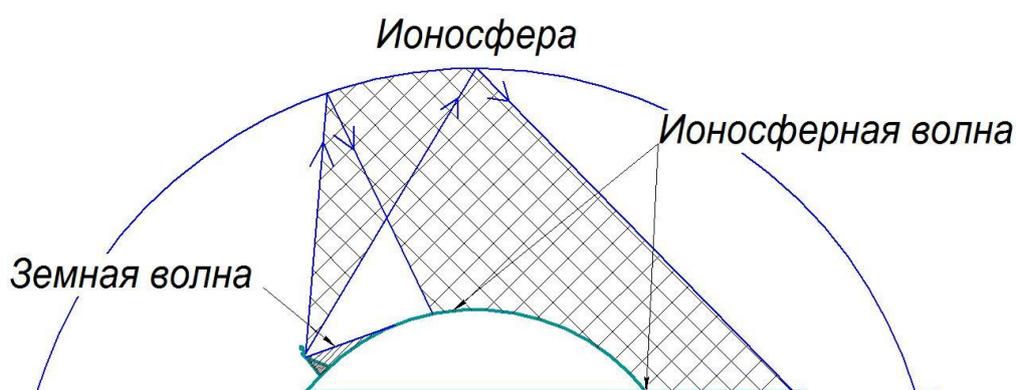


Рисунок 16 - Распространение земной и ионосферной волны

Положительным фактором является формирование в ионосфере идеально отражающего спорадического слоя E_s . Причины его появления до сих пор не выяснены, именно поэтому он и называется спорадическим, то есть случайным. Его широко используют радиолюбители, мощность передатчиков которых ограничена. Нередко даже при мощности всего 1 Вт удается связаться с другими континентами. Однако рассчитывать на случайность в нашем случае недопустимо. К отрицательным факторам относятся различные ионосферные возмущения и помехи. В северных широтах значительно затрудняет прохождение радиоволн северное сияние. Грозы также создают серьезные помехи. Также необходимо учитывать и техногенные излучения электромагнитных волн.

Если мобильная группировка удалена не слишком далеко от узла привязки – не более 300 км, то для обеспечения надежной радиосвязи достаточно мощности 100 Вт. При этом горы, стоящие на пути в данном

направлении, мешать не будут. В качестве варианта подходящей радиостанции можно взять Vertex VX-1400, характеристики которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристики радиостанции Vertex VX-1400

Характеристика	Значение
Мощность передатчика	100 Вт
Напряжение питания	13,8 В
Потребляемая мощность	250 Вт
Диапазон частот	0,03 – 30 МГц
Вид модуляции	SSB
Вес	3,4 кг
Количество каналов	512

Другим подходящим вариантом можно считать 250-ваттную радиостанцию FS-2575, которая предназначена, в частности, для связи с районами бедствия. Она обеспечивает передачу как аналоговой, так и цифровой информации. Ее характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики радиостанции FS-2575

Характеристика	Значение
Мощность передатчика	250 Вт
Напряжение питания	24 В
Потребляемая мощность	400 Вт
Диапазон частот	1,6 – 27,5 МГц
Вид модуляции	SSB, ЧТ
Вес	40 кг
Количество каналов	512

Если мощности 250 Вт недостаточно, можно использовать более мощную версию этой радиостанции FS-5075. Ее характеристики приведены ниже.

Таблица 5 - Характеристики радиостанции FS-5075

Характеристика	Значение
Мощность передатчика	500 Вт
Напряжение питания	24 В
Потребляемая мощность	800 Вт
Диапазон частот	1,6 – 27,5 МГц
Вид модуляции	SSB, ЧТ
Вес	40 кг
Количество каналов	512

В особых случаях целесообразно использовать автомобильную военную радиостанцию Р-161А2 мощностью 1,5 кВт. Ее внешний вид на рисунке 16, а характеристики - в таблице 6.



Рисунок 16 - Радиостанция Р-161А2

Таблица 6 - Характеристики радиостанции Р-161А2

Характеристика	Значение
Мощность передатчика	1,5 кВт

Напряжение питания	380 В
Потребляемая мощность	8 кВт
Диапазон частот	1,5 – 30 МГц
Вес	10425 кг
Транспортная база	ЗИЛ-131

1.6 Выводы по 1 разделу

1. В качестве базового варианта мобильной группировки будем рассматривать полевой госпиталь.
2. Потребности в электроэнергии можно разделить на три группы; общие, электропитание медицинского оборудование и электропитание средств связи.

2 Способы длительного автономного электроснабжения

При работе группировок в штатном режиме их электропитание может осуществляться от местных электросетей. Дублирующим вариантом могут быть входящие в комплект группировки бензиновые и дизельные электроагрегаты [10]. Они в достаточном количестве выпускаются отечественной промышленностью и импортируются из-за рубежа. В случае длительной работы и невозможности пополнения запасов горючего могут найти применение альтернативные источники питания [15, 21].

2.1 Бензиновые и дизельные электроагрегаты

Конструктивно бензоэлектрический агрегат, изображенный на рисунке 17, представляет собой несущую металлическую раму, на которой установлен бензиновый двигатель, электрический генератор, топливный бак и различные приборы. В нашей стране наибольшее распространение

получили агрегаты мощностью 1, 2, 4 и 8 кВт. Все они, за исключением 8-киловаттного, изготовленного на основе автомобильного двигателя, имеют воздушное охлаждение.



Рисунок 17 - Бензоэлектрический агрегат

Дизельные электростанции отличаются от бензоэлектрических агрегатов не только типом двигателя, но и мощностью, которая может достигать нескольких мегаватт. На рисунке 18 изображена одна из них.



Рисунок 18 - Дизельная электростанция

Обычно, кроме самого дизельного электроагрегата, в состав электростанции входят распределительные устройства, средства автоматики, пульт местного или дистанционного управления. Дизельные электростанции могут быть стационарными и передвижными, смонтированными в кузове автомобиля или на прицепе.

Главное достоинство дизельных и бензиновых агрегатов – быстрота подачи электроэнергии, а основной недостаток – высокая цена топлива. Однако, во многих случаях этот недостаток не является препятствием к использованию таких электроагрегатов. Они нашли практически повсеместное применение в Вооруженных силах, геологоразведочных партиях, в малонаселенной местности. Также они являются единственно возможными средствами энергоснабжения при чрезвычайных ситуациях с повреждением инфраструктуры. Основные характеристики названных источников электропитания приведены в таблицах 7 – 10.

Таблица 7 - Характеристики российских бензоэлектрических агрегатов

Модель	Мощность, кВт	Расход топлива, л/час	Стартер	Напряжение В
АБ-1-п/30	1	1,2	ручной	30
АБ-1-о/230	1	1,2	ручной	220
АБ-2-о/230	2	2,1	ручной	220
АБ-4-т/400	4	3,8	ручной	3х380
АБ-8-т/400	8	6	электро	3х380
КАЛИБР БЭГ-815	0,5	0,3	ручной	220, 12

Таблица 8 - Характеристики зарубежных бензоэлектрических агрегатов

Модель	Мощность, кВт	Расход топлива, л/час	Стартер	Напряжение В
Huter DY4000L	3	1.5	ручной	3х380

DDE DPG1201i	1	0,6	ручной	220, 12
Hyundai HNY 7020FE ATS	5	2,2	электро	3x380
Hyundai HNY 3020FE	2,8	1,3	электро	3x380
GG951DC	0,65	0,35	ручной	220, 12
Denzel GE 8900E	7	3,1	ручной	3x380
Спец SB-2700	2,5	1,1	ручной	220, 12
Hitachi E 50 3P	4,2	2	ручной	3x380
Kronwerk KB 3500	3	1,5	ручной	220, 12

Таблица 9 - Характеристики российских дизельных электроагрегатов

Модель	Мощность, кВт	Расход топлива, л/час	Стартер	Напряжение В
АДП 7,0/4,0-Т400	5,6	2,8	электро	3x380
АД-10-Т/400	10	4,2	электро	3x380
АД-20-Т/400	20	6,5	электро	3x380
АД-30-Т/400	30	8,5	электро	3x380
АД-100-Т/400	100	24	электро	3x380
АД-200-Т/400	200	39	электро	3x380
АД-400-Т/400	400	72	электро	3x380
АД-1000-Т/400	1000	210	электро	3x380

Таблица 10 - Характеристики зарубежных дизельных электроагрегатов

Модель	Мощность, кВт	Расход топлива,	Стартер	Напряжение В
---------------	--------------------------	----------------------------	----------------	-------------------------

		л/час		
MOSA TS 250 KD/EL	5,2	2,7	Электро	3x380
DDAE 9000SSE-3	6,4	3,3	Электро	3x380
MOSA TS 400 KSX/EL	10,4	4,4	Электро	3x380
SDMO Diesel 20000 TE XL AVR	15,2	6,5	Электро	3x380

В заключение анализа устройств, преобразующих механическую энергию в электрическую рассмотрим еще один простой способ получения энергии – использование велогенераторов. Их не требуется разрабатывать с нуля, они уже достаточно широко представлены на рынке. В качестве примера рассмотрим систему AT FCG2, специально выпускаемую для таких целей. В комплект входит, кроме собственно генератора, блок управления, 12-вольтовая батарея и преобразователь 12В постоянного тока в 220В переменного. Характеристики устройства приведены в таблице 11.

Таблица 11- Характеристики велоэлектрогенератора AT FCG2

Параметры генератора	
Выходная мощность	120 Ватт
Выходное напряжение	15 В
Выходной ток	8 А
Параметры инвертора	
Выходное напряжение DC	9.5 – 13.5 В DC
Выходное напряжение AC	210-230 В AC
Максимальная выходная мощность	100 Ватт
Аккумуляторная батарея	12 В 12 А*ч
Общие параметры	
Размеры генератора	170мм x 143мм x 96мм
Размеры велосипедной рамы	600мм x 460мм x 150мм (в сложенном виде)

Вес генератора	4.5 кг
Вес велосипедной рамы	8 кг
Вес инвертора	5 кг
Предохранительный механизм	Защита по превышению значений допустимого тока и допустимого напряжения
Максимальная нагрузка на велосипедную раму	100 кг

2.2 Солнечные батареи

Преобразование солнечной энергии в энергию электрическую может быть реализовано фотоэлектрическим и термодинамическим методами [17]. Для фотоэлектрического метода используются фотоэлектрические преобразователи, более известные как солнечные батареи. Они преобразуют солнечную энергию непосредственно в электрическую. Их материальную основу составляют кремний, арсенид галлия и некоторые другие полупроводниковые материалы. КПД преобразования в хороших промышленных солнечных батареях достигает 16%, самые лучшие образцы имеют КПД до 25%, а в лабораторных условиях достигнуто его значение 44%. Впрочем, к заявленным величинам следует относиться критически. На международной космической станции КПД солнечных батарей всего 13 %. Возможно, это связано с особыми условиями их эксплуатации [18].

