

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Государственное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
АВТОНОМНОГО
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
И СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВОК**

Учебно-методическое пособие

Казань 2018

УДК 620.92

Проектирование энергетического комплекса автономного электроснабжения на базе ветроэлектрической и солнечной фотоэлектрической установок.

Учебно-методическое пособие / Сост.: А.Ю. Кубарев, Р.В. Ахметова, С.М. Маргулис – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – с.

Учебное пособие содержит рекомендации для проектирования энергетического комплекса автономного электроснабжения на базе ветроэлектрической и солнечной фотоэлектрической установок, а также пример разработки комплекса автономного электроснабжения.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» для изучения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

© Кубарев А.Ю., Ахметова Р.В., Маргулис С.М.

©Казанский государственный энергетический университет, 2018 г.

Введение

Дисциплина «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» относится к вариативной части «блока 1. Дисциплины» ОП подготовки бакалавра «Электрические станции» направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Дисциплина «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» является вариативной и обязательна для освоения в шестом семестре третьего года обучения.

Научные положения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» сформулированы на основе математики, химии, физики.

Входные требования к освоению дисциплины, предварительные условия

До изучения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» обучающиеся должны:

Знать:

- основные законы электротехники и их математическое описание.

Уметь:

– применять физико-математический аппарат при решении задач.

Владеть:

– навыками анализа оборудования и его параметров.

Для освоения дисциплины у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции и их составляющие:

- *ОК-7* - способностью к самоорганизации и самообразованию;

- *ОПК-1* - способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий

1. Общие рекомендации по выполнению курсового проектирования

Современная жизнь немыслима без постоянного электроснабжения, но до сих пор в некоторых случаях подключение к электросети может быть сопряжено с целым рядом проблем. Автономное электроснабжение сегодня пользуется большим спросом, как у частных лиц, так и у организаций. Как правило, речь идет о предприятиях, чей производственный процесс требует бесперебойного электроснабжения и самостоятельного контроля подачи электричества, а также медицинских учреждениях, где от качества электроснабжения зависят человеческие жизни.

Собственные системы основного и резервного электроснабжения используются на самых разных объектах: в дачных и коттеджных поселках, на производстве, на военных объектах и в больницах, в телекоммуникационных центрах. Широкий модельный ряд современного оборудования позволяет подобрать оптимальную систему для решения конкретных задач – от устройства бесперебойного электроснабжения коттеджа до обеспечения энергией огромного производственного комплекса.

1.1 Системы электроснабжения от автономных источников

Широко распространённые источники возобновляемой энергии, такие как ветровая и солнечная энергия на сегодняшний момент являются одними из наиболее удобных для организации системы автономного электроснабжения для объектов небольшой мощности, обычно загородных домов, дач и различного рода хозяйств.

Уровень напряжения установок такого рода как правило кратен 12 В, но в зависимости от текущего соотношения выработки и нагрузки отклонения от номинала могут превышать 50% как в большую, так и в меньшую сторону. Между тем для использования в быту наиболее удобен переменный ток номинальным напряжением 220 В с отклонениями $\pm 10\%$.

Кроме того и солнечная и ветровая энергия довольно сильно изменяют свою интенсивность в течении суток и при перемене сезонов времени года. Особенно это касается средней полосы Российской Федерации, где сезонность будет играть ключевую роль.

Исходя из сказанного, для систем автономного электроснабжения необходимо создавать буфер для накопления энергии с последующим

хранением в моменты дефицита или полного отсутствия электрической энергии.

Упомянутые системы электроснабжения состоят из четырёх основных компонентов: первичный преобразователь возобновляемой энергии (ветровая турбина, системы из солнечных фотоэлектрических элементов и т.д.), контроллер заряда (необходим для защиты системы накопления энергии от перезаряда), аккумуляторы (используются для накопления электрической энергии) и инвертор (необходим для преобразования постоянного тока низкого напряжения в переменный ток промышленной частоты в 50 Гц).

На первый взгляд сама система является довольно простой, однако это простота обманчива, – здесь, как и в любой системе, все элементы должны быть сбалансированы между собой. В большинстве случаев несбалансированность обернется лишь неоправданными затратами на неиспользуемый потенциал, но иногда может способствовать к выходу из строя самого слабого элемента.

Из-за особенностей воспринимаемой и преобразуемой энергии первичные источники электроэнергии (например, ветроэлектрический генератор или солнечные фотоэлектрические элементы) могут быть абсолютно не похожи друг на друга. Контроллеры заряда, нормализующие вырабатываемый ток к номинальному низковольтному напряжению, тесно связаны с особенностями первичных источников и поэтому также не могут быть полностью унифицированы. В свою очередь, принципы подбора аккумуляторов и инверторов уже крайне слабо зависят от вида первичных источников энергии, важен лишь период перебоев, определяющий необходимый энергозапас накопителя энергии.

1.2 Определение потребностей

Прежде всего, следует выяснить, какое количество энергии потребуется от системы. Для этого придётся определить пиковую мгновенную мощность, а также рассчитать величины ожидаемого суточного энергопотребления — его максимальные и среднее значения.

Пиковая мгновенная мощность определяется суммарной мощностью всех электрических потребителей, которые могут быть включены одновременно, то есть наиболее тяжёлым режимом с точки зрения нагрузки на электрическую сеть. Однако это не значит, что следует просуммировать мощность всех электроприборов проектируемого объекта. Некоторые из них принципиально не будут работать одновременно (снегоуборщик и

газонокосилка используются в разные сезоны). Большинство других электроприборов тоже включается поочередно. Более того, не сложно перед включением мощного электроприбора (например, утюга) убедиться в том, что электрочайник в данный момент выключен — это позволит не тратиться на избыток мощности, который в реальности окажется востребованным лишь изредка. Зато должны быть учтены все автоматически включающиеся мощные потребители (например, электрические тёплые полы или подогрев воды в бойлере) и потребители, работающие в длительном режиме (освещение, компьютер, телевизор) — вероятность их одновременной работы высока. В результате требования к максимальной мгновенной мощности снижаются во много раз, и вместо десятков киловатт, необходимых при одновременном включении всей имеющейся электротехники, обычно вполне достаточно 3-6 кВт, что при сетевом напряжении 220 В соответствует предохранителю-автомату на 16-32 А. А вот определить ожидаемое суточное энергопотребление сложнее. Оно зависит от того, в каком режиме планируется использовать создаваемую систему автономного электроснабжения.

1.3 Режимы автономного электроснабжения

Можно выделить следующие условные режимы использования системы автономного электроснабжения: *полный, комфортный, умеренный, базовый и аварийный*. При одном и том же наборе потребителей электроэнергии для разных режимов требования к мгновенной мощности и энергозапасу системы (а значит, её цена, вес и размеры) могут различаться во много раз.

1.4 Полное электроснабжение

Как следует из названия, этот режим подразумевает полную замену сетевого электроснабжения на автономное без какого-либо ограничения привычного стиля жизни. Чтобы определить необходимое количество энергии, достаточно снять показания с электросчётчика среднестатистического домохозяйства или посмотреть на ежемесячные платежи за электричество. Обычно это от 100 до 300 кВт·ч в месяц, при среднесуточном потреблении от 3 до 10 кВт·ч и при пиковом потреблении до 20 кВт·ч в сутки. Если же достаточно интенсивно используется

электрический подогрев полов и воздуха, то месячное потребление легко может превышать 500 кВт·ч, а суточное — 50 кВт·ч. И потребляемая мощность не превышает 5 – 6 кВт.

Таким образом, чтобы полностью отключиться от электросети, но ни в чём не менять нынешней образ жизни, необходима *система, способная за месяц выдать не менее 600 кВт·ч электроэнергии при мощности в длительном режиме не менее 5 кВт, а потребление энергии за сутки может достигать 50 кВт·ч при среднем значении от 10 до 20 кВт·ч в сутки.* Описанные выше цифры говорят о неких средних потребностях, от региона к региону цифры могут сильно меняться. Например, активное использование электроплиты и электрической духовки легко увеличит приведённые значения вдвое. С другой стороны, принципиальный отказ от использования электронагревателей, электроплит и электрочайников вполне способен сократить месячный расход энергии до 100 – 150 кВт·ч, дневное потребление до 5 кВт·ч и максимальную мощность, потребляемую в длительном режиме, до 3 кВт. Если же электричество используется только для питания ноутбука и для пары энергосберегающих ламп по вечерам, то расход будет минимальным.

1.5 Комфортное электроснабжение

Комфортное электроснабжение отличается от полного лишь исключением самых прожорливых потребителей — тех электронагревателей, у которых мощность превышает 2 кВт или среднее энергопотребление за сутки превышает 4 – 5 кВт·ч. Таким образом, стиральные машины, электроутюги, хлебопечки, электрочайники и даже электрический подогрев полов в санузлах вместе с электрическими бойлерами горячего водоснабжения продолжают оставаться в системе, а вот электроплиты, электрические духовки, конвекторы и электрический подогрев обширных площадей исключаются. Что, конечно, не мешает подключить их к внешней сети отдельной линией при наличии таковой.

В среднем комфортный режим потребует *от 100 до 250 кВт·ч в месяц (среднесуточное потребление от 3 до 8 кВт·ч) при пиковом потреблении до 15 кВт·ч в сутки, а мгновенная потребляемая мощность в длительном режиме не превышает 5 кВт.*

1.6 Умеренное электроснабжение

Этот режим предполагает заметные изменения в образе жизни при сохранении высокого уровня комфорта. Впрочем, список потребителей мало отличается от режима комфортного энергоснабжения, за исключением таких необязательных элементов, как электрочайники и электроподогрев полов. Использование электроподогрева горячей воды тоже может быть ограничено. Помимо этого, изменения касаются и времени выполнения не регулярных, но энергоёмких работ. Чтобы сэкономить на ёмкости аккумуляторов, такие работы надо выполнять в периоды максимума возобновляемой энергии (для солнечных фотоэлектрических панелей избегать ночных периодов и пасмурной погоды. А основной расход энергии производить в солнечные ясные дни, когда поток солнечной радиации максимален и частично компенсирует разряд аккумуляторов, а что разрядилось, будет восполнено до наступления темноты. Для ветроэлектрических генераторов оптимальными, соответственно, будут ветреные дни). К таким работам, например, относится стирка, в машине-автомате с подогревом воды, глажка большого количества белья, активная работа с мощным электроинструментом и садовой электротехникой и т.п.

В этом режиме потенциальный расход электроэнергии следует просчитывать более тщательно. Для этого необходимо составить таблицу предполагаемых потребностей.

Таблица 1.1 Потребности в умеренном режиме

Потребитель	Мощность	Сезон	Продолжительность работы за сутки		Потребление за сутки	
			в среднем	максимум	в среднем	максимум
Основные регулярные потребители						
Инвертор	20 Вт	всегда	24 часа		1.73 МДж (0.48 кВт·ч)	
Контроллер заряда	5 Вт	всегда	24 часа		0.43 МДж (0.12 кВт·ч)	
Освещение (одновременно 10 энергосберегающих ламп по 20 Вт, аналогичных лампам накаливания по 100 Вт)	200 Вт	зима	8 часов	10 часов	5.76 МДж (1.6 кВт·ч)	7.2 МДж (2 кВт·ч)
		лето	2 часа	4 часа	1.44 МДж (0.4 кВт·ч)	2.88 МДж (0.8 кВт·ч)
Холодильник (работа компрессора)	500 Вт	зима	2 часа	2.5 часа	3.6 МДж (1 кВт·ч)	4.5 МДж (1.25 кВт·ч)
		лето	2.5 часа	3 часа	4.5 МДж (1.25 кВт·ч)	5.4 МДж (1.5 кВт·ч)
Насос	250 Вт	зима	30 минут	40 минут	0.45 МДж	0.6 МДж

вибрационный					(0.125 кВт·ч)	(0.17 кВт·ч)
		лето	2 часа	3 часа	1.8 МДж (0.5 кВт·ч)	2.7 МДж (0.75 кВт·ч)
Насос центробежный	800 Вт	всегда	15 мин	30 мин	0.72 МДж (0.2 кВт·ч)	1.44 МДж (0.4 кВт·ч)
Стиральная машина (механическая стирка и отжим, но без нагрева воды)	500 Вт	всегда	1 час	6 часов	1.8 МДж (0.5 кВт·ч)	10.4 МДж (3 кВт·ч)
Утюг (с учётом работы термостата)	1500 Вт	всегда	30 минут	2 часа	2.7 МДж (0.75 кВт·ч)	10.4 МДж (3 кВт·ч)
Телевизор с видеоприемником или в идеомагнитофоном	150 Вт	всегда	2 часа	4 часа	1.08 МДж (0.3 кВт·ч)	2.16 МДж (0.6 кВт·ч)
Ноутбук	100 Вт	всегда	2 часа	4 часа	0.72 МДж (0.2 кВт·ч)	1.44 МДж (0.4 кВт·ч)
ИТОГО	до 2.5 кВт максимум, обычно не более 1.5 кВт	зима			19.5 МДж(5.5 кВт·ч)	41 МДж(11.5 кВт·ч)
		лето			15 МДж (4.5 кВт·ч)	39.5 МДж (11 кВт·ч)
Второстепенные регулярные потребители						
Электрочайник	2 кВт	всегда	5 раз по 3 минуты	20 раз по 3 минуты	0.9 МДж (0.5 кВт·ч)	7.2 МДж (2 кВт·ч)
Кухонный водонагреватель нагрев воды до 70°C, нагреваемая порция не более 10 литров	1.2 кВт	зима(с 5°C)	2 часа(25 литров)	5 часов(50 литров)	9 МДж (2.5 кВт·ч)	19.5 МДж (5.5 кВт·ч)
		лето(с 15°C)	1.5 часа (25 литров)	3 часа (50 литров)	5.5 МДж (1.5 кВт·ч)	11.5 МДж (3.2 кВт·ч)
Электрический бойлер горячего водоснабжения нагрев воды для ванной и душа до 50°C, нагреваемая порция не более 100 литров	0.7 / 1.3 / 2.0 кВт	зима(с 5°C)	4 / 2 / 1.25 часа(50 литров)	12 / 6 / 4 часа(150 литров)	9.5 МДж (2.5 кВт·ч)	28 МДж (8 кВт·ч)
		лето(с 15°C)	3 / 1.5 / 1 час(50 литров)	10 / 5 / 3 часа(150 литров)	7 МДж (2 кВт·ч)	21.5 МДж (6 кВт·ч)
ИТОГО	до 4 кВт максимум, обычно не более 2 кВт	зима			20 МДж (5.5 кВт·ч)	56 МДж (15.5 кВт·ч)
		лето			14.5 МДж (4 кВт·ч)	41 МДж (11.5 кВт·ч)