По конструкции солнечные батареи делятся на два класса – монокристаллические и поликристаллические. Монокристаллические изготавливаются из специально обработанного цельного куска кремния, что достаточно дорого, но обеспечивает хорошие технические характеристики, прежде всего, долговечность. Для поликристаллических кремний подвергают плавлению и другим способам промышленной обработки. Это неизбежно сказывается на характеристиках батареи. Однако это дешевле. Внешне

можно отличить описанные конструкции. Батарея из монокристаллов состоит из квадратов или прямоугольников со скошенными краями, а поликристаллическая – из правильных прямоугольников. В таблице 12 приведены характеристики некоторых модулей солнечных батарей.

Таблица 12 – Характеристики модулей солнечных батарей

Тип модуля	Освещенность, Вт/м				
	200	400	600	800	1000
240WPoly	50	97	146	195	242
255WPoly	50	102	154	206	257
250WMono	52	100	151	201	251
260W Mono	52	106	159	212	262

В идеале для создания солнечной электростанции необходимо объединить значительное число модулей и обеспечить их постоянную ориентацию на Солнце. Также нужно постоянно обеспечивать чистоту поверхности модулей, особенно их очистку от снега. Однако это далеко не весь перечень трудностей в деле освоения солнечной энергетики.

Необходимо отметить, что часто в солнечную погоду ветер бывает слабым, а в непогоду значительно усиливается. Поэтому солнечную и ветряную энергетику целесообразно использовать совместно. Такие энергетические установки называются гибридными. Они в достаточном количестве выпускаются современной промышленностью для индивидуальных домов, дач и более крупных объектов.

Из вышеизложенного следует, что использование солнечной энергии для нужд электроснабжения является сложной задачей, зависящей от множества факторов. Основные из них – географическая широта, время года, время суток, погода и другие. Разберемся в них более подробно.

Зависимость инсоляции земной поверхности от географической широты представлена на рисунке 19. Как и следовало ожидать, к югу она

увеличивается, а к северу уменьшается. Для более точной оценки с целью прогнозирования работы солнечных батарей можно воспользоваться специальными таблицами, например, 13 - 15, которые легко найти в интернете.

С практической точки зрения для принятия решения о возможности использования солнечной энергии нужно оценить широту региона действий и время года. Суточные колебания инсоляции обуславливают необходимость применения накопителей энергии, предположительно, аккумуляторов. При этом нужно учесть особенности климата. Например, литиевые аккумуляторы не работают на морозе и для северных широт предпочтительны кислотные автомобильного типа.

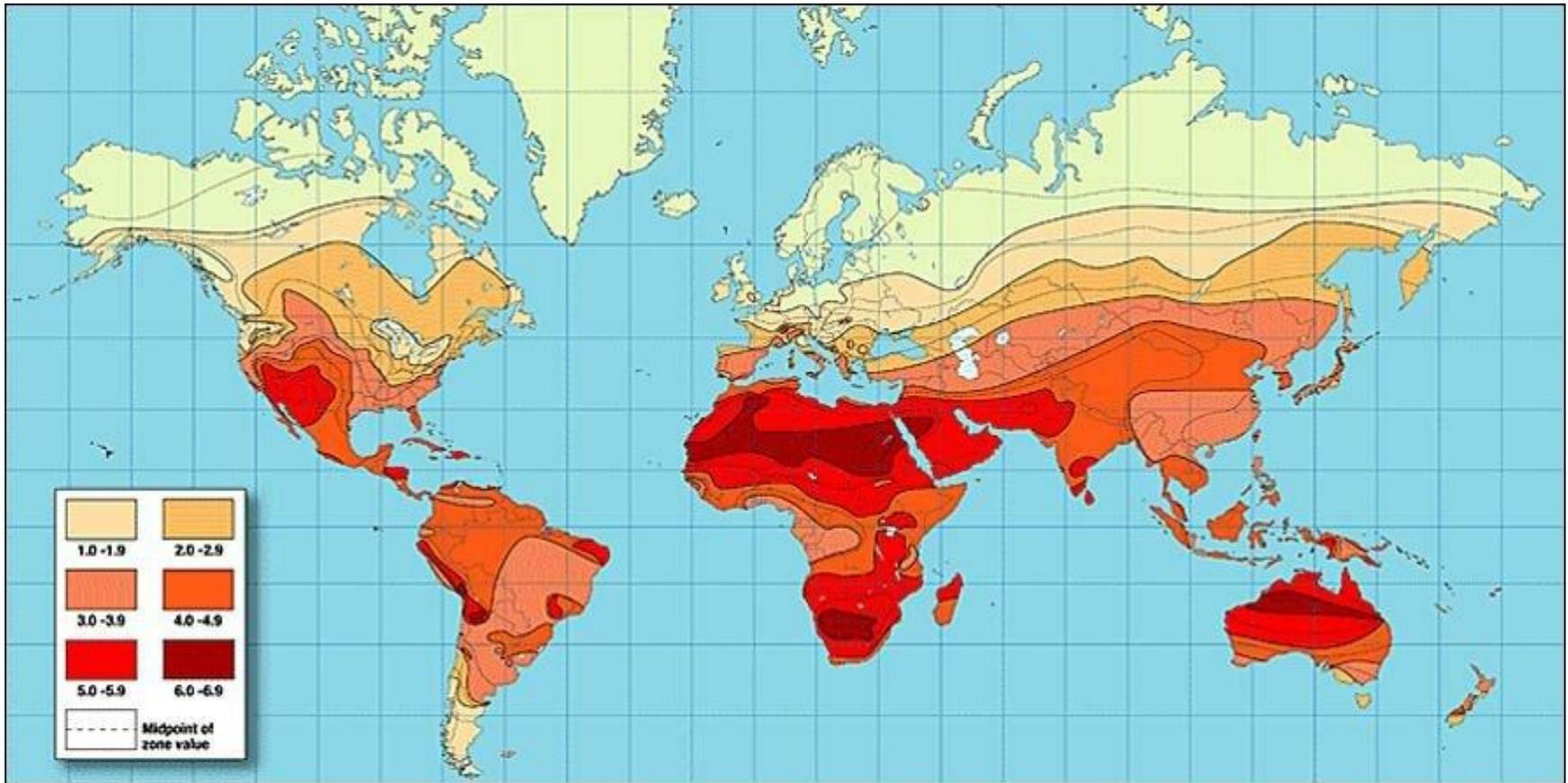


Рисунок 19 - Инсоляция земной поверхности

Таблица 13 - Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, кВт·ч/м².

Регион и расположение фотоприемника	Месяцы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Астрахань, широта 46.4	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	
Горизонтальная панель	2,4	2,9	5,5	45,5	89,4	09,9	89,7	74,7	27,8	1,7	5,0	6,6	
Вертикальная панель	2,1	5,9	9,5	03,0	7,1	2,0	1,8	12,1	23,2	16,5	6,4	2,7	
Наклон панели 35.0°	6,1	7,9	9,6	61,6	87,8	97,7	84,5	89,9	64,6	24,7	0,2	6,9	
Вращение вокруг полярной оси	9,4	6,0	35	18,3	68,0	93,3	69,1	76,1	29	64,4	02,3	7,3	
Владивосток, широта 43.1													
Горизонтальная панель	2,7	3,2	33	35,1	43,9	29,2	24,3	24,8	19,1	4,3	4,6	7,8	
Вертикальная панель	77,0	66,0	39,2	0,2	4,9	4,4	6,9	9,0	05,2	26,8	27,7	47,1	
Наклон панели - 50.0°	69,0	71,8	73,0	38,1	21,1	09,6	09,1	21,7	44,1	47,5	30,3	39,5	
Вращение вокруг полярной оси	94,9	11,1	27,0	89,3	78,9	50,6	42,8	64,3	94,2	84,0	51,9	57,6	
Москва, широта 55.7													
Горизонтальная панель	6,4	4,6	79,4	11,2	61,4	66,7	66,3	30,1	2,9	1,4	8,6	1,7	
Вертикальная панель	1,3	7,9	104,9	3,5	08,2	00,8	08,8	03,6	6,5	8,1	8,7	5,8	

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Наклон панели - 40.0°	0.6	3.0	108.4	27.6	66.3	63.0	67.7	45.0	04.6	0.7	4.8	2.0
Вращение вокруг полярной оси	1.7	2.3	132.9	61.4	28.0	27.8	24.8	89.2	26.5	1.6	2.2	6.0
Петрозаводск, широта 61												
Горизонтальная панель	.1	9,9	66,7	01,1	41.0	67,1	57.7	09,6	6,5	3.0	.2	.4
Вертикальная панель	0.0	1.3	120.2	07.1	02,7	12.0	13,6	8,1	7,6	6	4.4	.8
Наклон панели - 45.0°	6,8	6.9	116.4	27.7	48.1	66.3	63.7	28.6	7.3	6.7	3.5	.8
Вращение вокруг полярной оси	9.9	4.6	159.1	77.5	15.2	58.0	52.1	79.7	6.4	2.7	5.0	.9
Петропавловск- Камчатский, широта 53.3												
Горизонтальная панель	0.2	9.6	94.3	27.3	52.9	55.8	44.9	31.1	1.0	4.4	3.6	3.3
Вертикальная панель	7.7	9.7	133.3	16.1	6.5	0.3	1.3	9.5	7.1	11.5	6.8	8.5
Наклон панели " 50.0°	0.6	5.9	142.3	48.1	47.4	42.5	37.6	40.9	20.2	18.0	1.6	9.8
Вращение вокруг полярной оси	0.2	14.5	181.5	00.8	02.7	02.5	89.3	93.0	56.0	47.0	5.9	0.2
Сочи, широта 43.6												

Продолжение таблицы 13

Горизонтальная панель	7.0	5.2	84.0	16.6	67.1	99.0	06.8	85.0	30.1	5.4	4.2	4.7
Вертикальная панель	5.8	6.5	78.1	0.0	6.9	6.2	5.7	13.6	19.0	30.0	7.6	7.6
Наклон панели - 35.0°	2.0	0.2	103.5	25.0	63.0	84.9	98.1	97.0	61.6	41.7	2.8	1.7
Вращение вокруг полярной оси	6.0	9.1	129.9	60.1	22.1	69.3	89.0	84.0	22.0	85.8	17.2	5.6
Южно-Сахалинск, широта 47												
Горизонтальная панель	0.9	7.1	128.8	38.6	62.8	57.5	46.7	28.5	05.9	9.4	9.7	1.7
Вертикальная панель	13.2	37.8	132.2	03.4	0.3	1.9	2.9	7.3	9.5	11.4	7.9	7.7
Наклон панели 45.0°	02.2	32.7	175.4	49.1	53.7	42.2	36.6	31.5	30.4	24.2	4.8	7.2
Вращение вокруг полярной оси	18.5	60.6	219.3	91.8	06.6	93.4	76.3	67.5	67.7	53.8	11.7	9.9

Другой вывод, непосредственно вытекающий из данной таблицы – целесообразность управления ориентацией солнечных батарей. Это можно выполнять как автоматически или вручную. Возможно, ручной вариант проще и компактнее, тем более, в составе мобильных группировок как правило, имеются различные дежурные смены.

Таблица 14 - Число солнечных дней в городах России

Город	Число солнечных дней
1	2
Чита	284
Алмааты	282
Владивосток	269
Астрахань	259
Улан-Удэ	256
Анадырь	233
Якутск	228
Омск	223
Оренбург	221
Нерюнгри	221
Иркутск	218
Барнаул	216
Астана	207
Томск	200
Ростов на Дону	199
Красноярск	199
Ханты-Мансийск	196
Сочи	190
Магадан	181
Казань	180

Продолжение таблицы 14

1	2
Самара	177
Воронеж	158
Екатеринбург	150
Пермь	145
Нижний Новгород	144
Киров	140
Калининград	140
Брест	134
Вологда	131
Кострома	124
Псков	121
Москва	114
Архангельск	108
Санкт - Петербург	105
Южно-Курильск	76
Мурманск	76

Таблица 15 - Число солнечных дней в странах мира

Город	Число солнечных дней
1	2
Кипр	320
Испания	300
Греция	300
Италия	300
Израиль	300
Индия	300

Продолжение таблицы 15

Черногория	254
Андорра	250
Австрия	223
Хорватия	215
Чехия	200
Болгария	200
Сербия	200
Финляндия	30

Анализ таблиц показывает, насколько важно учитывать этот фактор. Например, число солнечных дней в Якутске в 2 раза больше, чем в Москве. Однако из этого не следует, что в Якутске солнечные электростанции будут работать в 2 раза эффективнее. Необходимо учитывать и географическую широту, и продолжительность светового дня.

Долготу дня T также можно найти в интернете или найти по формуле [30]

$$T = 2t \quad (7)$$

где величина t находится из формулы

$$\cos t = - \frac{[\sin(R+\rho) - \sin \vartheta \cdot \sin \varphi]}{\cos \vartheta \cdot \cos \varphi} \quad (8)$$

где ϑ – склонение Солнца,

φ – географическая широта,

R – угловой радиус Солнца (16'),

ρ – рефракция (34').

Склонение можно посчитать по формуле:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right] \quad (9)$$

где d - день года (1 января = 1 и т. д.). Склонение равно нулю в дни равноденствий (22 марта и 22 сентября), положительно, когда в северном полушарии лето и отрицательно, когда там зима. Максимум, равного 23.45° склонение достигает 22 июня (летнее солнцестояние в северном полушарии) и минимума, -23.45° , 22 декабря (зимнее солнцестояние в северном полушарии).

Приведенные выше материалы позволяют спрогнозировать поток солнечного излучения в месте действий мобильной группировки и принять решения о целесообразности данного способа энергообеспечения. В случае положительного решения будет необходимо рассчитать требуемое количество оптимальных (или доступных) солнечных батарей и необходимого для их работы оборудования.

2.3 Ветряные электрогенераторы

Прототипом ветряной электростанции является классическая ветряная мельница, хорошо знакомая по литературе и кино. Она показана на рисунке 20. В качестве основного движителя в ней используется воздушный винт с горизонтальной осью.



Рисунок 20 – Ветряная мельница – первый шаг в ветроэнергетике

Энергия, которую воздушный винт с горизонтальной осью может извлечь из движущегося потока воздуха, с достаточной точностью описывается эмпирической формулой [34]:

$$E = 0,6 \cdot S \cdot V^3, \quad (10)$$

где E – энергия в ваттах

S – суммарная площадь лопастей винта в м^2 ;

V – скорость ветра в м/с .

Тот факт, что мощность ветроэлектростанции пропорциональна скорости ветра в третьей степени, объясняет, почему их много на побережье океана или в горах и практически нет в средней полосе.

Есть еще две проблемы, связанные с ветроэнергетикой [20]. Первая связана с занятием больших площадей и влиянием на движение воздушных масс в микрорайоне, а вторая с шумом, производимым винтами. В сильный ветер этот шум становится серьезной проблемой для населения.

Винт мельницы даже в сильный ветер редко вращается со скоростью больше 1 оборота в секунду. Этого вполне достаточно для вращения мельничного жернова или работы водяного насоса, но крайне мало для работы электрогенератора. Это объясняется тем, что электродвижущая сила генератора пропорциональна скорости изменения магнитного потока, проходящего через его якорные обмотки. В реальных генераторах нормой считается вращение со скоростью больше 10 оборотов в секунду.

Из приведенной выше формулы 10 легко вычислить необходимую площадь лопастей винта для получения требуемой мощности. Однако сначала необходимо определиться с числом лопастей. На первый взгляд, увеличение их числа приведет к пропорциональному приращению мощности, но это не совсем так. Вращающийся винт создает область турбулентности, то есть закручивает воздух. По этой причине единственная лопасть полностью

использует энергию ветра, вторая уже движется следом за первой в зоне турбулентности и менее эффективна. На практике получили наибольшее распространение трехлопастные винты. Именно их мы видим на картинках в интернете. Результаты расчетов площади одной лопасти трехлопастного винта при различных скоростях ветра приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Площадь лопасти воздушного винта при различных мощностях

Требуемая мощность, кВт	Необходимая площадь 1 лопасти 3-лопастного винта без учета потерь, м ²		
	2 м/с	5 м/с	10 м/с
1	69	4,4	0,56
10	690	44	5,56
100	6900	440	55,6

Информация о средней и максимальной скорости ветра есть в интернете для любого региона.

Тольяттинский государственный университет находится в зоне достаточно слабых ветров – в среднем за год 2,3 м/с. Если учесть потери в повышающей передаче, то указанные площади увеличатся примерно на 25-30%. Если условно принять пропорции ширины и длины лопасти 1:10, то даже для 1-киловаттного ветряного двигателя потребуются лопасти длиной не меньше 25 м. Для 10 –киловаттного двигателя длина лопасти составит почти 100 м, что уже нереализуемо. Таким образом, в зоне слабых ветров существенной энергии от ветра добиться невозможно.

В таблице 17 приведены среднестатистические данные для Самарской области.

Таблица 17 - Скорость ветра в Самарской области

Расположение метеостанции	Средне-годовая скорость ветра (на высоте 10м)	Средняя скорость ветра (м/с)				Максимальная скорость ветра (м/с)
		Зима	Весна	Лето	Осень	
1	2	3	4	5	6	7
Самара	1,8	1,9	1,9	1,6	1,8	22
Алексеевка	3,5	3,5	3,7	2,9	3,4	27
Безенчук	2,3	2,4	2,4	2,0	2,3	19
Большая Глушица	2,4	2,5	2,6	2,1	2,4	26
Кинель-Черкассы	1,8	1,8	2,0	1,7	1,7	22
Клявлино	2,3	2,4	2,5	2,1	2,3	20
Курумоч (аэропорт)	4,0	4,2	4,3	3,6	4,1	29
Лопатино (Волжский р-н)	2,7	2,6	2,9	2,3	2,8	25
Новодевичье (Шигонский район)	3,7	3,7	3,7	3,1	4,0	24
Новокуйбышевск	2,8	2,7	3,0	2,6	2,8	20
Сергиевск	3,3	3,2	3,4	3,0	3,3	25
Смышляевка (Волжский район)	3,0	3,0	3,4	2,8	2,9	20
Сызрань	2,9	2,9	3,1	2,8	2,8	25
Тольятти	2,3	2,5	2,4	1,9	2,3	26
Челно-Вершины	2,6	2,8	2,8	2,2	2,7	27

Если аналогичные расчеты провести для правого столбца, то картина меняется коренным образом. Даже получение мощности 100 кВт с помощью воздушного винта вполне реализуемо. Поэтому ветряные системы широко распространены на океаническом побережье и в горной местности.

Необходимо отметить, что все описанные конструкции должны ориентироваться по ветру, что создает ряд неудобств, в частности, затрудняет передачу электроэнергии от подвижной части к неподвижной.

Это делается с помощью контактных колец и щеток, но их регулярное обслуживание и замена на высоте затруднительны. Другая проблема – защита от ураганного ветра. С этой целью лопасти оборудуются поворотными механизмами, которые при сильном ветре уменьшают угол между направлением ветра, а плоскостью лопасти. В некоторых случаях поворачиваются не каждая лопасть в отдельности, а весь винт встает боком к ветру. Известны и другие технические решения, но они менее распространены.

Вертикальные воздушные винты не требуют ориентации по ветру, хотя их эффективность несколько ниже, чем у горизонтальных. КПД вертикальных составляет лишь 25-30%, а у горизонтальных 30-35% [22].