						кВт·ч)
Нерегулярные потребители						
Кухонные электроприборы (кухонный комбайн, мясорубка, миксер, соковыжималка и пр.)	до 2 кВт	всегда	30 минут	4 часа	до 1.8 МДж (1 кВт·ч)	до 14.4 МДж (4 кВт·ч)
Косметические электроприборы (электробритва, фен и пр.)	до 2 кВт	всегда	5 минут	30 минут	до 0.3 МДж (0.15 кВт·ч)	до 1.8 МДж (1 кВт·ч)
Пылесос	1800 Вт	всегда	30 минут	2 часа	3.5 МДж (0.9 кВт·ч)	13 МДж (3.6 кВт·ч)
Электроинструмент (болгарка, дрель, лобзик, электропилы и пр.)	до 2 кВт	всегда	1 час	4 часа	до 3.6 МДж (1 кВт·ч)	до 14.4 МДж (4 кВт·ч)
Газонокосилка или триммер	1500 Вт	лето	1 час	4 часа	5.4 МДж (1.5 кВт·ч)	18 МДж (5 кВт·ч)
Снегоуборщик	1500 Вт	зима	1 час	4 часа	5.4 МДж (1.5 кВт·ч)	18 МДж (5 кВт·ч)
ИТОГО	до 2 кВт					

Следует обратить внимание на две категории регулярных потребителей. К первой относятся те, которые трудно заменить ручным трудом или выполнить их работу с помощью устройств, не требующих электричества. Ко второй отнесены те, которые в данный момент работают на электричестве, но довольно легко заменяются на неэлектрические аналоги. Электрические бойлеры можно заменить газовой водогрейной колонкой, в том числе газобаллонной, или водогрейным котлом на дизельном топливе; если же ориентироваться на бестопливную энергию, то в течение большей части года достаточно успешно для подогрева воды можно использовать современные солнечные коллекторы). В отдельную группу выделены эпизодические потребители электроэнергии, работу большинства из которых вполне можно заменить ручным трудом или подождать подходящего периода для их включения.

Кроме того, некоторых потребителей нужно оценить при работе зимой и летом, поскольку особенности разных времён года оказывают большое влияние на их использование. При этом если для оценки зимнего режима следует ориентироваться на дни зимнего солнцестояния (конец декабря) или дни с наибольшими морозами (обычно в конце января), то для оценки

летнего режима надо брать не летнее солнцестояние (конец июня), а тёплый период с более короткими и прохладными днями, например, август или начало сентября.

Если исключить регулярных потребителей второй очереди (чайник и водонагреватели), то следует ориентироваться на *ежемесячное потребление порядка 150 кВт·ч при мгновенной потребляемой мощности в длительном режиме до 3 – 3.5 кВт и пиковой мощности до 5 кВт, а ожидаемое среднесуточное потребление составит 4 – 6 кВт·ч с возможным максимумом до 11 кВт·ч в сутки.*

Если же учесть регулярных потребителей второй очереди, то оценка потребностей приближается к соответствующим оценкам для **комфортного режима**. В умеренном режиме электрические водонагреватели можно подключать по остаточному принципу — в дни, когда возобновляемая энергия в избытке, они также питаются ею, однако когда её мало, отключаются от этого источника. Это позволит заметно повысить комфорт и сэкономить топливо, по крайней мере, в период длинных дней, но потребует постоянного контроля за погодой (вручную либо с использованием специальных технических решений). Если есть возможность регулировать в электрическом бойлере мощность нагревателя, то предпочтительнее выбирать минимальную — это увеличивает время нагрева воды, но зато снижает требования к мощности электроснабжения и при достаточном объёме бойлера практически не оказывает влияния на температуру воды в кране. Впрочем, и температуру нагрева в бойлерах большого объёма лучше устанавливать не высокую — 50°C или ниже, — это уменьшает тепловые потери в режиме ожидания и несколько сокращает образование накипи (в бойлерах малого объёма температуру нагрева всё равно приходится держать высокой, а при использовании смешивать горячую воду с большим количеством холодной, чтобы горячая вода не кончилась слишком быстро).

1.7 Базовое электроснабжение

В этом режиме особенности энергопотребления очень существенно влияют на стиль жизни. Это влияние, заключается в постоянном учёте текущей нагрузки на автономное энергоснабжение и в необходимости включения всех мощных потребителей не одновременно, а поочередно. Кроме того, в этом режиме следует постоянно помнить об экономии, в частности включать свет только там, тогда и столько, где, когда и сколько он действительно нужен. То же касается и всех остальных электроприборов.

Тем не менее, в этом режиме всё же можно поддерживать достаточный уровень комфорта и использовать практически всю домашнюю электротехнику, однако время включения энергоёмких потребителей в значительной степени определяется погодой, — все энергоёмкие работы следует проводить только в периоды максимума энергии. Для ветроэлектрических генераторов в ветреные дни, а для солнечных фотоэлектрических элементов — в солнечные дни до обеда, чтобы к вечеру заряд аккумуляторов восстановился до максимума.

Таблица 1.2 Потребности в базовом режиме

<i>Потребитель</i>	<i>Мощность</i>	<i>Сезон</i>	<i>Продолжительность работы за сутки</i>		<i>Потребление за сутки</i>	
			<i>среднее</i>	<i>максимум</i>	<i>среднее</i>	<i>максимум</i>
Регулярные потребители						
Инвертор	20 Вт	всегда	24 часа		1.73 МДж (0.48 кВт·ч)	
Контроллер заряда	5 Вт	всегда	24 часа		0.43 МДж (0.12 кВт·ч)	
Освещение (одновременно 5 энергосберегающих ламп по 20 Вт, аналогичных лампам накаливания по 100 Вт)	100 Вт	зима	8 часов	10 часов	2.88 МДж(0.8 кВт·ч)	3.6 МДж(1 кВт·ч)
		лето	1 час	3 часа	0.36 МДж(0.1 кВт·ч)	1.08 МДж(0.3 кВт·ч)
Холодильник (работа компрессора)	500 Вт	зима	1.5 часа	2 часа	2.7 МДж(0.75 кВт·ч)	3.6 МДж(1 кВт·ч)
		лето	2 часа	3 часа	3.6 МДж(1 кВт·ч)	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)
Насос вибрационный	250 Вт	зима	30 минут	40 минут	0.45 МДж(0.125 кВт·ч)	0.6 МДж(0.17 кВт·ч)
		лето	1 час	3 часа	0.9 МДж(0.25 кВт·ч)	2.7 МДж(0.75 кВт·ч)
Насос центробежный	800 Вт	всегда	15 минут	30 минут	0.72 МДж(0.2 кВт·ч)	1.44 МДж(0.4 кВт·ч)
Стиральная машина (механическая стирка и отжим, но без нагрева воды)	500 Вт	всегда	30 минут	3 часа	0.9 МДж(0.25 кВт·ч)	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)
Утюг (с учётом работы термостата)	1500 Вт	всегда	10 минут	1 час	0.9 МДж(0.25 кВт·ч)	3.6 МДж(1 кВт·ч)
Телевизор с видеопроигрывателем или видеомagniтофоном	150 Вт	всегда	2 часа	4 часа	1.08 МДж(0.3 кВт·ч)	2.16 МДж(0.6 кВт·ч)

Ноутбук	100 Вт	всегда	2 часа	4 часа	0.72 МДж(0.2 кВт·ч)	1.44 МДж(0.4 кВт·ч)
ИТОГО	До 1.5 кВт, максимум до 2.5 кВт, обычно не более 1 кВт	зима			13 МДж(3.5 кВт·ч)	25 МДж(6.5 кВт·ч)
		лето			11.5 МДж(3.5 кВт·ч)	25.5 МДж(7 кВт·ч)
Нерегулярные потребители						
Кухонные электроприборы (кухонный комбайн, мясорубка, миксер, соковыжималка и пр.)	до 2 кВт	всегда	15 минут	2 часа	до 0.9 МДж(0.5 кВт·ч)	до 7.2 МДж(2 кВт·ч)
Косметические электроприборы (электробритва , фен и пр.)	до 2 кВт	всегда	5 минут	20 минут	до 0.3 МДж(0.15 кВт·ч)	до 2.5 МДж(0.7 кВт·ч)
Пылесос	1800 Вт	всегда	20 минут	1 час	2.16 МДж(0.6 кВт·ч)	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)
Электроинструмент (болгарка, дрель, лобзик, электропилы и пр.)	до 2 кВт	всегда	30 минут	4 часа	до 1.8 МДж(0.5 кВт·ч)	до 14.4 МДж(4 кВт·ч)
Газонокосилка или триммер	1500 Вт	лето	1 час	3 часа	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)	14.4 МДж(4 кВт·ч)
Снегоуборщик	1500 Вт	зима	1 час	3 часа	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)	14.4 МДж(4 кВт·ч)
ИТОГО	до 2 кВт					

В базовом режиме допускается не только круглогодичная работа холодильника, но и широкое использование таких приборов, как телевизор, ноутбук, кухонная техника и даже фен. Тем не менее, возможности такого использования существенно снижены по сравнению с *умеренным режимом*, а все нагревательные приборы исключены, что даёт заметную экономию. В этом случае *ежемесячное потребление можно оценить в 100 кВт·ч при мгновенной потребляемой мощности в длительном режиме около 1 кВт с пиковым потреблением до 2.5 кВт, а в моменты использования электроинструмента — до 4 кВт, при ожидаемом среднесуточном потреблении 3 – 4 кВт·ч с максимумом до 7 кВт·ч в сутки.*

Можно сказать, что базовый режим способен удовлетворить все основные потребности без их кардинального сокращения.

1.8 Аварийное электроснабжение

Аварийный режим подразумевает жёсткое ограничение потребностей, однако в отличие от предыдущих случаев, предполагается, что автономная работа в таком режиме продлится не более нескольких дней подряд, поэтому многие энергоёмкие электроприборы можно не использовать до восстановления обычного энергоснабжения. Задача аварийного энергоснабжения — обеспечить минимальные удобства и функционирование важнейших систем жизнеобеспечения дома. Естественно, имеется в виду индивидуальный дом или хозяйство, поскольку в многоквартирном доме (а также в таунхаусах и пр.) в частном порядке это практически невозможно из-за централизации таких критически важных коммуникаций, как водоснабжение, канализация и отопление.

Жизненно важными потребностями являются, прежде всего, электрическое освещение, а также функционирование системы водоснабжения и в холодное время года — отопления. Если в канализации и дренаже используются электронасосы, их тоже надо будет учесть в расчёте.

Приемлемой альтернативы электрическому освещению на сегодняшний день не существует. Необходимость водоснабжения и отопления очевидна. Но подавляющее большинство современных систем отопления рассчитаны не на естественную конвекцию теплоносителя, а только на принудительную циркуляцию с помощью насоса, и потому даже если сам подогрев осуществляется дровами, газом или дизельным топливом, то дом всё равно прогреваться не будет, котел, же при отсутствии циркуляции, наоборот, рискует перегреться. Автоматика современных отопительных систем без электричества обычно также не работает. А в морозы выход отопительной системы из строя на несколько дней чреват полной непригодностью дома для жилья на весь остаток зимы и последующим тотальным ремонтом.

Для других важных потребностей есть альтернативы. Например, без пылесоса вполне можно обойтись.