В анемометрах, то есть приборах для измерения скорости ветра, часто используется конструкция, изображенная на рисунке 21.



Рисунок 21 – Винт анемометра

Принцип ее работы прост – сопротивление ветру выпуклой части лопасти меньше, чем вогнутой. За счет этого происходит вращение. Такой же подход лежит в основе устройства ротора Савоуниса, показанного на рисунке 22. Число лопастей может быть и другим, например, 3 или 4. Часто народные умельцы изготавливают такие воздушные винты из бочек.

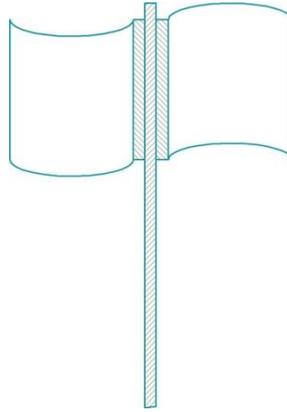


Рисунок 22 – Ротор Савоуниса

Похожий принцип устройства и у турбины Дарье, изображенной на рисунке 23. Лопасте имеют специальную аэродинамическую форму и расположены на оси со смещением. Это и создает крутящий момент.

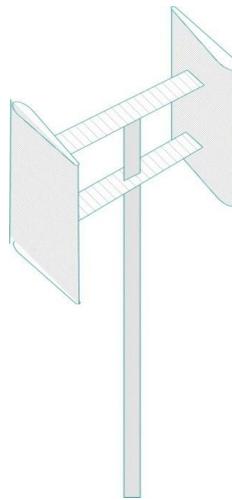


Рисунок 23 – Турбина Дарье

Как и в вышерассмотренной конструкции, число лопастей может быть больше двух, а форма их может быть различной. В качестве примера на рисунке 24 показаны наиболее популярные разновидности трехлопастных роторов.

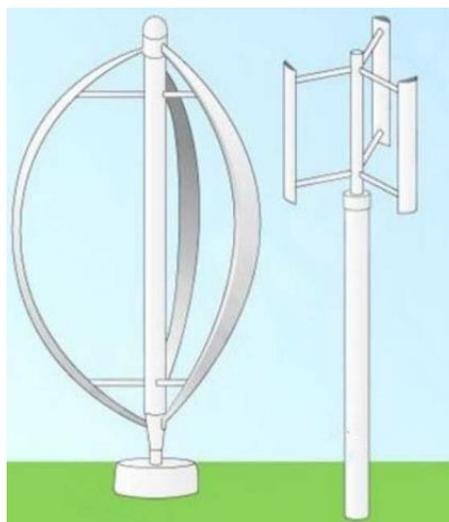


Рисунок 24– Конструкции вертикальных роторов

Недостатком таких роторов является неравномерность движения, которая приводит к появлению шума и быстрому износу подшипников. Чтобы устранить этот недостаток, лопасти специальным образом закручивают. Такая конструкция получила название геликоидной. Она иллюстрируется рисунком 25.



Рисунок 25 - Геликоидный ротор

Многолопастный ротор, изображенный на рисунке 26, обладает хорошими техническими и эксплуатационными характеристиками и

позволяет получать большую энергию. Однако он сильно шумит и дорого стоит.



Рисунок 26 - Многолопастный ротор

В заключение этой темы - одна весьма оригинальная конструкция ветрогенератора, разработанная фирмой Makani Power и показанная на рисунке 27. Она сочетает в себе элементы воздушного змея и ветрогенератора.



Рисунок 27 – Ветрогенератор на воздушном змее

Такое техническое решение позволило избавиться от мачты и других дорогостоящих элементов. Рабочая высота составляет 550 м. Такая конструкция может служить источником электроэнергии для мобильных группировок. При этом она может поднять на значительную высоту антенну

радиорелейной станции и обеспечить эффективную привязку к стационарной системе связи.

2.4 Термоэлектрогенераторы

Так как о солнечных и ветряных источниках уже было написано ранее, остановимся более подробно на получении электрической энергии непосредственно из тепловой.

В 1821 году Томас Зеебек заявил об открытии так называемого термомагнитного эффекта [19]. В его опыте пара спаянных на концах разнородных проводников при нагреве одного из спаев вызывала отклонение стрелки компаса. Позже было выяснено, что первопричиной магнитного воздействия на стрелку является так называемая термо-ЭДС. Ее природа поясняется рисунком 28.

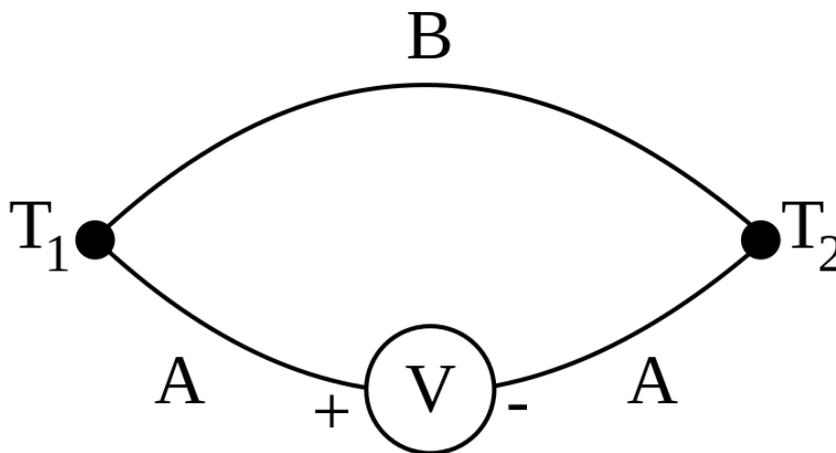


Рисунок 28 - Схема для получения термо-ЭДС

Два разнородных проводника А и В спаяны на концах, в разрыв одного из них включен вольтметр. Если температура спаев разная, то стрелка прибора отклоняется, пропорционально разности температур. Если в разрыв цепи включить миллиамперметр, то он покажет наличие небольшого тока. Это значит, что такая схема, которую называли термопарой, является

источником электрической энергии. Мощность такого источника невелика – редко превосходит 10 мВт и зависит от ряда факторов.

В опыте Зеебека применялись проводники из меди и сурьмы, но возможны и другие варианты. Лучшими характеристиками обладает пара из сплавов хромель-копель. При разности температур спаев в 100 градусов термо ЭДС достигает почти 7 мВ. Так как такая пара работает в диапазоне 200-660°C, то реально при нагреве обычной горелкой или костром можно получить 25 мВт [31,32]. Также эффективна термопара хромель-алюмель, выдающая при 100-градусной разнице 4,1 мВ. Это меньше, чем у предыдущей, но она может сохранять работоспособность до 1000°C. Известны и другие сочетания: платина-родий, вольфрам-рений и другие. Любители получают вполне жизнеспособные термогенераторы из термопар железо-константан. Железо – самый доступный и дешевый металл, а константан – это материал, из которого делают нагревательные спирали.

Для получения мощности хотя бы в несколько ватт термопары объединяют в батарею, как и любые другие источники питания. При этом сочетание последовательного и параллельного соединений позволяет получить любое требуемое напряжение и ток. Как было выяснено в [...], при нагреве горячих спаев дровами и естественном охлаждении холодных спаев можно получить мощность 25 мВт от одной пары. То есть для получения 1 Вт потребуется 40 термопар, а для 1 кВт – соответственно 40000.

Самый простой способ обеспечения нужной разности температур – размещение термопар веером по кругу, как это изображено на рисунке 29.

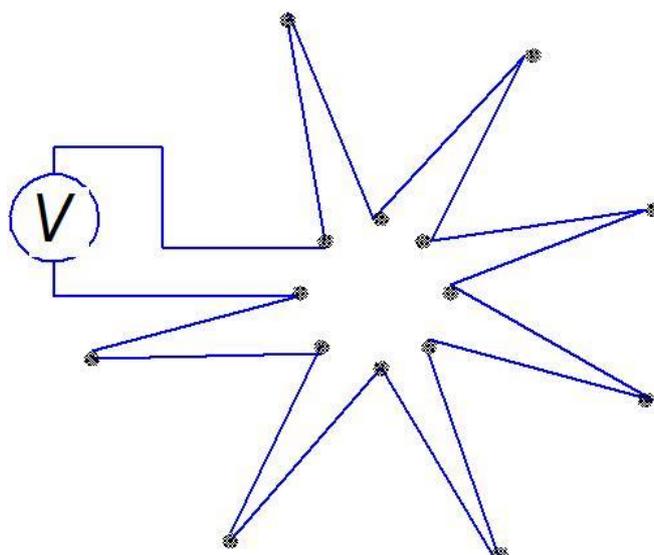


Рисунок 29 - Вариант объединения термопар

Еще в первой половине 20 века появилась конструкция из термопар, надеваемая на стекло керосиновой лампы. Мощности хватало для работы лампового радиоприемника. Такой вариант использования термоэлектричества показан на рисунке 30.

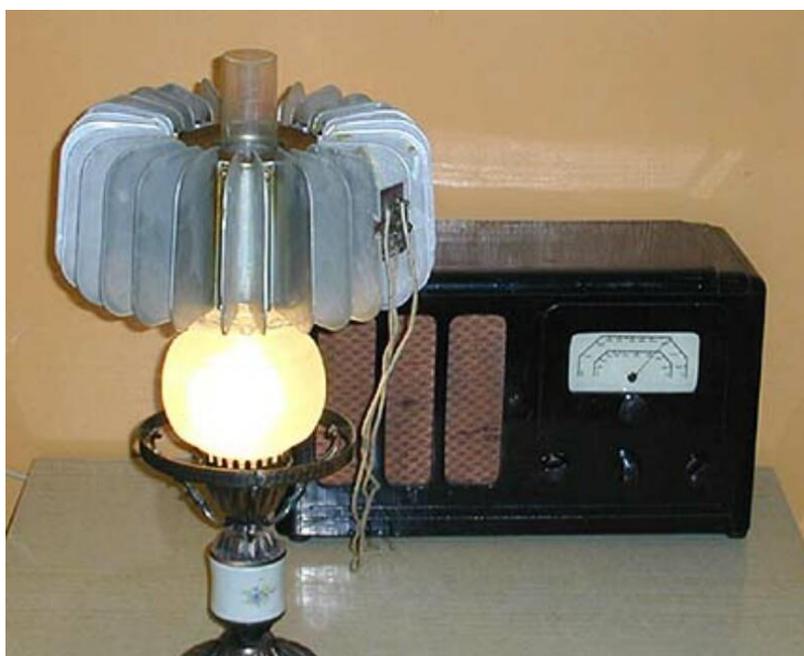


Рисунок 30 - Питание радиоприемника от термогенератора

Во время Великой Отечественной войны партизаны, остро нуждающиеся в источниках питания для радиосвязи, использовали так называемый «котелок Иоффе». Он показан на рисунке 31.



Рисунок 31 - Котелок Иоффе

Котелок имел двойное дно. Горячие спаи располагались на нижнем, нагреваемом пламенем костра, а холодные на верхнем, охлаждаемом водой. Устройство было разработано в 1942 году. Его основу составляли термопары из соединения сурьмы с цинком и константана. При работе от костра разность температур достигала 250-300 градусов, что позволяло получать мощность 10 Вт.

Рассмотрим описанную конструкцию с современной точки зрения и без жестких ограничений по массе и габаритам. Как было раньше отмечено, для получения 1 кВт потребуется нагревать 40000 термопар «хромель-копель». Учитывая, что спаи имеют весьма малые размеры – не более $0,5 \text{ см}^2$, для получения требуемой мощности потребуется нагреваемая поверхность 2 м^2 . Примерно такова она у боковой поверхности 200-литровой бочки. Изготовление жизнеспособного образца представляется вполне реальным.

С появлением полупроводников появились и новые возможности в области термоэлектрических эффектов. Наибольший практический интерес вызывают элементы Пельтье. Такой элемент представляет собой небольшую керамическую пластину размером примерно 40x40мм с двумя проводами. Преобразование тепловой и электрической энергии взаимно, что обуславливает двойное применение данных устройств. Более всего элементы Пельтье применяются для охлаждения каких-либо объектов. В частности, так охлаждаются процессоры большинства компьютеров. Также известны небольшие автомобильные холодильники. Внешний вид модуля показан на рисунке 32.

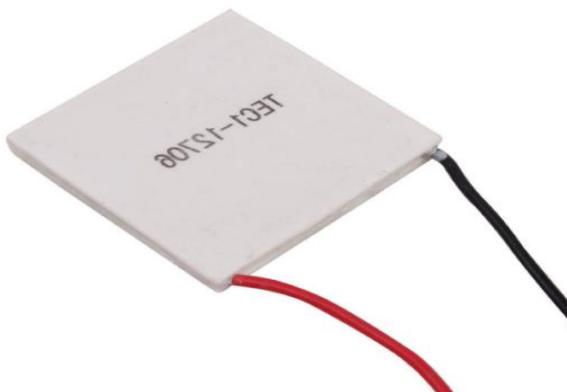


Рисунок 32 - Внешний вид модуля Пельтье

На рисунке видна маркировка модуля. Буквы «TE» означают «термоэлемент», «С» - стандартного размера (выпускаются малого, которые обозначаются буквой S). Число 127 указывает число элементов, а 06 – силу тока в амперах. КПД такого модуля в режиме охлаждения достигает 50%.

Полупроводники «р» и «n» типов соединяются металлическими перемычками и размещаются между двумя керамическими пластинами, имеющими разную температуру. Конструкция похожа на рассмотренную ранее термопару на эффекте Зеебека, но полупроводники позволяют получить большую эффективность термоэлектрического эффекта. Конструкция модуля Пельтье иллюстрируется рисунком 33.



Рисунок 33 - Конструкция модуля Пельтье

Нагревать горячие стороны термопар можно различными способами. Самый простой из них – рассмотренный ранее вариант использования костра. Известно огромное количество любительских конструкций, но есть уже и промышленные термоэлектрогенераторы. К ним, например, относится печь «Индибирка» изображенная на рисунке 34 Она может служить для обогрева, приготовления пищи, а также для питания маломощных 12-вольтовых электроприемников.



Рисунок 34 - Печь «Индибирка» с термоэлектрогенератором

Печь без учета дымовой трубы имеет габариты 65x43x54 см и весит около 50 кг. В ее топку можно загрузить до 30 кг дров, угля или торфа. Тепловая мощность 4,5 кВт позволяет отапливать, например, небольшое строение вроде охотничьего домика. Электроэнергия приведена к

напряжению 12 В и допускает нагрузку до 50 Вт. То есть к ней можно подключать многие устройства, питаемые от автомобильного прикуривателя.

Если мобильная группировка окажется в пустынной местности, где нет дров, то получение электричества из тепла с помощью металлических или полупроводниковых термопар тоже возможно. Источником тепловой энергии может стать радиоактивное излучение [27].

В качестве делящегося материала используют чаще всего стронций-90 с периодом полураспада 29 лет, на космических аппаратах предпочитают плутоний-238 с периодом полураспада 87 лет. В некоторых образцах применяется кюрий-244. По данным Курчатовского института, в СССР было выпущено более 1000 РИТЕГов, большая часть которых использовалась на Крайнем Севере для обеспечения работы маяков, метеостанций и другого оборудования.

Основу источника составляет герметичная капсула с радиоизотопом, которая от его излучения нагревается. По истечении периода полураспада мощность теплового излучения и, следовательно, и термоэлектрогенератора снижается в два раза. Капсула вместе с горячими концами термопар защищена оболочкой из свинца и стали. Остаточное излучение на расстоянии 1 м не превышает 10 мрн/ч, что почти в 1000 раз превышает безопасный уровень.

Описанные выше РИТЭГи Курчатовского института имели мощность 80 Вт. Информация о генераторах космических аппаратов закрыта, известно лишь, что через 20 лет эксплуатации космический зонд «Кассиди» располагал электрической мощностью 650 Вт.

В некоторых случаях применение РИТЕГов для электроснабжения мобильных группировок может иметь место, но при этом должны быть приняты меры защиты от облучения. Например, генератор может быть размещен в свинцовом контейнере, доставляться вертолетом и располагаться в заблаговременно подготовленном подземном бункере.

2.5 Выводы по 2 разделу

1. Нормальными способами электроснабжения мобильных группировок следует считать использование местных электросетей.
2. Использование бензоэлектрических агрегатов и дизельных электростанций может быть невозможным из-за отсутствия топлива.
3. Использование солнечных батарей требует предварительного прогнозирования уровня инсоляции в районе действий группировки и в некоторых случаях может оказаться невозможным (полярная ночь и т.п.)
4. Использование энергии ветра целесообразно в горах и на морском побережье. Принятие решения должно основываться на изучении статистических значений скорости ветра в конкретной местности.
5. При выполнении задач в лесистой местности или при наличии другого доступного топлива (торфа и др.) возможно применение термоэлектрогенераторов.

3 Предложения по электроснабжению мобильных группировок

Как было показано во 2 разделе при анализе энергетических потребностей полевого госпиталя, минимальная потребность в суточном электроснабжении составляет 3 кВт·ч. Этого достаточно для работы одной пневмоконструкции размерами 8x15 м, в которой, например, находятся 20 лежащих больных или размещается 20 сотрудников.

Наибольшая энергетическая потребность у хирургического отделения, которое может быть развернуто на базе такой же пневмоконструкции. Для него суточная потребность составляет 14, 4 кВт·ч. Для накопления такой энергии потребуется 14 аккумуляторных батарей 6СТ-90.

Для обеспечения связи с основными силами оптимальным способом считается привязка по радиорелейной линии. При использовании станции Р-415 совместно с аккумуляторами требуется мощность 180 Вт. Учитывая, что ситуация с отсутствием нормального электропитания является чрезвычайной, связь может проводиться сеансами, а не постоянно.

При использовании портативной системы спутниковой связи Р-438М вполне достаточно ее штатной солнечной батареи. Применение мощных средств связи в подобных ситуациях нецелесообразно.

Таким образом, минимальная потребность в электроэнергии для группировки в составе одной пневмоконструкции и простейшей системы связи составляет около 300 Вт. С учетом возможных нештатных ситуаций предлагается считать минимальной мощностью, потребляемой такой группировкой 500 Вт. Такой мощностью должен обладать модуль, имеющий возможность объединяться с другими модулями для повышения вырабатываемой мощности.

Система накопления запаса энергии должна базироваться на аккумуляторах. Их суммарная емкость должна позволять создавать запас энергии $500 \text{ Вт} \times 24 \text{ ч} = 12 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Как было показано ранее, даже при использовании свинцовых аккумуляторных батарей 6СТ-90 их потребуется

всего 12 штук, что не создаст проблем при перевозке. Однако есть и более эффективные накопители энергии, которые в определенных условиях эксплуатации могут оказаться предпочтительнее. Рассмотрим их подробнее. При этом заметим, что использование перевозимых аккумуляторных групп может рассматриваться как еще один способ электроснабжения. То есть, если местная электросеть разрушена, можно на транспортном средстве (например, на прицепе легкового автомобиля) доставить аккумуляторы к месту зарядки, а потом привести их к потребителю. Например, изображенный на рисунке 35 прицеп МЗСА 817701.001-05 может перевозить груз общей массой 530 кг. Применительно к аккумуляторным батареям 6СТ-90 это 30 штук, которые могут обеспечить работу госпиталя в составе одного хирургического или иного отделения и одной палаты в течение двух суток.



Рисунок 35 - Прицеп МЗСА 817701.001-05

3.1 Выбор накопителей электрической энергии

3.1.1 Свинцовые аккумуляторы

Самый известный тип аккумуляторов – свинцовые, применяющиеся на автомобилях [11]. Их также называют кислотными. Главное качество таких аккумуляторов, определившее незаменимость на автомобилях – значительно меньшее, чем у других типов, внутреннее сопротивление. Это связано с

применением электрических стартеров, рабочий ток которых нередко превышает 100А. Если источник тока будет иметь большое сопротивление, то при напряжении 12 или 24В стартер не сможет развить необходимую мощность. В нашем случае это качество не является важным.