Таблица 1.3 Потребности в аварийном режиме

<i>Потребитель</i>	<i>Мощность</i>	<i>Сезон</i>	<i>Продолжительность работы за сутки</i>		<i>Потребление за сутки</i>	
			<i>среднее</i>	<i>максимум</i>	<i>среднее</i>	<i>максимум</i>

Регулярные потребители						
Инвертор	20 Вт	всегда	24 часа		1.73 МДж (0.48 кВт·ч)	
Контроллер заряда	5 Вт	всегда	24 часа		0.43 МДж (0.12 кВт·ч)	
Освещение (одновременно 5 энергосберегающих ламп по 20 Вт, аналогичных лампам накаливания по 100 Вт)	100 Вт	зима	6 часов	10 часов	2.16 МДж(0.6 кВт·ч)	3.6 МДж(1 кВт·ч)
		лето	1 час	3 часа	0.36 МДж(0.1 кВт·ч)	1.08 МДж(0.3 кВт·ч)
Холодильник (работа компрессора)	500 Вт	зима	выключен	2 часа	0	3.6 МДж(1 кВт·ч)
		лето	2 часа	3 часа	3.6 МДж(1 кВт·ч)	5.4 МДж(1.5 кВт·ч)
Насос вибрационный	250 Вт	зима	30 минут	40 минут	0.45 МДж(0.125 кВт·ч)	0.6 МДж(0.17 кВт·ч)
		лето	1 час	3 часа	0.9 МДж(0.25 кВт·ч)	2.7 МДж(0.75 кВт·ч)
Насос центробежный	800 Вт	всегда	выключен	30 мин	0	1.44 МДж(0.4 кВт·ч)
Стиральная машина (механическая стирка и отжим, но без нагрева воды)	500 Вт	всегда	выключена	1 час	0	1.8 МДж(0.5 кВт·ч)
Утюг (с учётом работы термостата)	1500 Вт	всегда	выключен	1 час	0	3.6 МДж(1 кВт·ч)
Телевизор с видеопроектором или видеоманитофоном	150 Вт	всегда	выключен	4 часа	0	2.16 МДж(0.6 кВт·ч)
Ноутбук	100 Вт	всегда	выключен	4 часа	0	1.44 МДж(0.4 кВт·ч)
ИТОГО	До 1 кВт, максимум до 2.5 кВт, обычно не более 0.6 кВт	зима			5 МДж(1.5 кВт·ч)	20.5 МДж(6 кВт·ч)
		лето			7 МДж (2 кВт·ч)	21.5 МДж(6 кВт·ч)
Нерегулярные потребители						
Кухонные электроприборы (кухонный	до 2 кВт	всегда	не	1 час	0	до 3.6

комбайн, мясорубка, миксер, соковыжималка и пр.)			используются			МДж(1 кВт·ч)
Косметические электроприборы (электробрита, фен и пр.)	до 2 кВт	всегда	не используются	10 минут	0	до 0.6 МДж(0.3 кВт·ч)
Электроинструмент (болгарка, дрель, лобзик, электропилы и пр.)	до 2 кВт	всегда	15 минут	4 часа	до 0.9 МДж(0.25 кВт·ч)	до 14.4 МДж(4 кВт·ч)
ИТОГО	до 2 кВт					

В этом случае *ежемесячное потребление составит 50 кВт·ч зимой и 60 кВт·ч летом при мгновенной потребляемой мощности в длительном режиме примерно 600 Вт с пиковым потреблением до 1.5 кВт (в моменты использования электроинструмента — до 2.5 – 3 кВт), а ожидаемое среднесуточное потребление составляет 1.5 – 2 кВт·ч и не превышает 6 кВт·ч, хотя за счёт разнесения энергоёмких работ на разные дни вполне реально ограничить дневной максимум до 3 – 4 кВт·ч.*

1.9 Сравнение режимов автономного электроснабжения

Сведём результирующие параметры разных режимов автономного электроснабжения в одну таблицу.

Таблица 1.4 Сравнение режимов потребления энергии

Режим	Мощность в длительном режиме			Потребление за сутки		Потребление за месяц	Повседневное электроснабжение (т.е. при наличии напряжения во внешней сети)	
	обычно не более	максимум	максимальная непрерывно круглосуточно (включая лючая оборудование самой системы)	среднее	максимум		автономное	внешнее
Аварийный	0.6 кВт	1.5 кВт, изредка до 3 кВт	80 Вт	2 кВт·ч	3 кВт·ч	60 кВт·ч	не используется	используется всегда
Базовый	1 кВт	2.5 кВт, изредка до 4 кВт	130 Вт	3.5 кВт·ч	7 кВт·ч	100 кВт·ч	не используется или используется ограниченно	используется всегда

<u>Умеренный</u>	3 кВт	5 кВт	200 Вт	5 кВт·ч	11 кВт·ч	150 кВт·ч	для освещения, холодильника и систем жизнеобеспечения дома, иногда для других нужд	для нагревательных приборов и других мощных потребителей
<u>Комфортный</u>	3.5 кВт	5 кВт	330 Вт	6 кВт·ч	15 кВт·ч	250 кВт·ч	для всех основных потребителей, кроме мощных систем электрообогрева	эпизодически для мощных нагревательных приборов, сварочных аппаратов и т.п.
<u>Полный</u>	5 кВт	6 кВт	800 Вт	15 кВт·ч	50 кВт·ч	600 кВт·ч	всегда	не используется

Особенности летнего и зимнего потребления в большинстве случаев взаимно нивелируются — из подробных таблиц видно, что летнее сокращение потребностей в подогреве и освещении компенсируется возрастанием затрат на охлаждение, полив и работу с садовой техникой. Тем не менее, зимнее потребление всё же несколько больше летнего. Исключение составляет лишь аварийный режим, в котором из-за холодильника летнее потребление превышает зимнее. В таблице указаны данные для сезона с наибольшим потреблением. Следует отметить, что все режимы если и предусматривают электрический подогрев, то очень небольшой, основное отопление предполагается за счёт неэлектрических источников тепла.

Максимальная непрерывная круглосуточная мощность позволяет оценить допустимую суммарную мощность постоянно работающих потребителей, таких как циркуляционные насосы, системы контроля и управления и др. Сюда же входит и мощность, потребляемая оборудованием самой системы энергоснабжения — контроллерами и инверторами.

Мгновенная мощность определялась по сумме номинальных мощностей одновременно работающих потребителей. Между тем, для

электродвигателей потребляемая мощность соответствует номинальной только при полной нагрузке, а если нагрузка не максимальна, то потребляемая энергия и мощность также уменьшается. С другой стороны, при включении нагревательных устройств и электродвигателей потребляемая мощность на короткое время может превышать номинальную в два раза и более.

1.10 Выбор оборудования

Как уже отмечалось, в состав систем автономного электроснабжения на источниках возобновляемой энергии входят следующие устройства:

первичный преобразователь возобновляемой энергии в электрическую, например, *панели с фотоэлектрических элементов* или *ветроэлектрический генератор*.

Контроллер заряда, обеспечивающий нормирование выходного напряжения первичного преобразователя, зарядку аккумуляторов и подачу постоянного тока в нагрузку. Поскольку контроллер тесно привязан к особенностям типа первичного преобразователя, *контроллеры заряда для солнечной батареи* не подойдут к ветроэлектрическому генератору и наоборот. В некоторых случаях контроллер входит непосредственно в состав первичного преобразователя, прежде всего это относится к ветроэлектрическим генераторам.

Электрохимический аккумулятор, запасает энергию в период её избытка и отпускает её в систему в период нехватки при недостаточном освещении фотоэлементов или при временном возрастании потребления электроэнергии.

Инвертор, обеспечивает преобразование постоянного тока от аккумуляторов и фотоэлементов к бытовому или промышленному стандарту.

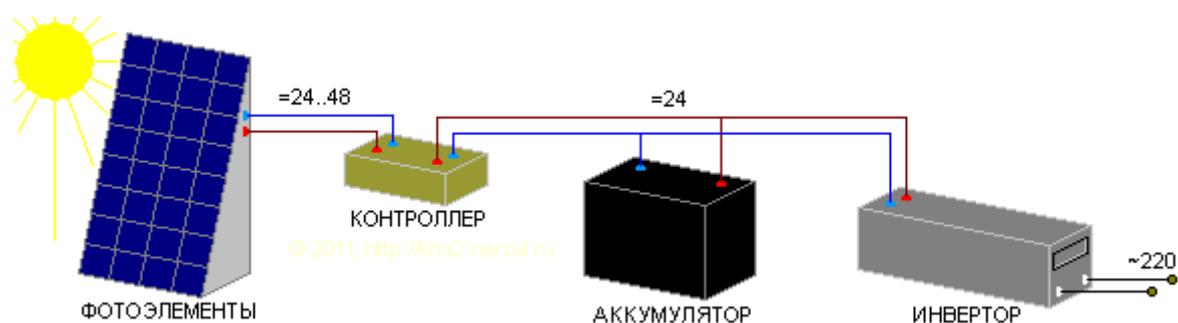


Рис. 1.1 Схема системы автономного электроснабжения на солнечных батареях

Определяющими критериями выбора являются две мощности — номинальная выходная мощность первичного источника и максимальная мощность нагрузки, причём в общем случае эти величины могут мало коррелировать друг с другом. Теоретически можно весь летний день заряжать аккумуляторы от 200-ваттной солнечной панели, поворачивая её вслед за Солнцем и накопить 2.5 кВт·ч электроэнергии, а вечером за полчаса потратить их на сварку, используя инвертор мощностью 5 кВт.

1.11 Выбор напряжения системы

Выходное напряжение системы обычно соответствует бытовому стандарту, которым в России является переменный ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Зато выбор низковольтного напряжения постоянного тока — это напряжение на входе инвертора, оно же номинальное напряжение блока аккумуляторов и фотоэлектрических панелей или ветрогенератора — гораздо шире. Стандартные мощные аккумуляторы имеют напряжение 12 В, несложно найти и 6-вольтовые варианты. Можно купить модули напряжением 2 В и собрать из них батарею на любое напряжение, кратное этому шагу. Номинальное выходное напряжение фотоэлектрических панелей мощностью от 50 Вт и выше обычно либо 12, либо 24 В, но его также можно наращивать с соответствующим шагом, соединяя батареи последовательно.

Большинство инверторов рассчитаны на входное напряжение 12, 24, 48 или 96 В, в зависимости от мощности. Дело в том, что уже для обеспечения мощности в 1 кВт при напряжении 12 В необходим ток в 83 ампера. Если же учесть потери инвертора, которые могут достигать 15%, то ток приближается к 100 А. Подобные и даже в 2-3 раза большие токи характерны для автомобильного стартера, но там они протекают редко и кратковременно. Здесь же они должны течь в длительном, практически непрерывном режиме. В результате сечение провода должно быть значительным — для медного провода не менее 25 мм² (диаметр около 6 мм), — а сами провода должны быть как можно короче (не более метра, а лучше 20 – 30 см). В противном случае в них будут чрезмерные потери энергии, уходящие на их нагрев, который опасен. При мощности 10 кВт ток, соответственно, возрастет до 1000 А, а минимально допустимое сечение провода увеличится уже не в 10, а более чем в 20 раз из-за проблем с отводом тепла из середины жилы — это должен быть медный пруток диаметром почти полтора сантиметра. Даже просто обеспечить компактное и надёжное соединение, позволяющее пропускать через него столь мощные токи в течение многих лет, весьма сложно. По этим причинам производители инверторов стремятся к тому,

чтобы входной ток, потребляемый инвертором в режиме номинальной мощности, не превышал 100 – 200 А, и при повышении мощности вынуждены поднимать входное напряжение.

Таблица 1.5 Особенности уровня напряжения системы постоянного тока

<i>Напряжение постоянного тока</i>	<i>Типовая номинальная мощность инвертора</i>	<i>Особенности низковольтной части</i>
Номинал 12 В ,	До 1.5 кВт, реже до 3 кВт	нет опасности поражения электрическим током; совместимо с огромным ассортиментом электрооборудования и дополнительных аксессуаров для легковых автомобилей
Номинал 24 В ,	от 1.5 до кВт, реже до 5 кВт	практически нет опасности поражения электрическим током; совместимо с электрооборудованием и дополнительными аксессуарами для многих грузовых автомобилей, яхт и пр.
Номинал 48 В ,	от 2.5 кВт до 5 кВт, реже до 10 кВт	имеется опасность поражения электротоком
Номинал 96 В ,	От 5 кВт и более	опасность сильного поражения электрическим током

В отличие от фотоэлектрических панелей и аккумуляторов, ветрогенераторы, инверторы и контроллеры нельзя включать последовательно, поэтому их нужно выбирать исходя из напряжения постоянного тока по необходимой выходной мощности инвертора в вышеприведённой таблице.

Оптимальным является предел 24 В, поскольку это напряжение вполне безопасно и подходит для номинальной выходной мощности инвертора в 3 кВт и даже до 5 кВт, — а этого вполне достаточно практически для всех потребителей, встречающихся в обычном домашнем хозяйстве. Если же требуется запитать одновременно несколько мощных потребителей, то может быть оправдано их подключение к двум или более инверторам одновременно — каждого к отдельной линией — при том, что номинальная мощность каждого инвертора не превышает 3 – 5 кВт, а входное напряжение остаётся в пределах 24 В (кстати, это позволит системе продолжать работу и в случае внезапного выхода из строя одного из инверторов — оставшийся обеспечит необходимое напряжение в сети, хотя за мощностью нагрузки, конечно, нужно будет следить более тщательно).

1.12 Выбор инвертора

Прежде всего, выбранный инвертор должен обеспечить необходимую выходную мощность. Входное напряжение связано с этой мощностью довольно тесно. Но помимо этого у инверторов есть и другие характеристики, на которые следует обратить внимание.

Первое, это **форма вырабатываемого тока**. Простейшие модели вырабатывают переменный ток треугольной или даже прямоугольной формы (меандр). Правда, эта форма тока, в реальности обычно сильно ухудшается огромными помехами и искажениями. Успешно такой ток потребляют лишь нагревательные приборы, не содержащие электронных блоков, и лампы накаливания. Вся остальная электротехника (электромоторы, трансформаторы, люминесцентные и энергосберегающие лампы и пр.) от тока подобной формы могут либо выйти из строя, либо не запуститься, либо работать, но очень плохо, даже при напряжении 220 В. Более приемлем ток трапецеидальной формы. В настоящее время инверторы, вырабатывающие на выходе переменный ток таких форм, встречаются редко. Наиболее часто современные инверторы выдают так называемый «модифицированный синус», представляющий собою ступенчатое приближение к синусоидальной форме. Такая форма тока вполне успешно потребляется практически всеми современными бытовыми устройствами и электроинструментами, но звук работы некоторых из них заметно меняется и становится громче, а блоки питания могут начать заметно «звенеть». Чтобы устранить эту проблему, можно попытаться использовать различные фильтры, сглаживающие неровности тока. Инверторы, вырабатывающие «чистый синус», выдают ток, форма которого очень близка к идеальному синусу и обычно, намного, лучше, чем форма тока в электросети. Единственный недостаток этого класса инверторов — они немного крупнее и в полтора или два раза дороже аналогичных инверторов с «модифицированным синусом».

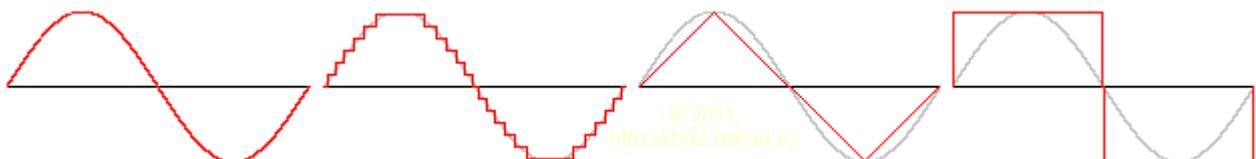


Рис. 1.2 Схемы формы тока и напряжения на выходе инвертора (слева направо): чистый синус, модифицированный синус, треугольник, меандр

Второе, это **КПД инвертора**. Чем он выше, тем меньше непроизводительные потери энергии. Большинство современных инверторов имеет КПД более 90%.

Третье, это способность инвертора **работать в режиме зарядки аккумуляторов**. Такой инвертор в комплекте с аккумуляторами интересен уже сам по себе, — он, по существу представляет собой источник бесперебойного питания (UPS) — примерно такой, какие используются для компьютеров, но мощностью в несколько киловатт и ёмкостью в несколько киловатт-часов. При работе с возобновляемой энергией эта особенность также очень полезна — она позволяет уменьшить запас мощности солнечных фотоэлектрических панелей или ветроэлектрического генератора и снизить требования к ёмкости аккумуляторов для наиболее неблагоприятной ситуации, поскольку при недостатке возобновляемой энергии аккумуляторы можно подзарядить от внешней сети или от аварийного генератора. Впрочем, во многих ситуациях более широкие возможности даёт использование отдельного зарядного устройства, не интегрированного в единый блок с инвертором.

Четвёртое, чем подробнее **индикация**, тем лучше. Весьма желательна возможность контроля как входного напряжения (на аккумуляторах), так и выходного (в розетке). Кроме того необходимо наличие защиты от перегрузки и от короткого замыкания в нагрузке.

Пятое, очень полезно, если инвертор допускает **кратковременное превышение номинальной нагрузки**, хотя бы в полтора-два раза. Это позволяет использовать электромоторы и нагревательные приборы, мощность которых равна номинальной мощности инвертора. Дело в том, что обычно при их включении ток существенно превышает номинал. И если защита инвертора настроена строго на его номинальную мощность, то в этот момент она может сработать, и не даст использовать электроприбор, потребление которого на самом деле вполне укладывается в рамки номинальной мощности за исключением краткого момента включения.

Шестое, полезна функция, которая при полном заряде аккумулятора **подключает к отдельной линии дополнительную нагрузку**, например водонагреватели. В солнечные дни это позволяет с пользой автоматически утилизировать избыток энергии и не допускать траты энергии на второстепенные цели тогда, когда её мало.

Седьмое при мощности потребления до 10 кВт гораздо удобнее использовать не трёхфазное, а однофазное напряжение. Это упрощает разводку по дому и устраняет проблемы, связанные с распределением фаз по

потребителям. К тому же трёхфазные инверторы труднее найти, и они сложнее и дороже, чем однофазные той же мощности.

1.13 Выбор аккумуляторов

Наиболее широко распространены аккумуляторы на 12 В, и именно из них обычно собираются аккумуляторные батареи на любое напряжение, кратное этой величине, в том числе 24, 48 и 96 В. Аккумуляторный блок системы автономного электроснабжения характеризуется такими основными параметрами, как рабочая ёмкость, ток заряда и ток разряда.

1.14 Соединение аккумуляторов

При рабочем напряжении, превышающем 12 В, несколько аккумуляторов соединяются *последовательно* таким образом, чтобы сумма их номинальных напряжений соответствовала необходимому номинальному напряжению блока. Если силы тока или запаса энергии одной такой сборки не хватает, то несколько сборок соединяются *параллельно*, пока их суммарные возможности не достигнут требуемого порога.

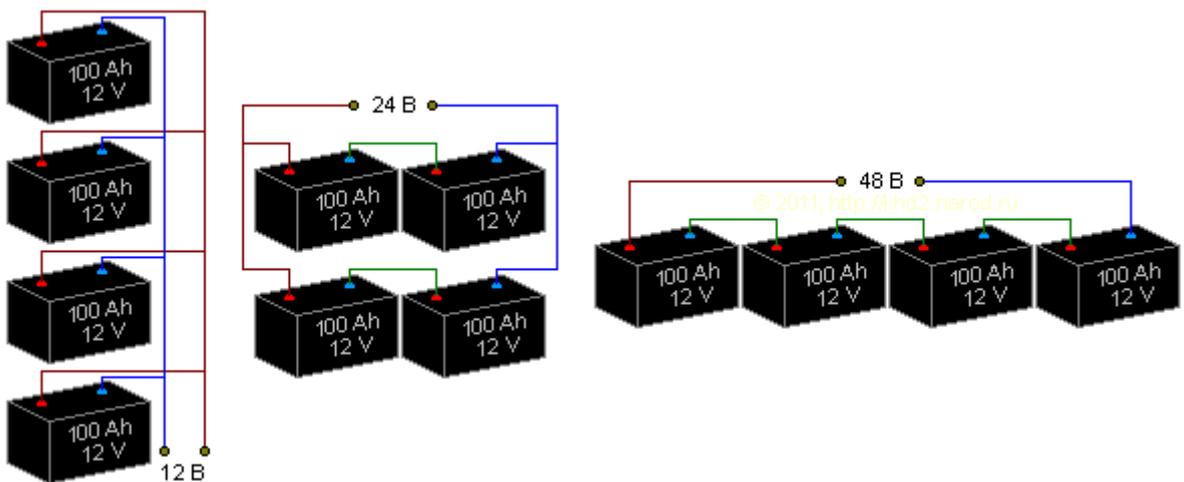


Рис. 1.3 Схема сборки блока аккумуляторов с рабочим запасом энергии 1 – 2 кВт·ч (в зависимости от нагрузки) на напряжение 12, 24 и 48 В

Во избежание возникновения проблем, чреватых не только быстрым выходом аккумуляторов из строя, но даже взрывом и пожаром, все

аккумуляторы должны быть не только одного типа и одной номинальной ёмкости, но и принадлежали к одной и той же партии. Для аккумуляторов, соединённых последовательно и входящих в одну сборку, это требование **обязательно**. Менять между собой аккумуляторы из разныхборок после не длительной эксплуатации крайне нежелательно. Нельзя заменять новым только один аккумулятор в сборке — всю сборку следует менять целиком, и в новой сборке аккумуляторы также должны быть из одной и той же партии.

В связи с этими ограничениями, чем ниже номинальное напряжение блока аккумуляторов, тем удобнее его обслуживать — в блоке на 12 В аккумуляторы можно заменять и добавлять по одному, на 24 В — только парами, на 48 В — сразу четвёрками, а на 96 В — лишь по 8 штук одновременно.

1.15 Выбор типа аккумуляторов

В настоящее время благодаря постепенному снижению цен мощные литий-ионные аккумуляторы начинают составлять реальную конкуренцию традиционным свинцово-кислотным. К преимуществам литий-ионных устройств можно отнести большую удельную ёмкость, а следовательно, меньший удельный вес, что наряду с меньшими размерами может стать главным фактором для различных мобильных систем. Кроме того, они позволяют практически полностью использовать свою номинальную ёмкость, считаются более надёжными и имеющими больший срок службы, а их энергетическая эффективность в полном цикле превышает 90%, в то время как энергетическая эффективность свинцовых аккумуляторов при заряде последних 20% ёмкости может падать до 50%, а именно такой режим характерен для систем автономного энергоснабжения при компенсации кратковременных нехваток энергии. Следует подчеркнуть, что для литий-ионных аккумуляторов требуются специальные зарядные устройства, режим заряда свинцово-кислотных аккумуляторов им не подходит. Тем не менее, для стационарных систем массогабаритные характеристики обычно не очень актуальны, а хорошее соотношение ёмкости и цены может обойти более высокую энергетическую эффективность. Свинцово-кислотные аккумуляторы, в свою очередь, также имеют несколько разновидностей. Для системы энергоснабжения можно предпочесть **тяговые** аккумуляторы, позволяющие более полно использовать номинальную ёмкость по сравнению со **стартовыми (автомобильными)**. Внешне их часто можно различить по

форме клемм — у автомобильных они имеют вид усечённых конусов, на которые надеваются зажимы с проводами, а у тяговых рассчитаны на подключение проводов болтами. *Наиболее предпочтительными по соотношению цена-качество-удобство в настоящее время являются необслуживаемые гелиевые кислотно-свинцовые аккумуляторы с заявленным сроком службы в 10-12 лет* при условии размещения их в отапливаемом помещении, где температура не будет опускаться ниже +10 – +15°C. Обычные автомобильные (стартовые заливные) аккумуляторы тоже вполне приемлемы. Более того, они менее чувствительны к холоду, а в течение нескольких секунд даже при ёмкости 50 А·ч многие из них способны без ущерба для себя выдавать ток более 200 А.

Заявленный срок службы имеет важное значение, в определении долговечности системы. В зависимости от технологии, современные кислотно-свинцовые аккумуляторы имеют срок службы 3-5, 10-12 и 20-25 лет. Разница между двумя первыми категориями невелика — «долгожители» лишь ненамного тяжелее и дороже своих менее долговечных собратьев, так что выигрыш здесь очевиден (это не относится к использованию в автомобилях, там совсем другие условия). Следует заметить, что оптимальные параметры зарядки для обычных (заливных) и для гелиевых аккумуляторов несколько отличаются, причём эти данные разнятся в разных источниках. Так, по некоторым данным, напряжение абсорбции (максимальное напряжение в цикле зарядки) у гелиевых аккумуляторов несколько ниже (14.1 В вместо 14.4 В), а напряжение поддержки чуть выше (13.6 В вместо 13.5 В). Видно, что различия эти не принципиальны, однако всё же желательно помнить о них и при возможности выбирать настройки оборудования, соответствующие типу аккумулятора. Аккумуляторы с заявленным сроком службы в 20 и более лет существенно дороже, и покупка их в нашем случае не имеет смысла — срок службы электронных блоков системы (инвертора и контроллера) также следует оценивать в 10-12 лет, поэтому нет смысла переплачивать за потенциальную долговечность аккумуляторов — всё равно систему придётся модернизировать и, возможно, к тому времени появятся принципиально новые технологии.

1.16 Предварительный выбор ёмкости. Рабочий и буферный запас энергии

Прежде всего, необходимо определиться с общей энергоёмкостью блока аккумуляторов. В большинстве случаев можно сказать, что рабочий

энергетический запас такого блока следует выбирать равным расчётному среднесуточному потреблению в минимально приемлемом режиме. Например, для аварийного режима это будет 2 кВт·ч, для базового — 4 кВт·ч, для умеренного — 5 кВт·ч и в соответствии с вышеприведёнными данными.

Теперь оценим энергозапас аккумуляторных накопителей. Возьмём, например, аккумулятор на 12 В с номинальной ёмкостью 100 А·ч. Если судить по номинальной ёмкости, то его энергозапас составляет $12 \text{ В} \cdot 100 \text{ А}$ в течении $3600 \text{ с} = 4.32 \cdot 10^6 \text{ Дж}$, т.е. 1.2 кВт·ч. Однако обычно производитель гарантирует лишь около 250 циклов полного разряда, и если аккумулятор ежедневно опустошать до нуля, то он не проработает и полугода. Чтобы аккумулятор прослужил 10 лет, степень регулярного разряда должна быть гораздо меньше. Считается, что в так называемом «буферном» режиме работы, обеспечивающем наибольшую долговечность аккумулятора, глубина разряда не должна превышать 20% от номинальной ёмкости, т.е. в нашем случае 0.24 кВт·ч. Впрочем, можно принять, что пару раз за год при особо неблагоприятном стечении обстоятельств глубина разряда может превысить буферное значение в два раза — это не вызовет существенного сокращения срока службы, но позволит вдвое уменьшить количество аккумуляторов. Поэтому рабочую (т.е. расчётную для предельного случая) ёмкость аккумуляторов следует считать в 2.5 – 3 раза меньше их номинальной ёмкости. Таким образом, на относительно небольшой нагрузке (ток разряда в пределах 5% от номинальной ёмкости) рабочий энергозапас одного аккумулятора на 100 А·ч можно считать примерно равным 0.5 кВт·ч, т.е. для обеспечения рабочей энергоёмкости блока аккумуляторов 2 кВт·ч следует взять 4 таких аккумулятора, соединив их в соответствии с выбранным низковольтным напряжением по одной из схем, показанных на рисунке выше. Для рабочей ёмкости 4 кВт·ч необходимо уже 8 таких аккумуляторов, т.е. число их сборок надо удвоить. При этом буферный энергозапас, используемый ежедневно, следует считать как минимум вдвое меньше рабочего — для 12-вольтовых аккумуляторов он будет 0.125, 0.25 и 0.5 кВт·ч при ёмкости 50, 100 и 200 А·ч соответственно.