Кроме стартерных кислотных аккумуляторов, широко распространены тяговые аккумуляторы, применяющиеся в электротранспорте, в частности, на электропогрузчиках. Свинцовые аккумуляторы находят также применение в блоках бесперебойного питания и многих других устройствах.

Окислительно-восстановительная реакция в свинцовом аккумуляторе выражается формулой:



В заряженном аккумуляторе плотность электролита максимальная, а электроды чистые. При разряде сера из кислоты начинает соединяться со свинцом электродов и откладываться на них в виде сульфата свинца $PbSO_4$ с образованием воды. Плотность электролита от этого снижается. При заряде происходит обратный процесс – сульфат свинца возвращает серу в кислоту, восстанавливая исходную плотность электролита и чистоту электродов.

Напряжение на одном заряженном аккумуляторе составляет 2В, поэтому для достижения необходимого напряжения их объединяют в аккумуляторные батареи по 6 или 12 штук с общим напряжением 12 и 24В, соответственно.

Учитывая распространенность свинцовых аккумуляторов, во всем мире постоянно ведутся исследования с целью их совершенствования. Для специальных условий эксплуатации выпускаются вибростойкие и циклостойкие аккумуляторные батареи. Известны конструкции для холодных районов с внутренним электроподогревом и многие другие. Есть информация об использовании вместо традиционных электродов в виде решеток

материалов из переплетенного углеродного волокна, покрытого слоем свинца. В продаже таких аккумуляторов пока нет, но разработчики обещают начать их выпуск в ближайшее время. Такой конструктивный подход считается весьма перспективным – при значительном уменьшении веса улучшатся электрические характеристики, и уменьшится время зарядки.

При эксплуатации и хранении кислотные аккумуляторы требуют к себе внимания. Хотя кислотный электролит замерзает при $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, в холодную погоду его сопротивление увеличивается, поэтому желательно размещать батареи в теплом помещении. Данный тип аккумуляторов не переносит также глубокой разрядки, после которой происходят необратимые изменения, и срок службы значительно снижается.

Хранят свинцовые аккумуляторы только в заряженном состоянии, постоянно контролируя их напряжение. При необходимости производят подзарядку. Периодически для нормализации химических процессов полезно проводить контрольно-тренировочные циклы, то есть разряд и заряд номинальными токами.

3.1.2 Щелочные аккумуляторы

Щелочные аккумуляторы, как и кислотные, имеют в своем составе анод, катод и электролит. Они также объединяются в батареи для получения более высокого напряжения. Материалы для изготовления положительного и отрицательного электродов применяются различные, а в качестве электролита используются щелочи – гидроксид калия (KOH) и гидроксид лития (LiOH) или их смесь.

Первый щелочной аккумулятор был изобретен шведским ученым Юнгером еще в 1899 году. Его положительный электрод был изготовлен из никеля, а отрицательный – из кадмия. Позже Эдисон доказал, что кадмий можно без ущерба заменить железом. В обеих конструкциях в качестве электролита применялся гидроксид калия с добавкой гидроксида лития.

Никель-кадмиевые и никель-железные аккумуляторы продолжают использоваться и в наше время.

Максимальная ЭДС никель-кадмиевых и никель-железных аккумуляторов достигает 1,36В, однако из-за большего, чем у свинцовых, внутреннего сопротивления считается, что при номинальной нагрузке ЭДС снижается до 1,25В. Такая величина считается номинальной. Это весьма существенный недостаток, поскольку при объединении в батарею требуется большее количество аккумуляторов. По энергоемкости аккумуляторы данного типа соизмеримы со свинцовыми.

Есть у щелочных аккумуляторов и положительные качества. Главное из них – большой срок службы, превышающий 25 лет. В целом они менее капризны, чем кислотные, могут без заметного ущерба храниться в разряженном состоянии, заряжаются значительно быстрее. Поскольку ЭДС у щелочного аккумулятора незначительно меньше, чем у гальванического элемента, для многих портативных устройствах выпускаются аккумуляторы с габаритами привычных всем «батареек».

В разное время были разработано большое количество других типов щелочных аккумуляторов на основе ртути, хрома, серебра и других элементов таблицы Менделеева. Большинство из них не получили широкого распространения, но некоторые стоит отметить. В частности хорошими техническими характеристиками обладают цинк-серебряные аккумуляторы. Однако их главный недостаток – высокая цена, обусловленная применением в качестве окислителя оксида серебра. По этой причине они нашли применение лишь в военной и космической сфере.

Интересные результаты получены при использовании водорода в качестве катодного материала. Для реализации окислительно-восстановительной реакции с участием водорода применяют никелевый электрод с платиной в качестве катализатора. Энергоемкость таких аккумуляторов очень высока, но их производство связано с технологическими трудностями. В частности, водород должен находиться

под очень большим давлением, что предполагает наличие прочного корпуса батарейки. В последнее время для снижения давления стали применять специальные интерметаллические соединения никеля с редкоземельными металлами. Они позволяют удерживать большое количество водорода, которое освобождается в ходе химической реакции. Давление в аккумуляторе такой конструкции около 5 атмосфер, что достаточно безопасно.

3.1.3 Литиевые аккумуляторы

В 60-е годы прошлого века началась эпоха микросхем в электронике, а уже в 70-е тенденция миниатюризации технических устройств стала всеобъемлющей, затронув и сферу источников питания. В результате появились компактные аккумуляторы с литиевым анодом, заметно превосходящие по эксплуатационным показателям все аналоги. Сейчас они используются в сотовых телефонах, компьютерах, а также в военной сфере, например, в качестве источников энергии беспилотных летательных аппаратов. На сегодняшний день это самые энергоэффективные аккумуляторы.

Электроды литиевого аккумулятора выполнены в виде фольги – алюминиевой для анода и медной для катода. На слоях фольги закреплен анодный и катодный материал, а между ними размещен пропитанный электролитом сепаратор. Литий в чистом виде входил в состав первых аккумуляторов, однако он оказался пожароопасен и даже мог привести к взрыву аккумулятора. Рисунок 36 иллюстрирует последствия такого происшествия.



Рисунок 36 - Результат возгорания литиевого аккумулятора

По этой причине в настоящее время вместо него в составе катода применяют различные соединения лития. Различным может быть и материал анода. Основными электрохимическими комбинациями являются литий-кобальтовые и литий-ферро-фосфатные. Именно они применяются в большинстве сотовых телефонов и компьютеров и характеризуются следующими параметрами.

Напряжение единичного элемента находится в пределах от 2,5 до 4,23В, номинальной считается величина 3,6 В. Удельная энергоемкость составляет от 110 до 230 Вт/А*ч, что значительно больше, чем у других существующих типов. Число циклов заряда-разряда, при котором сохраняется 80 % номинальной емкости, составляет 600. Литиевые аккумуляторы отличаются способностью переносить разряд большими токами и достаточно быстрым зарядом – от 15 минут до 1 часа. В принципе их можно было бы использовать в качестве стартерных, но они не работают при отрицательных температурах. Другим существенным недостатком является специальный режим заряда. Если кислотные или щелочные аккумуляторы можно заряжать в составе целой батареи определенным током в течение заданного времени, то у литиевых батарей все сложнее. У них зарядка батареи идет индивидуально для каждого аккумулятора и

управляется специальным контроллером. Впрочем, и эта задача уже считается решенной.

В таблице 18 приведены основные характеристики различных типов аккумуляторов. Анализ приведенных в таблице сравнительных характеристик аккумуляторов показывает, что для каждого типа можно найти оптимальную область применения.

Свинцовые аккумуляторы, благодаря низкому внутреннему сопротивлению, могут кратковременно переносить разрядные токи в сотни ампер и поэтому способны обеспечить нормальную работу стартера.

Таблица 18 – Основные характеристики аккумуляторов

Параметр	Тип аккумулятора			
	Pb	NiCd	NiMn	Li-ion
Энергоемкость Вт* ч/кг	30 – 50	45 – 80	60 – 120	90 – 135
Уном, В	2	1,25	1,2	3,3–3,8
Количество циклов	200 – 300	1000	300 – 500	1000 – 2000

Щелочные аккумуляторы старого типа для этой цели подходят меньше, зато они имеют низкую цену, большой срок службы и без проблем переносят хранение в разряженном состоянии. Эти качества позволяют применять их в различных сезонных устройствах, например, в качестве бортовых источников питания речных судов, эксплуатирующихся только летом.

Аккумуляторы на основе лития считаются наиболее совершенными, хотя их применение в зимний период без подогрева невозможно. Кроме приведенных в таблице достоинств, они еще имеют очень малый саморазряд, не требуют при вводе в эксплуатацию проведения контрольно-тренировочных циклов, мало стареют в отсутствие использования.

Проводятся исследования по улучшению характеристик аккумуляторов данного типа, и в ближайшее время ожидается их существенное удешевление и расширение диапазона рабочих температур.

3.1.4 Топливные элементы

Топливные элементы, также, как и гальванические, преобразуют химическую энергию в электрическую. Однако реактивы в них содержатся не внутри, а постоянно подаются извне. Теоретически топливный элемент не имеет срока годности. На практике временные ограничения есть, и они определяются чистотой реагентов [9].

Принцип работы данного устройства рассмотрим на примере водородного топливного элемента, изображенного на рисунке 37.

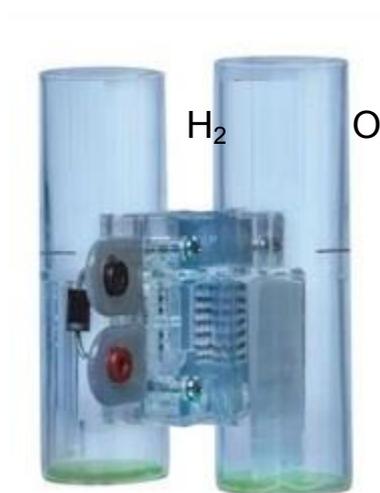


Рисунок 37 - Водородный топливный элемент

Анод и катод представляют собой угольные электроны с платиновым катализатором. Они разделены протонопроводящей мембраной. Область анода заполнена водородом, а катода – кислородом. Под воздействием катализатора электроны активизируются, а оставленные ими протоны проникают сквозь мембрану на катод. Свободные электроны отправляются

во внешнюю цепь. Оставшиеся без электронов протоны на катоде начинают брать электроны из внешней цепи. В результате появляется ток. Такие топливные элементы имеют КПД от 60 до 80 %, их применение постоянно расширяется.

При всех положительных качествах топливный элемент имеет и особенности, мешающие его широкому внедрению. Одна из основных проблем заключается в том, что идеально чистый водород можно получить только электролизом, а это трудоемкий и затратный процесс. В промышленном масштабе водород добывается из природного газа и не полностью свободен от примесей. Вторая важная проблема заключается в том, что применение платины в качестве катализатора дорого, и запасы этого металла ограничены. Протонопроводящая мембрана тоже постоянно совершенствуется. Успешно применяются образцы на основе полимеров, керамики и некоторых других веществ. Разработан топливный элемент, не содержащий мембраны. Но для мобильных группировок применение топливных элементов тоже возможно, хотя и дорого.

Особую роль могут сыграть топливные элементы в качестве накопителей электроэнергии в ветряных, солнечных и других электростанциях, производимая мощность которых меняется в широких пределах. Идея запастись энергией в виде водорода заключается в следующем. Излишки энергии используются для выработки водорода путем электролиза, который производится довольно простым устройством. Полученный газ с помощью компрессора накачивается в баллоны для хранения. По мере надобности этот водород подается на топливный элемент для выработки электроэнергии. Расчеты показывают, что КПД такой установки может составлять 30 – 40 %.

Вместо водорода в топливном элементе могут применяться и некоторые другие реагенты, например, метиловый спирт, который на катоде окисляется в диоксид углерода. Преимущество данного метода состоит в его экономичности. Если водород требуется хранить в баллонах под высоким

давлением, то метанол является жидкостью даже при комнатной температуре. Современные газовые баллоны выдерживают давление до 800 атмосфер, при этом масса водорода примерно в 13 раз меньше массы такого же объема метанола. На сегодняшний день этот вид горючего считается самым энергоемким для применения в топливных элементах.

Недостатком метаноловых элементов следует считать токсичность, что ограничивает область их применения. В них также в качестве катализатора используется платина, что слишком дорого для изделий широкого потребления.

3.1.5 Ионисторы

Серьезным шагом вперед стало изобретение ионисторов, называемых также суперконденсаторами. По удельной энергоемкости они в несколько раз уступают свинцовым аккумуляторам, но это временно. Уже есть технические решения – пока лабораторного масштаба, которые уже сравняли эти накопители энергии.

Электроды ионистора изготавливаются из пористого материала, например, активированного угля, а в качестве электролита используются кислоты или щелочи. Изготовителям удалось добиться устойчивого разделения электролита и электродов. На границе их раздела образуется двойной электрический слой, причем противоположные заряды находятся на крайне малых расстояниях. Поскольку электрод имеет пористую структуру, суммарная площадь поверхности всех пор очень велика. Таким образом, ионистор с точки зрения накопления энергии можно представить как плоский конденсатор с пластинами огромной площади, расположенными на расстоянии нескольких нанометров. Как известно, емкость пропорциональна площади пластин и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Поэтому ионистор может запасти очень большую энергию.

Малое расстояние между пластинами определяет один очень важный недостаток ионисторов – малое рабочее напряжение, так как при его увеличении может наступить пробой. Обычное напряжение ионисторов – несколько вольт, зато его емкость измеряется в фарадах.

Основные плюсы и минусы данного типа накопителей энергии следующие.

Преимущества:

- большие максимальные токи зарядки и разрядки;
 - простота зарядного устройства;
- малая деградация даже после сотен тысяч циклов заряда/разряда. Проводились исследования по определению максимального числа циклов заряд-разряд. После 100 000 циклов не наблюдалось ухудшения характеристик;
- ионистор обладает длительным сроком службы (при 0.6 $U_{ном}$. около 40 000 часов с незначительным снижением емкости);
 - малый вес по сравнению с электролитическими конденсаторами подобной емкости;
 - низкая токсичность материалов (кроме органических электролитов);
 - неполярность. Хотя на ионисторах и указаны «+» и «-», это делается для обозначения полярности остаточного напряжения после его зарядки на заводе-изготовителе.

Недостатки:

- высокая цена ионисторов с большими разрядными токами препятствующая их широкому применению;
- удельная энергия существующих симметричных ионисторов меньше, чем у аккумуляторов;
- напряжение зависит от степени заряженности;
- высокое внутреннее сопротивление у большинства ионисторов, выпускающихся промышленностью;

- возможность выгорания внутренних контактов при коротком замыкании для ионисторов большой емкости и с низким внутренним сопротивлением;
- низкое рабочее напряжение по сравнению с другими типами конденсаторов;
- значительно больший, по сравнению с аккумуляторами, саморазряд.

Ионисторы находят применение в радиоэлектронной аппаратуре и бытовой технике. Так, например, они сглаживают броски питания автомагнитол в момент пуска и при других скачках напряжения бортовой сети. Известен также шуруповерт на ионисторе. Он заряжается за полторы минуты, после чего зарядки хватает на 22 шурупа. В целом этот тип накопителя энергии следует считать перспективным.

3.2 Модуль 0,5 кВт на солнечных батареях

Как было отмечено ранее, эффективность солнечных батарей зависит от многих факторов. Необходимо учесть, прежде всего, прогнозируемый уровень инсоляции.

В качестве базовой солнечной батареи можно взять, например, 250-ваттную панель с универсальным креплением, характеристики которой приведены в таблице 19. Требуемый 500-ваттный модуль в идеале можно построить из 2 таких батарей, однако с учетом реальных условий эксплуатации их количество может быть увеличено.

Таблица 19 - Характеристики солнечной батареи

Характеристика	Значение
Тип солнечных элементов	Поликристаллический
Номинальная мощность	250 Вт
Ток при пиковой мощности	8,2 А
Напряжение при пиковой мощности	30,54 В

Температура эксплуатации	-40...+85°C
Распределительная коробка	IP65
Габариты	1640x992x4 мм
Вес	18,6 кг

Поскольку массогабаритные показатели батарей позволяют транспортировать любое их количество, будем исходить из того, что возможности полевой гелиоэлектростанции будут определяться возможностями преобразовательного оборудования.

Главным элементом такого оборудования является инвертор – устройство, преобразующее нестабильное входное напряжение в необходимое для зарядки аккумуляторов и работы оборудования. Таких устройств на рынке электроники множество. В качестве примера можно взять контроллер заряда для солнечных батарей «Фотон-100-50», изображенный на рисунке 38.



Рисунок 38 - Контроллер «Фотон-100-50»

Он преобразует энергию солнечных батарей напряжением до 100 В в необходимое для зарядки аккумуляторов напряжение 12 В или 24 В. Таким образом, для создания гелиоэлектростанции, способной обеспечить группировку необходимой электрической мощностью требуется выполнить

прогноз уровня инсоляции в данной местности и выбрать солнечные батареи, контроллеры и аккумуляторные батареи.

3.3 Ветряная электростанция

В отличие от солнечной, ветряная электростанция не может строиться по модульному принципу, то есть путем наращивания количества ветрогенераторов. В данном случае энергетические возможности будут определяться скоростью ветра и конструкцией винта. Поскольку винты с горизонтальной осью более энергоэффективны, примем их за основу.

Прогнозирование скорости ветра было рассмотрено во втором разделе и реальные возможности ветроэлектрогенератора в составе мобильной группировки будут определяться возможностями его транспортировки и монтажа. Учитывая габариты кузовов грузовых автомобилей, лопасти винта могут иметь площадь около 5 м² каждая. Тогда для традиционной трехлопастной конструкции при скорости 5 м/с может быть получена мощность не менее 1 кВт, что может быть достаточной величиной во многих случаях. А при скорости ветра 10 м/с может быть получена мощность около 10 кВт. При более слабых ветрах применение ветряной электростанции может оказаться нецелесообразным. Так, например, для Тольятти, где скорость ветра в среднем составляет 2,3 м/с, на выходе генератора будет не более 36 Вт.

Как и солнечные батареи, ветрогенераторы выдают нестабильное напряжение и требуют соответствующего оборудования для его преобразования. Если использование энергии ветра энергетически целесообразно, выбрать контроллер не составляет труда.

Рассмотренная во втором разделе конструкция, совмещающая ветрогенератор с воздушным змеем, хотя и выглядит фантастической, в

определенных случаях может быть приемлемой. В частности, при этом можно поднять антенну радиорелейной станции на необходимую высоту и обеспечить привязку с местной системой связи.

3.4 Конструкция термоэлектрогенератора

Как было выяснено ранее, при использовании огня костра с помощью термопар можно получать существенную электрическую мощность. В идеальном случае термопары, плотно размещенные на поверхности 200-литровой бочки могут выдать мощность 1 кВт. С технологической точки зрения, а также исходя из соображений компактности, металлическая конструкция должна иметь коническую или пирамидальную конструкцию, чтобы вкладываться одна в другую.

Хотя параметры выходного напряжения термоэлектрогенератора могут поддерживаться путем регулирования интенсивности горения, в данном случае тоже целесообразно использовать контроллер. В частности, вполне подойдет рассмотренный ранее контроллер для солнечной батареи.

3.5 Безопасность проекта и оценка его стоимости

Безопасность работы системы электроснабжения мобильной группировки обеспечивается следующим образом. При использовании местной электросети – соблюдением существующих правил эксплуатации электрооборудования. Подключение к ним должно согласовываться с их руководством. Самостоятельное подключение к воздушным и кабельным линиям строго запрещено.

При использовании бензиновых и дизельных электроагрегатов должны быть соблюдены все требования их технической документации, в том числе, по технике безопасности.

Работа с аккумуляторами должна выполняться только обученным персоналом. При этом должны приниматься меры, предотвращающие вредное воздействие электролитов на персонал.

Использование солнечных, ветряных и термоэлектрических систем безопасно, так как их рабочее напряжение не превышает 30 В.

Расчет стоимости проекта не имеет смысла, поскольку описанные технические решения не предполагают массового изготовления.