Автомобилисты со стажем знают, что реально отдаваемая аккумулятором энергия очень сильно зависит и от окружающей температуры, и от тока нагрузки. Например, по формальному расчёту типовой автомобильный аккумулятор ёмкостью 50 А·ч должен обеспечить 30 минут работы при токе нагрузки 100 А (кручение стартера на горячем двигателе) или 10 минут при токе нагрузки 300 А (холодный старт в зимнее время). Но в реальности будет хорошо, если даже летом удастся покрутить

стартер в сумме всего 3-5 минут, причём лишь по несколько секунд за сеанс. и с перерывами между сеансами для «отдыха» аккумулятора. Затем стартер уже не сможет крутиться с нужной скоростью, а лампочки на приборной доске в это время будут еле тлеть. Однако при снятии нагрузки от стартера лампочки снова загораются и светят достаточно ярко — при уменьшении потребления напряжение аккумулятора тут же восстанавливается до приемлемого уровня. Поэтому нагрузка на аккумулятор очень важна для времени его работы до момента, когда сработает защита от переразряда. Один и тот же аккумулятор может несколько часов питать лампочку мощностью 100 Вт, но его хватит лишь на несколько минут работы киловаттного мотора. Таким образом, если предполагается длительное подключение мощной нагрузки при питании от аккумуляторов, количество аккумуляторов следует увеличить по сравнению с тем же расчётным энергозапасом для относительно слабой нагрузки (для большой нагрузки рабочий энергозапас надо считать равным буферному).

Как выбрать ёмкость отдельного аккумулятора? Например, 24-вольтовый блок на 2 кВт·ч можно собрать из восьми 12-вольтовых аккумуляторов по 50 А·ч, четырёх по 100 А·ч или двух по 200 А·ч. 200-амперчасовые весьма громоздки и весят 65 – 75 кг, что даже передвинуть их в одиночку совсем непросто, особенно в тесных неудобных местах. В то же время аккумуляторы по 50 А·ч потребуют слишком большого числа соединений, а это увеличивает трудоёмкость монтажа и снижает надёжность. 100-амперчасовые аккумуляторы весят менее 40 кг, и их не так сложно поднять, поставить или передвинуть одному человеку, при этом число коммутаций вдвое меньше, чем при использовании 50-амперчасовых, а суммарная цена блока аккумуляторов будет немного ниже.

Следует подчеркнуть, что это лишь предварительный выбор ёмкости, и её обязательно следует проверить на соответствие параметрам заряда и разряда, заявленным производителем аккумуляторов. Именно они имеют приоритетное значение.

1.17 Токи заряда и разряда. Окончательный выбор ёмкости

При использовании недорогих контроллеров заряда суммарный ток зарядки, равный максимальному току первичного источника энергии (солнечной фотоэлектрической панели или ветрогенератора), не должен превышать указанный производителем максимально допустимый ток заряда аккумулятора, умноженный на число параллельных сборок (именно сборки, а

не отдельных аккумуляторов). Это условие может быть нарушено, если первичный источник слишком мощный, а блок аккумуляторов слишком слабый. И тогда возможен не только быстрый выход аккумуляторов из строя, но даже их взрыв и возгорание. ***При использовании контроллеров с МРРТ, преобразующих излишек напряжения в дополнительный ток, следует ориентироваться на максимальный выходной ток контроллера, а не первичных источников.***

С другой стороны, слишком малый ток заряда не сможет полностью зарядить аккумуляторы. Это происходит тогда, когда ёмкость блока аккумуляторов слишком высока, а источник возобновляемой энергии имеет небольшую мощность. При недолгой эксплуатации это приведёт лишь к сокращению текущего запаса энергии в аккумуляторах, однако постоянный недозаряд снижает ёмкость аккумуляторов и сокращает срок их службы.

Ток, потребляемый инвертором в режиме максимальной мощности, не должен превышать предельно допустимый ток разряда аккумуляторов, умноженный на число их параллельных сборок. Для обеспечения более комфортных условий работы и хорошей энергоотдачи аккумуляторов крайне желательно, чтобы ток разряда в длительном режиме не превышал половину, а ещё лучше — пятую часть максимально допустимого значения.

Точные значения токов следует смотреть в документации на конкретную модель аккумулятора, но для предварительных расчётов можно принять следующие величины этих токов в амперах относительно ёмкости в ампер-часах:

- максимальный ток разряда численно равен ёмкости и допустим только в кратковременном режиме — несколько секунд;
- оптимальный ток разряда не превышает 20% ёмкости (для длительной непрерывной нагрузки лучше уложиться в 5 .. 10%, — например, нагрузка от освещения составляет менее 10%, а при включении холодильника остаётся в пределах 20%);
 - оптимальный ток заряда составляет 5 .. 10% от ёмкости;
 - максимальный ток заряда не превышает 20% от ёмкости (иногда — до 30%).

В настоящее время появляется всё больше моделей контроллеров заряда, позволяющих регулировать не только напряжение, но и зарядный ток в соответствии с ёмкостью блока аккумуляторов. В таких случаях максимальный зарядный ток уже не ограничивает сверху общую мощность первичных источников, но и стоимость таких контроллеров заметно выше, чем у более простых моделей. Для нерегулируемых контроллеров основным

критерием выбора ёмкости аккумуляторов является ток заряда, так как именно он оказывает главное влияние на долговечность и безопасность их эксплуатации. Исходя из вышеприведённых цифр, суммарная ёмкость сборок аккумуляторов в ампер-часах должна в 5 .. 10 раз превышать максимальный суммарный ток (в амперах) всех работающих на них первичных источников (скажем, сборок фотоэлектрических панелей, — не отдельных аккумуляторов и панелей, а именно их сборок на номинальное низковольтное напряжение). А уже в этих пределах можно ориентироваться на необходимый запас энергии. Некоторые модели аккумуляторов позволяют расширить границы допустимого диапазона емкостей блока до 3 .. 20 раз от максимального вырабатываемого тока первичных источников.

У новых аккумуляторов ёмкость и время хранения обычно соответствуют заявленным значениям. Но при долговременной эксплуатации аккумуляторов эти величины могут заметно сократиться по сравнению с первоначальными. Поэтому если Вы желаете иметь гарантированный запас энергии в течении многих лет, следует увеличить ёмкость банка относительно расчётной раза в 1.5, а то и вдвое (обеспечив соответствующий ток зарядки). Кстати, такое увеличение ёмкости обеспечит и более щадящий режим рабочего разряда аккумуляторов, а это также положительно скажется на их долголетию.

1.18 Выбор проводов

Если при малых токах вопрос о сечении проводников возникает редко, то когда речь идёт о токах в десятки и сотни ампер, этим пренебрегать ни в коем случае нельзя. Важное значение имеют падение напряжения и тепловыделение на погонный метр провода. Например, на 10 метрах медного провода сечением 4 мм² при токе в 10 А теряется 0.44 В напряжения и 4.4 Вт мощности, а при токе в 25 А — 1.1 В и 27.5 Вт. Для низковольтной системы это очень много, — так, для 12 В эти потери составят более 3.5% и более 9% соответственно, — а с учётом того, что ток всегда течёт по замкнутому контуру и обычно возвращается обратно по второй такой же жиле, потери удваиваются. По этой причине длины проводов низковольтной части должны быть минимальными, особенно в том её сегменте, где ток «сконцентрирован» и потому наиболее силён, т.е. между контроллером, аккумулятором и инвертором (если первичных источников несколько, желательно подключать их к контроллеру «звездой», а не «шлейфом» — это не только позволяет при необходимости отключать и подключать источники индивидуально, но и снижает ток по каждой паре проводов, и общие потери).

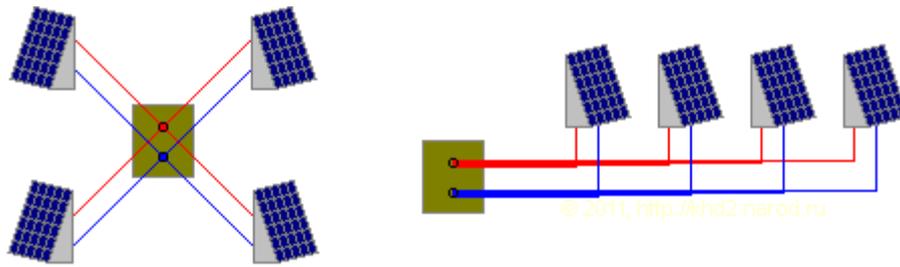


Рис. 1.4 Схемы параллельного подключения нескольких одинаковых электрических устройств к одному узлу. Слева — «звезда», справа — «шлейф». Толщина линий условно показывает токовую нагрузку на соответствующий участок цепи.

В таблице указаны предельные токи, допустимые в длительном режиме для разных сечений изолированных проводов из различных материалов, а также приведены потери напряжения на погонный метр провода при предельном токе по нему (омические потери мощности вычисляются перемножением тока на падение напряжения).

Таблица 1.6

Сечение →	1.0 мм ²	1.5 мм ²	2.5 мм ²	4.0 мм ²	6.0 мм ²	10 мм ²	16 мм ²	25 мм ²
Алюминий	8 А 0.22 В/м	11 А 0.21 В/м	16 А 0.18 В/м	20 А 0.14 В/м	24 А 0.11 В/м	34 А 0.10 В/м	56 А 0.10 В/м	80 А 0.09 В/м
Железо	-	-	8 А 0.31 В/м	10 А 0.25 В/м	12 А 0.20 В/м	17 А 0.17 В/м	28 А 0.18 В/м	40 А 0.17 В/м
Медь	11 А 0.19 В/м	14 А 0.16 В/м	20 А 0.14 В/м	25 А 0.11 В/м	31 А 0.09 В/м	43 А 0.08 В/м	70 А 0.08 В/м	100 А 0.07 В/м

В таблице приведены устаревшие нормы для проводов с тканево-резиновой изоляцией, обладающей довольно плохой теплопроводностью. Более современная пластиковая изоляция обеспечивает лучший отвод тепла и позволяет пропускать большие токи. Например, Орловский кабельный завод для медного провода ВВГбм всех модификаций в качестве предельного тока устанавливает 19.5 А для сечения 1.5 мм² и 26.3 А для сечения 2.5 мм². Однако рекомендуется без крайней необходимости не выходить за рамки значений, указанных в данной таблице, поскольку они имеют «запас прочности», который снизит вероятность перегрева проводов, проложенных в местах с плохим отводом тепла (штробы, кабель-каналы и т.п.).

Следует отметить, что алюминий «течёт» под механической нагрузкой и быстро окисляется, а железо имеет слишком большое сопротивление и легко ржавеет, поэтому их использование для передачи сильных токов крайне нежелательно, — ухудшение сильноточного контакта тут же ведёт к его перегреву, а перегрев ещё больше ухудшает контакт. Рекомендуется использовать медный провод. Кроме того, нельзя допускать прямого соединения медных и алюминиевых проводников — малейшее увлажнение сразу запускает интенсивную электрохимическую коррозию, и соединение быстро выходит из строя. Эти металлы должны соединяться только через сталь (с помощью «орешков» или хотя бы стального болта, на котором медь и алюминий разделены стальной шайбой или гайкой). Важное значение имеет площадь контакта в зажимах, поэтому, в бытовых условиях лучше использовать многожильные провода, а все соединения должны фиксироваться с помощью винтов.

Если используется пайка, то необходимо обеспечить большое сечение сильноточного соединения проводников за счёт «нахлёста» проводников в месте пайки, — оно должно как минимум в 10, превышать сечение спаиваемых медных проводов. В противном случае из-за более высокого сопротивления оловянно-свинцового припоя паяное соединение будет перегреваться — вплоть до его расплавления. По той же причине не стоит залуживать концы мощных проводов для сильноточных обжимных соединений — здесь голая медь лучше минимального слоя припоя.

2 Работа автономных источников совместно с общественной электрической сетью

2.1 Конфигурация электросети

Когда в общественной электрической сети пропадает напряжение, для восстановления электроснабжения надо предпринять определённые действия. Как правило, нужно выключить входной рубильник и отключить от сети лишних потребителей, без которых можно временно обойтись. Лишь затем надо проверить уровень бензина и масла в аварийном генераторе, подключить и запустить его. Последовательность действий именно такова, поскольку мощности генератора вряд ли хватит для обеспечения электричеством всех автономных потребителей. От этих операций можно избавиться только в том случае, если изначально полностью ориентировались на автономное электроснабжение.

Если в качестве аварийного источника используется система на солнечных фотоэлектрических элементах или ветроэлектрический генератор, то после отключения входного рубильника вместо бензинового генератора

можно подключить к внутренней сети инвертор. Дополнительных операций можно избежать, если правильно выбрать оборудование и организовать внутридомовую электросеть, разбив её на два сегмента — защищённый (*автономный, переключаемый или подзаряжаемый*) и незащищённый.

Внимание! Ни в коем случае нельзя пытаться соединять выход инвертора с общественной электросетью — это всегда должны быть **абсолютно разные линии**. При объединении электросетей переменного тока (а выход инвертора и общественная сеть — это именно такие независимые электросети) главная проблема заключается даже не в согласовании величин напряжения и частоты, а в точном **согласовании фаз** переменного тока (т.е. соответствие моментов минимумов и максимумов напряжения, а также формы сигналов в объединяемых сетях). В большинстве современных инверторов бытового и полупромышленного назначения эта проблема никак не решается и потому отдавать энергию в общественную сеть они не могут. Также в Российской Федерации законодательно это не регламентировано.

2.2 Организация сегментов сети

Прежде всего, к защищённому сегменту должно быть подключено оборудование, критически важное для жизнеобеспечения дома. Это электронные блоки управления системы отопления, циркуляционные насосы и т.п. В условиях дефицита энергии набор и мощность подключаемого оборудования должны быть лишь минимально необходимыми. Например, в доме используется два водопроводных насоса — один (маломощный вибрационный) подаёт воду из колодца в систему водоподготовки с минимальным давлением, а другой (центробежный, втрое мощнее) стоит после этой системы и повышает давление в водопроводе до комфортной величины, позволяющей использовать душ с гидромассажем и кухонный фильтр обратного осмоса (выше 3 атмосфер). В этом случае подающий насос является жизненно важным и должен быть включён в защищённый сегмент, а повышающий насос служит лишь для комфорта и при дефиците энергии может остаться в незащищённом сегменте, т.к. для неотложных бытовых надобностей минимального давления в водопроводе вполне хватает.