3.6 Выводы по 3 разделу

1. Солнечные, ветряные и термоэлектрические источники энергии имеют нестабильные параметры и поэтому нуждаются в преобразовании выходного напряжения и накоплении полученной энергии. Принятие решения о выборе варианта электроснабжения должно выполняться на основе анализа условий работы мобильной группировки.
2. В качестве накопителей электроэнергии могут быть использованы кислотные, щелочные и литий-ионные аккумуляторы, а также топливные элементы. При выборе необходимо руководствоваться особенностями их эксплуатации и стоимостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мобильные группировки различного назначения, действующие длительное время в отрыве от основных сил, часто сталкиваются с проблемой электроснабжения. Острота данной проблемы и возможные пути ее решения зависят от конкретной ситуации. В одних случаях требуется срочно принимать сложные технические решения, а в других – вспоминать давно забытые способы выработки электроэнергии. Иногда разрушения местной инфраструктуры таковы, что рассчитывать на скорое восстановление энергоснабжения не приходится. Такая ситуация имела место после землетрясения в Армении. В настоящее время ситуация с пандемией коронавируса показала, что многое в современной жизни может меняться самым непредсказуемым образом.

В магистерской диссертации исследованы проблемы электроснабжения мобильных группировок с целью повышения их живучести и функциональной эффективности в нештатных ситуациях. Кратко рассмотрены хорошо известные способы их решения – использование местных электросетей и электрогенераторов с двигателями внутреннего сгорания. Основное же внимание уделено энергоснабжению в нештатных ситуациях.

Несмотря на различие мобильных группировок по составу и задачам, их электроснабжение имеет много общего. В качестве базового варианта мобильной группировки был выбран полевой госпиталь. Полученные применительно к его энергетическим потребностям решения могут быть легко адаптированы к другим видам группировок.

В работе проанализированы возможности солнечной и ветряной энергетики. Представленный материал позволяет обоснованно принимать решение о выборе способов электроснабжения в нештатных ситуациях. Также доказана возможность и перспективность применения термоэлектрогенераторов там, где много топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018, 462 с.
2. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение: с изменением N 1 [Электронный ресурс]: Постановление Госстроя России от 29 мая 2003 г. N 44. URL: <http://docs.cntd.ru/>. (Дата обращения 19.05.19).
3. СанПиН 2.1.3.2630-10 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность [Электронный ресурс]: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 18.05.2010 N 58. URL <http://docs.cntd.ru/> (Дата обращения 19.05.19).
4. Гоман В.В., Тарасов Ф.Е. Проектирование и расчет систем искусственного освещения [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО/ — Уральский федеральный университет, 2019. URL: <http://www.iprbookshop.ru/87854.html>. (Дата обращения 20.05.2019).
5. Беляков И.Ю. Особенности устройства, эксплуатации, обслуживания и ремонта танковых аккумуляторных батарей. [Электронный ресурс]: учебное пособие.
URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1015649> (Дата обращения 22.05.2019).
6. Кривоногов, Н. А. Общая электротехника. Учебное пособие [Электронный ресурс].
URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/908836> (Дата обращения 25.05.20).
7. Туревский, И. С. Электрооборудование автомобилей. Учебное пособие. [Электронный ресурс].
URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1066635> (Дата обращения 2.06.2019).

8. Тетельмин, В. В. Физические основы традиционной и альтернативной энергетики: учебное пособие. [Электронный ресурс]: - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/552448> (Дата обращения 18.07.2018).
9. Квасников, Л. А. Регенеративные топливные элементы. Глава 2-6 [Электронный ресурс]: URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/453284> (Дата обращения 25.05.20).
10. Клевцов А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии [Электронный ресурс] URL: <http://www.iprbookshop.ru/90255.html>. (Дата обращения 11.03.20).
11. Падалко, Л. П. Альтернативные энергоносители на автотранспорте: эффективность и перспективы / [Электронный ресурс]: Нац. акад. наук Беларуская навука, 2017. - 263 с URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1067313>. (Дата обращения 25.05.20).
12. Кукк, К. И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее [Электронный ресурс]: Кукк К.И. - Москва : 2015. - 256 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/513587>. (Дата обращения 5.02.20).
13. Фадеев Д.О., Лебедев Е.В., Парпишоев Д.А. Особенности организации систем технического учета электроэнергии на производстве : Международный научно-практический журнал «Форум молодых ученых», ТГУ, 2019.
14. Фадеев Д.О., Лебедев Е.В., Пантелеев Д.С. Особенности организации систем технического учета электроэнергии : Международный научно-практический журнал «Форум молодых ученых», ТГУ, 2019.
15. Харрисон, Л. Источники опорного напряжения и тока [Электронный ресурс]: Москва: ДМК Пресс, 2015. — 576 с. — URL:

- <https://new.znanium.com/catalog/product/1032266> . (Дата обращения 25.05.20).
16. Md. Rabiul Islam Renewable Energy Sources & Energy Storage [Электронный ресурс] book/ Md. Rabiul Islam, Naruttam Kumar Roy, Saifur Rahman – Springer, 2018 – 231 p.- ISBN 978-981-10-7286-4 URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-10-7287-1.pdf> ЭБС Springer link . (Дата обращения 21.04.19).
17. Amro M. Farid Multi-Agent System Design Principles for Resilient Coordination & Control of Future Power Systems [Электронный ресурс] article/ Amro M. Farid -Intelligent Industrial Systems October 2015, Volume 1, Issue 3, pp 255–269 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40903-015-0013-x> . (Дата обращения 21.04.19).
18. Amanullah M. T. Oo The Traditional Power Generation and Transmission System: Some Fundamentals to Overcome Challenges [Электронный ресурс] article/ Amanullah M. T. Oo ,Shaheen Hasan Chowdhury Smart Grids 2013, p.1-21, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5210-1_1 . (Дата обращения 21.04.19).
19. Geppert, B., Brittner, A., Helmich, L. et al. Enhanced Flexible Thermoelectric Generators Based on Oxide–Metal Composite Materials. [Электронный ресурс] Journal of Elec Materi 46, 2356–2365 (2017). URL: <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5281-7> . (Дата обращения 21.04.19).
20. Rao K.R. (2019) Wind Energy: Technical Considerations [Электронный ресурс] – Contents. In: Wind Energy for Power Generation. Springer, Cham Online ISBN978-3-319-75134-4 URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75134-4_1 . (Дата обращения 21.04.19).
21. Автономное электроснабжение для частного дома: обзор лучших локальных решений [Электронный ресурс]

- URL:<https://sovet-ingenera.com/eco-energy/eko-dom/avtonomnoe-elektrosnabzhenie-dlya-chastnogo-doma.html> . (Дата обращения 21.04.19).
22. Ветряные электрогенераторы. Плюсы и минусы. [Электронный ресурс] URL: <https://domikelectrica.ru/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma-dengi-na-veter/> . (Дата обращения 21.04.19).
23. Оснащение медицинских учреждений [Электронный ресурс] URL: https://teh-med.ru/osnachenie_bolnic. (Дата обращения 21.04.19).
24. Пневмокаркасные конструкции. Принцип действия. [Электронный ресурс] URL: [xhttps://yandex.ru/search/?text=пневмокаркасные%20конструкции%20принцип%20действия&clid=2270455&banerid=6301000000%3A5da b3285c8bf94002478dde3&win=435&lr=240](https://yandex.ru/search/?text=пневмокаркасные%20конструкции%20принцип%20действия&clid=2270455&banerid=6301000000%3A5da b3285c8bf94002478dde3&win=435&lr=240) (Дата обращения 21.04.19).
25. Полевой госпиталь в Бергамо [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/news/story/Rossijskie_voennye_mediki_peredali_Italii_polevoj_gospital_v_Bergamo--98fb4216c25cf868688e14d989ba10eb?lr=213&lang=ru&stid=GA0eu6at0x5lqYVusld7&persistent_id=96823055&rubric=personal_feed&from=story (Дата обращения 21.04.19).
26. Резервный источник электропитания в медицинских организациях и иные требования энергобезопасности [Электронный ресурс] URL: <https://kormed.ru/baza-znaniy/otkrytie-i-licenzirovanie/normy-pozharnoi-bezopasnosti/rezervnyy-istochnik-elektropitaniya-v-meditsinskih-organizatsiyah-i-inye-trebovaniya-energobezopasnosti/> (Дата обращения 21.04.19).
27. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы [Электронный ресурс] URL: <https://bellona.ru/2005/04/02/radioizotopnye-termoelektricheskie-g/> (Дата обращения 21.04.19).
28. Расчет освещения точечным методом [Электронный ресурс]

- URL:https://studopedia.ru/18_58116_raschet-osveshcheniya-tochechnim-metodom.html (Дата обращения 21.04.19).
29. Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока [Электронный ресурс] URL:<https://1posvetu.ru/montazh-i-nastrojka/raschet-osveshheniya-po-metodu-kisp.html> (Дата обращения 13.03.19).
30. Солнечная энергетика сегодня и перспективы её дальнейшего развития [Электронный ресурс] URL:<https://topor.info/hi-tech/solnechnaya-energetika><https://topor.info/hi-tech/solnechnaya-energetika> (Дата обращения 13.03.19).
31. Термогенератор на керосине или на дровах. [Электронный ресурс] URL:<https://zen.yandex.ru/media/retrocams/termogenerator-na-kerosine-ili-na-drovah-5da93c0906cc4600b0fdc804> (Дата обращения 13.03.19).
32. Термоэлектрический эффект Зеебека [Электронный ресурс] URL:<https://zen.yandex.ru/media/id/5c615e3c9e391400ae5f8253/termoelekticheskiy-effekt-zeebeka-oblast-primeneniia-effekta-5d3734e56f5f6f00adc2a8dc> (Дата обращения 13.03.19).
33. Хирургическое оборудование [Электронный ресурс] URL:https://teh-med.ru/hirurgicheskoe_oborudovanye
34. Эффективность идеального пропеллера [Электронный ресурс] URL:<http://forum.rcdesign.ru/blogs/174358/blog19577.html> (Дата обращения 18.03.19).