Кроме того, к защищённому сегменту следует подключить всё стационарное освещение помещений, а также по одной или две розетки в каждой комнате и в санузлах. В большинстве случаев этого достаточно. Все остальные розетки, а также уличное освещение и декоративная подсветка должны остаться в незащищённом сегменте.

Компьютер, телевизоры и другие устройства с малым потреблением электроэнергии следует подключать к защищённому сегменту, и если у них есть постоянное место, имеет смысл установить для них дополнительные защищённые розетки, чтобы в каждом помещении всегда была, хотя бы одна свободная защищённая розетка.

Как уже отмечалось выше, защищённый сегмент может быть **автономным** или **переключаемым**. Это определяется **типом инвертора**, обеспечивающего питание этого сегмента. Однако при небольшом среднем потреблении энергии наиболее интересным представляется вариант с **подзаряжаемым автономным сегментом**.

2.3 Автономный защищённый сегмент

Автономный защищённый сегмент питается от инвертора, не имеющего функции зарядки аккумуляторов от сети. Это действительно полностью самостоятельная электросеть, которая не имеет общих соединений с домовой электросетью, подключённой через центральную общественную электрическую сеть. Общим может быть только заземление.



Рис. 2.1 Схема электроснабжения с автономным защищённым сегментом.

При таком подходе никакие аварийные ситуации в общественной сети не повлияют на функционирование автономной. Минусом является то, что из-за большой неравномерности солнечного излучения и ветровых ресурсов в течении года **режим энергопотребления** обеспечиваемый автономной сетью, всё время меняется, и для эффективного использования возобновляемой энергии автономной сети нужно осуществлять переключение потребителей из незащищённого сегмента в автономный и обратно.

В случае аварии в общественной электросети при необходимости можно отключить входной автомат и запитать незащищённый сегмент внутренней сети от аварийного генератора. Если же требуется небольшая

мощность, а подключаться к автономному сегменту неудобно, можно соединить оба сегмента временной перемычкой, запитав незащищённый сегмент от автономного, однако при несоблюдении правильной последовательности действий это может быть *опасно как для людей, так и для оборудования*. Предварительно надо отключить от незащищённого сегмента всех мощных потребителей, а сам этот сегмент отключить от общей сети. Затем подключить перемычку, представляющую собой провод **достаточного сечения** и длины с вилками на обоих концах, сначала в розетку обесточенного (незащищённого) сегмента, и **только потом** в розетку автономного сегмента. При восстановлении внешнего электроснабжения последовательность действий строго обратная. ***Ни в коем случае нельзя включать генератор или входной автомат, не убрав предварительно перемычку между сегментами. Подача сетевого напряжения на выход инвертора может привести к аварийной ситуации.*** Также необходимо принять все меры, исключающие случайное отключение перемычки во время её использования.

2.4 Переключаемый защищённый сегмент

Если инвертор поддерживает режим зарядки аккумуляторов от внешней сети, то, как правило, он позволяет легко организовать переключаемый защищённый сегмент, который может питаться от внешней сети, но когда напряжение в ней пропадает, автоматически переходит на автономное энергоснабжение, по существу, являясь разновидностью обычного источника бесперебойного питания (UPS). Переключение занимает доли секунды, поэтому лампочки могут слегка моргнуть, но блоки питания телевизоров, компьютеров и других бытовых устройств, как правило, сохраняют неизменный режим работы.

Система, использующая такой инвертор, может работать как в полностью автономном режиме, как и в предыдущем пункте, так и использовать в защищённом сегменте сети все преимущества, предоставляемые общественной сетью или аварийным генератором: такие как возможность длительного подключения мощных устройств без опасения быстрой разрядки аккумуляторов.



Рис. 2.2 Схема электроснабжения с переключаемым защищенным сегментом.

Для организации переключаемого сегмента необходимо подключать защищенный сегмент к выходу инвертора с помощью вилки. Сам инвертор также подключается к незащищенному сегменту шнуром со стандартной вилкой, и при наличии там напряжения просто пропускает его в нагрузку, а также используется для зарядки аккумуляторов. Если внешнее напряжение пропадает, то инвертор автоматически переходит в автономный режим.

Один из недостатков такой системы заключается в том, что пока есть внешнее напряжение, защищенный сегмент будет питаться от внешней сети, даже если для его текущей нагрузки хватает автономной возобновляемой энергии. Другой недостаток состоит в возможности проникновения высших гармонических составляющих из внешней сети, которые могут повредить сам инвертор или подключенные к защищенному сегменту устройства. И то, и другое усугубляется тем, что защищенный сегмент обычно подключается к внешней сети напрямую, через реле. Впрочем, достаточно вынуть вилку инвертора из розетки внешней сети, и он переходит в автономный режим, безразличный к любым изменениям режима в незащищенном сегменте. Если же вдруг возникнут проблемы с самим инвертором, то можно переключить вилку входа защищенного сегмента непосредственно в розетку, откуда питается инвертор, на время устранения неисправности, подав питание на устройства защищенного сегмента напрямую от незащищенного. Соответственно, все провода, вилки и розетки должны быть рассчитаны на максимальную мощность, потребляемую в защищенном сегменте. При мощности до 3 кВт для этого вполне подойдет обычная евровилка. Как правило, такие вилки и розетки рассчитаны на ток 16 А при напряжении 230 В, что соответствует мощности 3 – 3,5 кВт. Использовать их для передачи больших мощностей нельзя из-за опасности перегрева и возгорания.

2.5 Подзаряжаемый защищенный сегмент

Подзаряжаемый сегмент аналогичен *автономному* за исключением того, что низковольтная часть связана с незащищённым сегментом через зарядное устройство, которое обеспечивает подзарядку аккумуляторов при наличии напряжения в общественной сети. В качестве такого устройства можно использовать блок зарядки. Нужно отметить, что автомобильные зарядные устройства обычно маломощны и рассчитаны строго на 12 В, но существуют специальные зарядные устройства для систем автономного электроснабжения. Можно использовать зарядный блок от инвертора с функцией зарядки аккумуляторов.

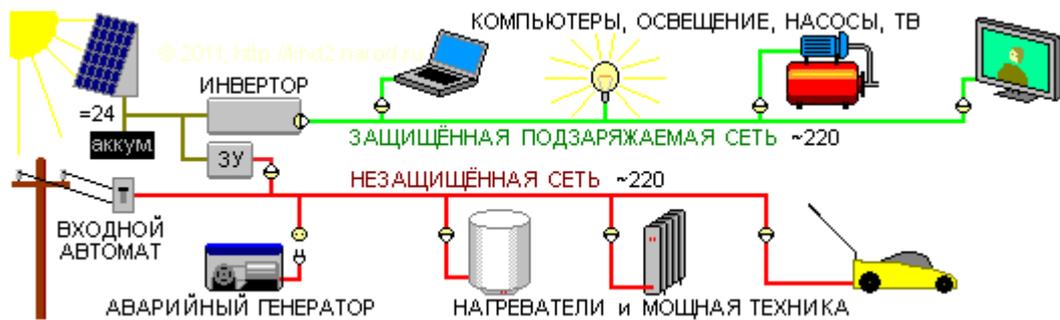


Рис. 2.3 Схема электроснабжения с подзаряжаемым защищённым сегментом

Плюсом такого решения является обеспечение работы защищённого сегмента даже при нехватке возобновляемой энергии за счёт подпитки от незащищённого. Кроме того, такая «косвенная» подпитка обеспечивает лучшую защиту от нештатных ситуаций в общественной сети, поскольку подпитка осуществляется не прямой коммутацией через реле, а через низковольтный сегмент с мощными аккумуляторами, которые способны если не поглотить, то заметно сгладить весьма сильные кратковременные изменения напряжения, а если перегрузка будет длительной, либо сработает защитный автомат, либо перегорит зарядное устройство. В любом случае защищённый сегмент перейдёт в автономный режим, причём инвертор не подвергнется прямому воздействию перегрузки и, потому имеет значительно больше возможностей остаться в работе. При исчезновении напряжения в общественной сети зарядное устройство прекращает свою работу, и защищённый сегмент переходит в автономный режим с питанием только от аккумуляторов и возобновляемой энергии без каких-либо скачков, даже самых кратковременных. Современные зарядные устройства обычно автоматически прекращают зарядку при достижении аккумуляторами определённого уровня заряда и возобновляют её лишь при их разряде до заданного порога, и потому при наличии достаточного поступления

возобновляемой энергии и небольшого её расхода энергия из общественной сети в защищённом сегменте использоваться не будет.

Минусом по сравнению с переключаемым сегментом, является:

1. постоянная работа инвертора на нагрузку.

2. в продолжительном режиме средняя потребляемая мощность не должна превышать суммы мощностей зарядного устройства и минимального потока возобновляемой энергии. При этом если поток возобновляемой энергии длительное время будет минимальным (пасмурные короткие дни или штиль), а потребление в защищённом сегменте окажется велико, аккумуляторы также долгое время могут оставаться не полностью заряженными, поскольку энергия от зарядного устройства будет тратиться не на их заряд, а на текущее потребление. Это негативно воздействует на цикл заряда и разряда аккумуляторов.

Следует отметить, что в такой конфигурации зарядка аккумуляторов осуществляется сразу двумя зарядными устройствами — контроллером первичного источника (ветроэлектрического генератора или солнечных фотоэлектрических панелей) и сетевым зарядным устройством. При этом оба устройства, как правило, автономны и не обмениваются информацией друг с другом. В результате параметры зарядки могут существенно отличаться от оптимальных, что негативно скажется как на объёме запасённой энергии, так и на сроке службы аккумуляторов. Обеспечение оптимальных параметров зарядки в такой конфигурации является отдельной задачей, как, впрочем, и в случае любых систем, в которых несколько зарядных устройств работают на один блок аккумуляторов. Тем не менее, в большинстве случаев и контроллеры, и зарядные устройства при своей работе ориентируются на текущее напряжение на блоке аккумуляторов, а оно, очевидно, едино для всех зарядных устройств, сколько бы их ни было, так что серьёзное рассогласование режимов маловероятно. Кроме того, производители наиболее продвинутых и дорогих систем оборудования для автономного электроснабжения (именно систем, а не отдельных типов устройств) предлагают решения с учётом таких режимов. К сожалению, общепризнанных стандартов информационного взаимодействия зарядных устройств и контроллеров пока нет, и полностью согласованная работа возможна лишь при использовании оборудования одной и той же фирмы.

3. Проектирование комплекса автономного электроснабжения на базе ВЭУ и СФЭУ

Содержание расчёта

3.1 Введение

- а) во введение необходимо обосновать актуальность поставленной задачи
- б) сформулировать цели, которые преследует данное проектирование
- в) провести сравнительный анализ существующих решений автономного электроснабжения, в том числе с обоснованием технико-экономической подоплёки.

3.2 Анализ предполагаемого или фактического электропотребления на проектируемом объекте

- а) Привести план сооружения с нанесёнными на него потребителями электроэнергии (возможно непосредственно чертёж электроснабжения объекта)
- б) Если этого не было сделано раньше, предусмотреть площади для технических помещений, где будут установлены АКБ, контроллер, инвертор и.т.д.

- в) Составить сводную таблицу всех потребителей электроэнергии с перечислением:

количества потребляемой энергии,
 мощности потребителей,
 пиковой мощности при включении, если таковая имеется,
 времени работы в сутки в соответствии с сезоном (зима, лето, осень, весна).

Если необходимо показать пиковое и номинальное электропотребление. При необходимости составить индивидуальный график потребления электрической энергии для отдельного электроприбора.

Определить общую установленную мощность.

- с) Составить графики потребления электрической энергии:

1. Среднесуточные (Зима, осень, весна, лето)
2. Среднемесячные
3. Среднегодовой

На графиках выделить тип потребителей электрической энергии.

3.3 Расчет сборки аккумуляторных накопителей электрической энергии (АКБ) в соответствии с электропотреблением проектируемого объекта

- а) Рассчитать необходимую ёмкость АКБ на основании потребляемой энергии при условии, что система АКБ без подзарядки сможет покрывать потребности электропотребления в течение двух суток. При разряде не более чем на 50% от установленной ёмкости системы АКБ, с учётом электрических потерь в инверторе и соединительных линиях.

- б) Выбрать тип и единичную ёмкость АКБ.

- в) Выбрать напряжение АКБ и схему соединения отдельных АКБ.

г) Выбрать инвертор

3.4 Анализ ветроэнергетических ресурсов региона

а) По данным метеостанций провести анализ ветроэнергетических ресурсов региона на предмет:
определение среднегодовых максимальных и минимальных скоростей ветра.

Повторяемость скоростей ветра среднегодовых и среднемесячных.
Данные ветропотенциала нанести на графики.

3.5 Проектирование ВЭУ

а) На основании данных ветроэнергетических ресурсов региона выбрать прототип с расчетной мощностью не менее 50% от общего электропотребления объекта.

б) На основании выбранного прототипа ВЭУ рассчитать характеристики установки и энерговыработку по месяцам, а также за год.

в) На основании расчёта ВЭУ определить область применения ВЭУ для покрытия нужд электроснабжения. Все расчётные данные представить на графике.

3.6 Анализ солнечного излучения региона

а) На основании данных метеостанций или справочных данных, определить количество солнечного излучения приходящегося на 1 м² в данном регионе для характерного месяца в году.

б) На основании полученных данных выбрать тип и мощность СФЭУ при условии покрытия нужд на электрическую энергию не менее чем 50 % от общего объёма электропотребления.

в) Рассчитать энерговыработку СФЭУ по месяцам и за год и определить область действия СФЭУ в графики потребления электрической энергии. Результаты представить в виде графика совместно с ВЭУ.

г) На основании полученных данных определить «мёртвые зоны».

д) Относительно данных о «мёртвых зонах» принять решение о необходимости резервного источника.

3.7 Выбор контроллеры заряд-разряд для ВЭУ и СФЭУ

3.8 Разработка электрической схемы.

- а) Разработать принципиальную блок-схему с перечислением основных элементов
- б) Разработать схему компоновки оборудования с местом установки всех элементов электроустановки.
- в) Разработать главную электрическую схему с резервированием
- г) Выбрать соединительные кабели, автоматические выключатели, разъединители и электронные модули.

3.9 Технико-экономический расчёт

- а) Рассчитать капиталовложения и срок окупаемости всей системы автономного электроснабжения. Рассчитать коэффициент использования установленной мощности для СФЭУ и ВЭУ.

3.10 Заключение

В заключение необходимо сделать выводы относительно спроектированной системы с точки зрения экономики, технических характеристик, возможности расширения, оптимизации, снижения себестоимости.

4 Пример расчёта

4.1 Введение

Для дачи или загородного дома автономное электроснабжение может оказаться вполне актуальным, а в определенных случаях, даже, безальтернативным способом энергообеспечения. Акцент на загородном доме или даче как потенциальных объектах для оборудования автономной системой электроснабжения стоит сделать по ряду возможных причин:

отсутствие технической возможности их централизованного подключения к электрическим сетям,

экономическая нецелесообразность такого подключения ввиду большого объема работ, соответственно их высокой стоимости, низкая стабильность имеющейся "классической" системы электроснабжения, в России остро стоит проблема, связанная с частым отключением электроэнергии, её невысоким качеством, перегрузкой и банальной нехваткой электроэнергии.

Целью данной курсовой работы является проектирование солнечно-ветровой установки для обеспечения электрической энергией загородного дома.

Цель реализуется в следующих задачах:

- Анализ существующего энергопотребления;
- Оценка метеорологических условий в данном регионе;
- Выбор и расчет параметров установки;
- Оценка эффективности данной установки.

4.2 Анализ потребления электрической энергии

Экспликация помещений Первый этаж

№ п.п.	Наименование	Площадь, м.кв.
01	Тембур	4,94
02	Гараж на 2 маш./место	34,77
03	Кухня	9,13
04	Гостиная/столовая	36,96
05	Холл	9,87
06	Копыльная сауна	9,36
07	Кабинет	18,15
08	Коридор	4,40/1,32*
09	Лестно	53,44/16,03*
Общ. площадь внутр. помещений		122,17
Общ. площадь летних помещений		57,84 (17,35*)
Общ. площадь этажа с летними помещениями		139,52*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

-  влагозащищенная штепсельная розетка
-  штепсельная розетка
-  TV антенна
-  электровывод для настенных бра
-  розетка компьютерная (интернет)
-  электрощит

- Примечания:
1. Все розетки, кроме специально обозначенных, установить на H=0,3 м от "чистого пола"
 2. Привязки даны по центру розетки/выключателя
 3. Привязку электровыводов под приборы решать в рабочем порядке
 4. Все розетки без указанной горизонтальной привязки располагать по центру пролета
 5. Расположенные рядом розетки объединять группами по 2,3,4 в общие рамки

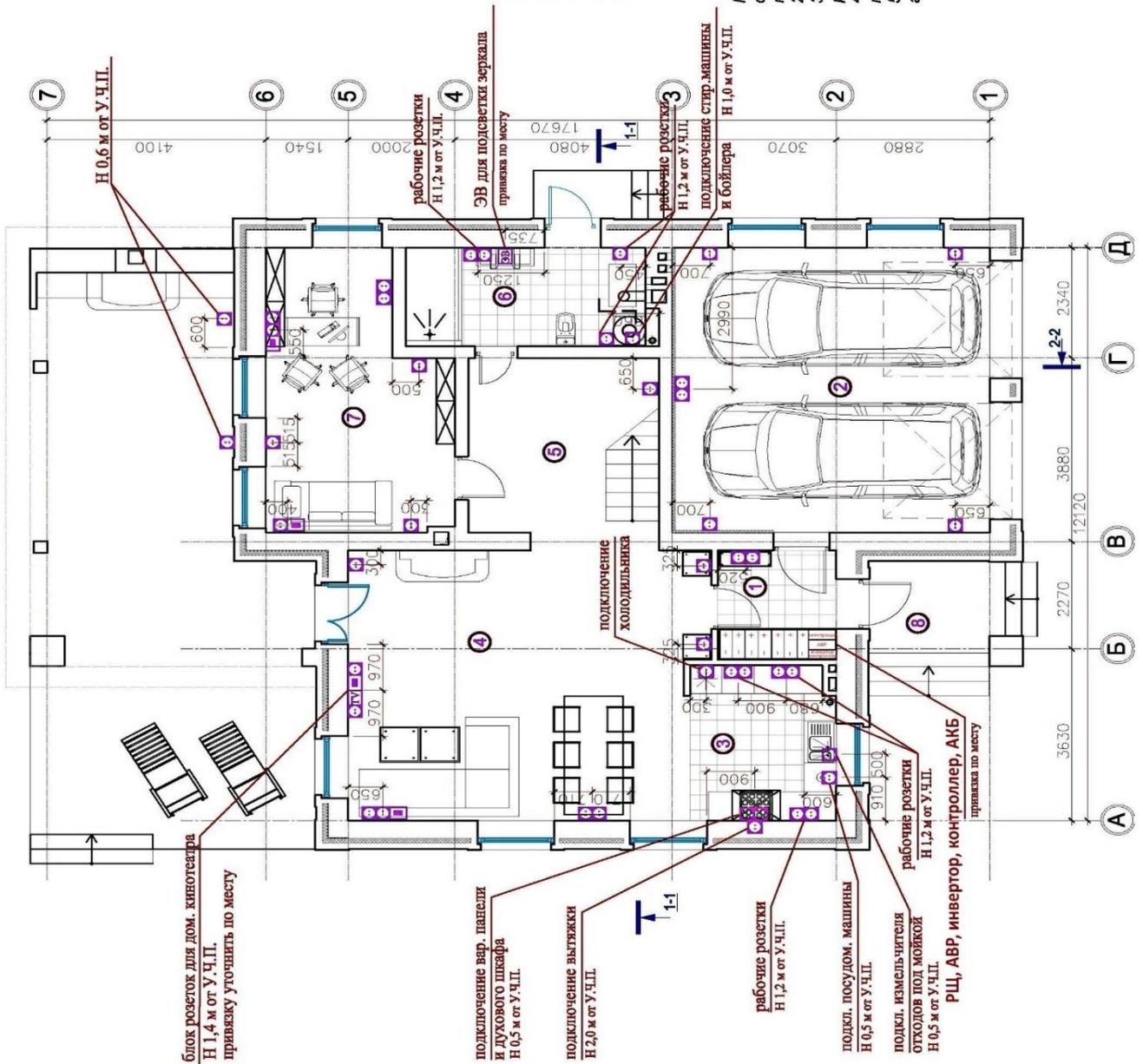


Рис. 4.1 План электропроводки 1 этажа частного дома



ПЛАН ЭЛЕКТРИКИ 1 ЭТАЖА

Экспликация помещений
Второй этаж

№ п.п.	Наименование	Площадь, м.кв.
10	Холл	11,17
11	Спальня	19,04
12	Гардеробная	4,78
13	Спальня	21,42
14	Гардеробная	2,46
15	Спальня	21,42
16	Гардеробная	13,19
17	Ванная комната	16,88
Общ. площадь этажа		110,46
Общ. площадь внутренних помещений здания		232,63
Общ. площадь здания с летними помещениями		248,98*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

-  влагозащитная штепсельная розетка
-  штепсельная розетка
-  TV антенна
-  электропровод для настенных бра
-  розетка компьютерная (интернет)

- Примечания:**
1. Все розетки, кроме специально обозначенных, установить на H=0,3 м от "чистого пола"
 2. Привязки даны по центру розетки/выключателя
 3. Привязку электропроводов под приборы решать в рабочем порядке
 4. Все розетки без указанной горизонтальной привязки располагать по центру простенка
 5. Расположенные рядом розетки объединять группами по 2,3,4 в общие рамки

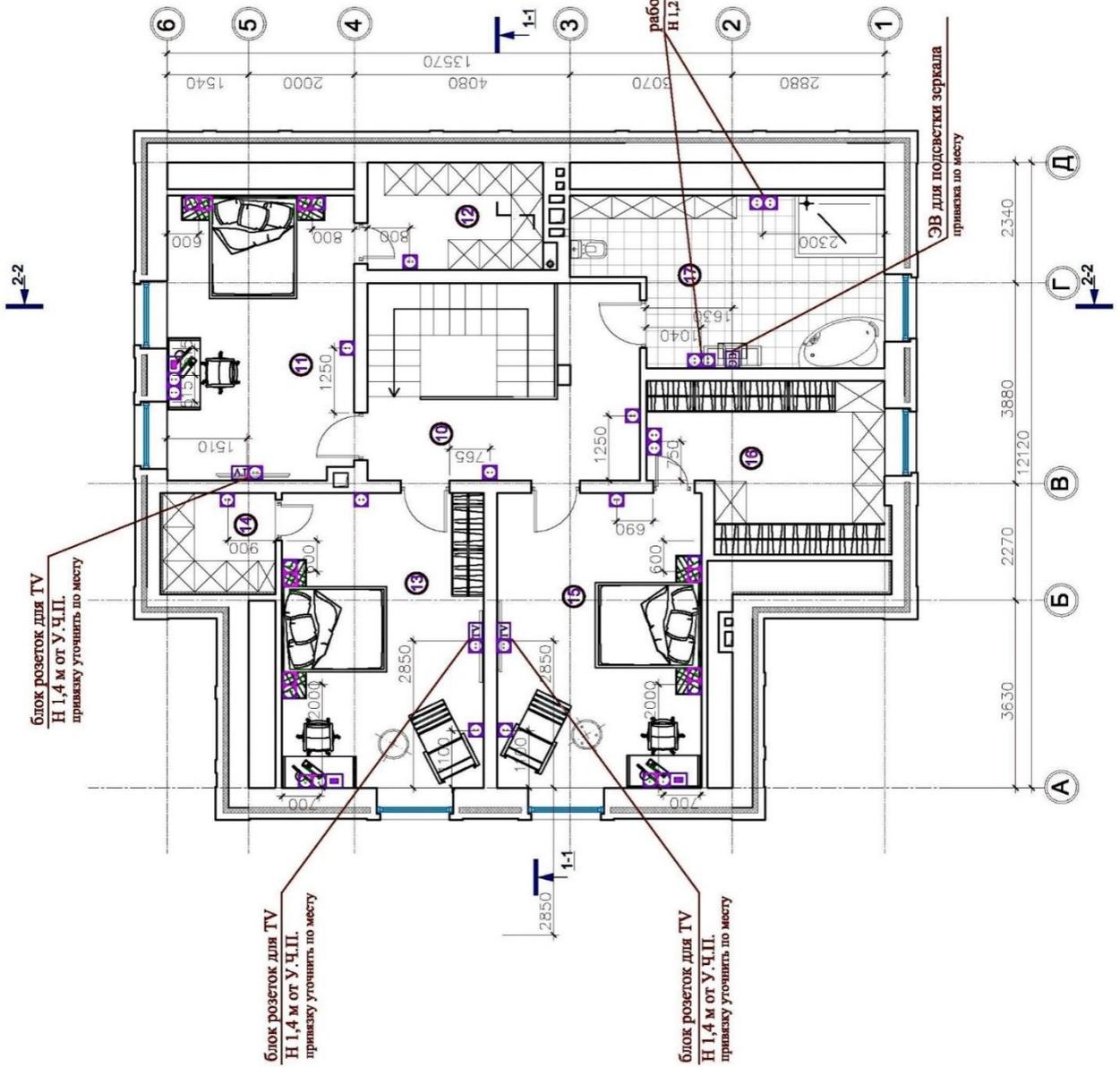


Рис. 4.2 План электропроводки 2 этажа частного дома

Экспликация помещений
Первый этаж

№ п.п.	Наименование	Площадь, м.кв.
01	Тембур	4,94
02	Гараж на 2 маш./места	34,77
03	Кухня	9,13
04	Гостиная/столовая	35,95
05	Холл	9,87
06	Котельная/санузел	9,36
07	Кабинет	18,15
08	Крыльцо	4,40/1,32*
09	Литийо	53,44/16,03*
Общ. площадь внутр. помещений		122,17
Общ. площадь летних помещений		57,94 (17,357)
Общ. площадь этажа с летними помещениями		139,52*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

-  одноклавишный выключатель
-  двухклавишный выключатель
-  выключатель с диммером
-  Основной потолочный светильник
-  Потолочный светильник
-  Настенное бра
-  Уличное настенное бра
-  Потолочный точечный светильник

Примечания: 1. Все выключатели, кроме специально обозначенных, устанавливаются на H=0,8 м от "чистого пола".
 2. Привязки даны по центру розетки/выключателя.
 3. Привязку электропроводов под встраиваемые в мебель светильники решать в рабочем порядке.
 4. Привязку выключателей для подсветки зеркал в ванных и душевых осуществлять по месту после покупки мебели.
 5. Выключатель устанавливается в 300 мм от края ближайшего проема, если не указано иное (в горизонтальной плоскости).

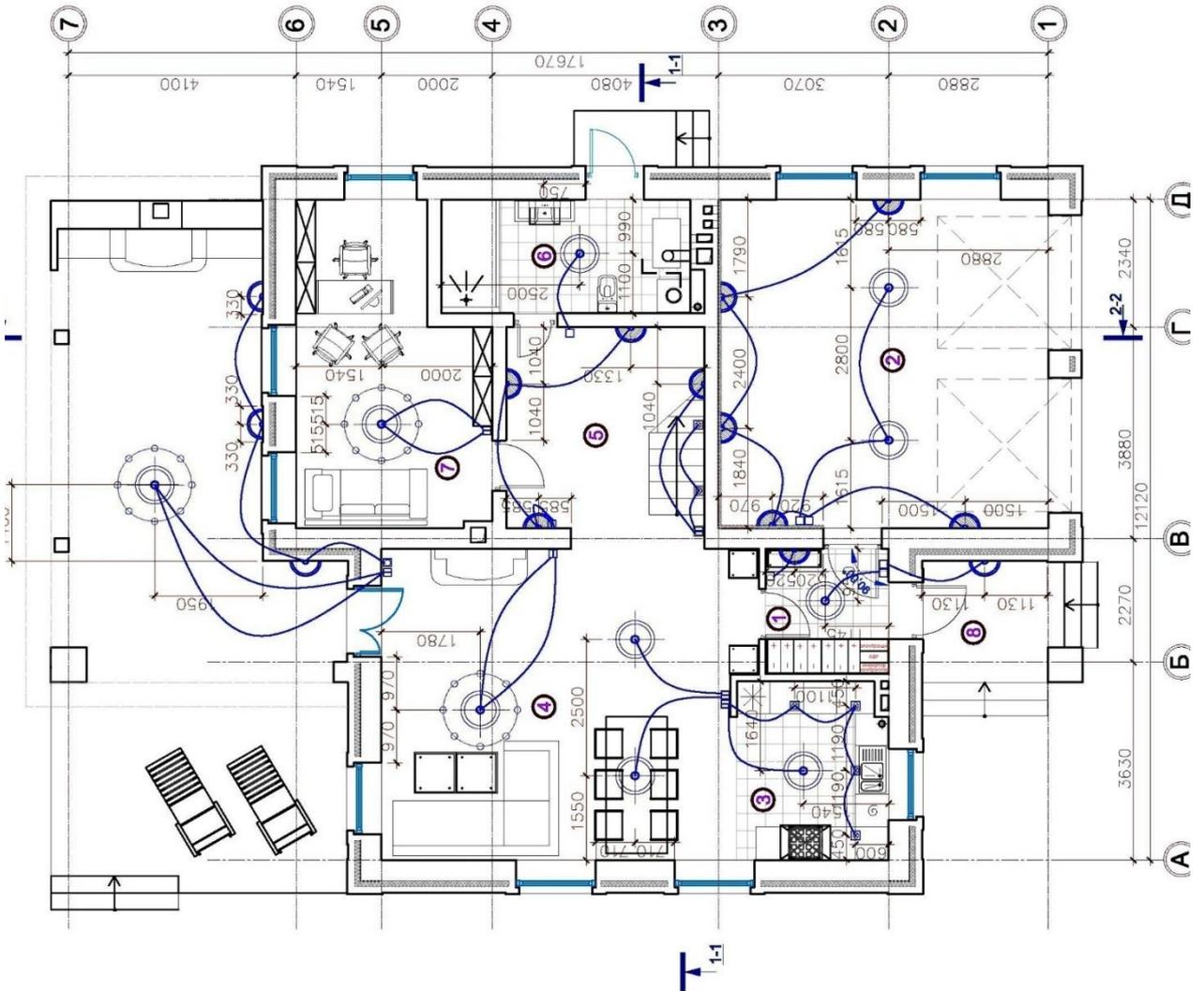
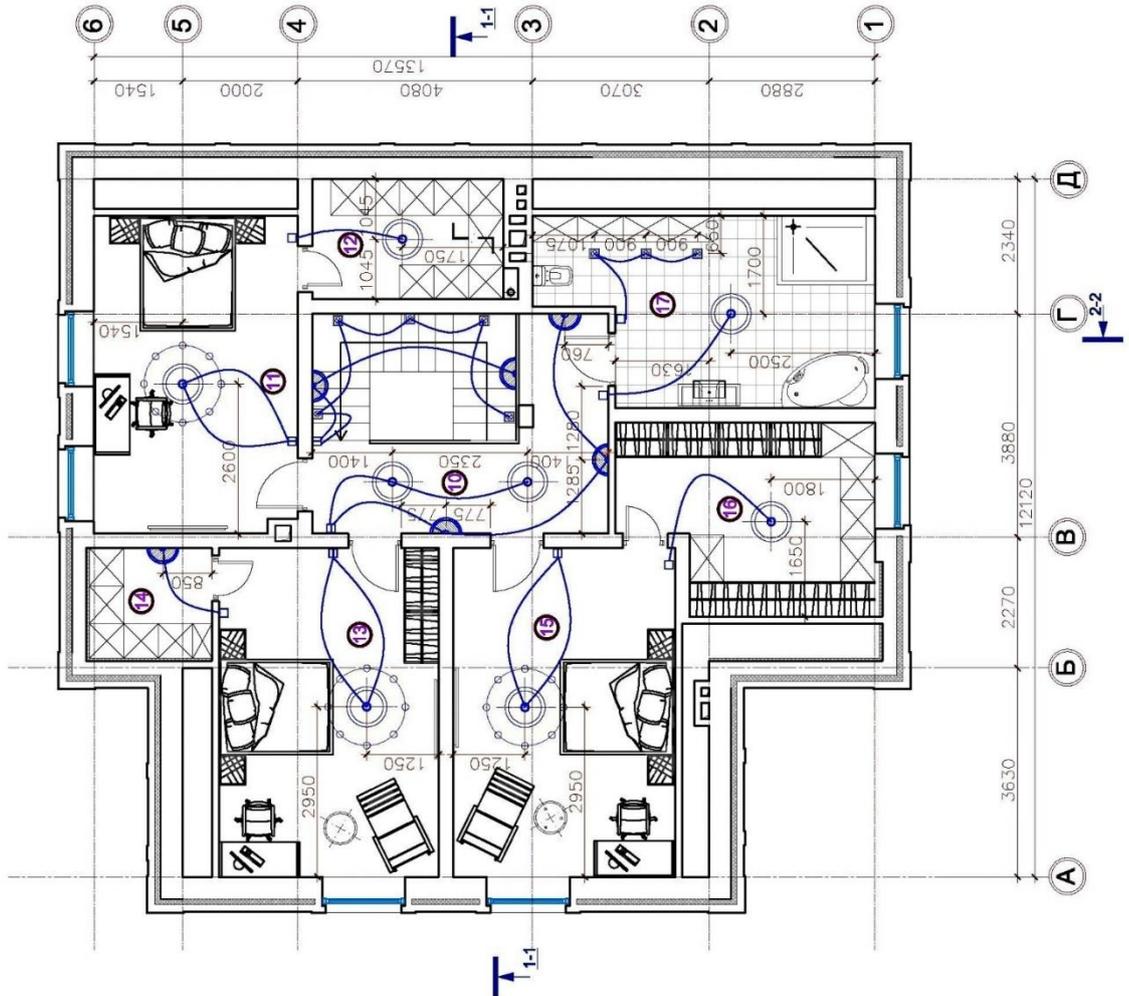


Рис. 4.3 План освещения 1 этажа частного дома

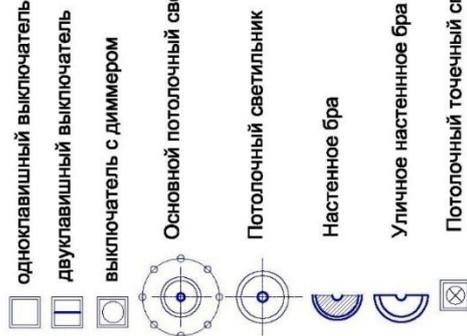


Экспликация помещений
Второй этаж

№ п.п.	Наименование	Площадь, м.кв.
10	Холл	11,17
11	Спальня	18,04
12	Гардеробная	4,78
13	Спальня	21,42
14	Гардеробная	2,46
15	Спальня	21,42
16	Гардеробная	13,19
17	Ванная комната	16,98
Общ. площадь этажа		110,46
Общ. площадь внутренних помещений здания		232,63
Общ. площадь здания с летними помещениями		249,98*



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



- Примечания: 1. Все выключатели, кроме специально обозначенных, устанавливать на H=0,8 м от "чистого пола".
 2. Привязки даны по центру розетки/выключателя.
 3. Привязку электропроводов под встраиваемые в мебель светильники решать в рабочем порядке.
 4. Привязку выключателей для подсветки зеркал в ванных и душевых осуществлять по месту после покупки мебели.
 5. Выключатель установить в 300 мм от края ближайшего проема, если не указано иное (в горизонтальной плоскости).

Рис. 4.4 План освещения 2 этажа частного дома

Таблица 4.1 Суточное потребление электрической энергии в весенний период

Потребитель	Кол-во шт.	Мощность, кВт	Среднесуточное время работы, ч/сут.	Потребление в кВт*ч за сутки
1. ПК	4	0,5	4	8
2. Основной потолочный светильник	6	0,3	6	10,8
3. Потолочный светильник	12	0,15	4	7,2
4. Настенное бра	16	0,06	3	2,88
5. Уличное настенное бра	4	0,15	4	2,4
6. Потолочный точечный светильник	16	0,03	4	1,92
7. СВЧ-печь	1	2	0,2	0,4
8. Холодильник	1	0,35	24	8,4
9. Стиральная машина	1	2	0,3	0,6
10. Телевизор	4	0,3	4	4,8
11. Посудомоечная машина	1	2	1	2
12. Измельчитель отходов под мойкой	1	1	0,3	0,3
13. Вытяжка	3	0,4	0,3	0,36
14. Глубинный насос	1	0,5	2	1
15. Пылесос	1	1	0,3	0,3
16. Утюг	1	0,5	0,4	0,2
17. Бойлер	1	2	2	4
18. Перфоратор	1	1	0,1	0,1
19. Инвертор	1	0,05	24	1,2
20. Контроллер заряда	1	0,01	24	0,24
			Итого:	57,1

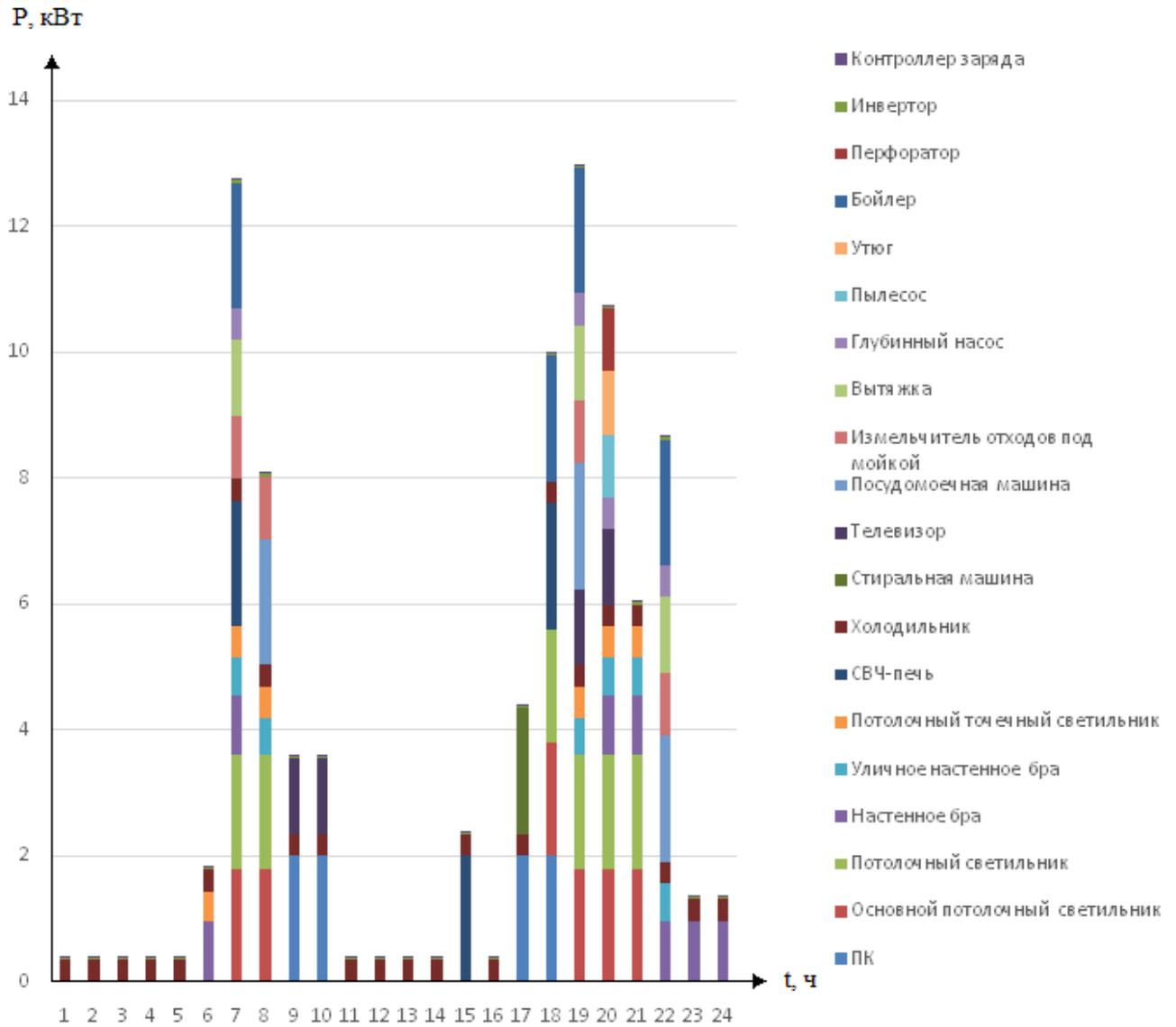


Рис. 4.5 Среднесуточный весенний график потребления электрической энергии

Таблица 4.2 Суточное потребление электрической энергии в летний период

Потребитель	Кол-во шт.	Мощность, кВт	Среднесуточное время работы, ч/сут.	Потребление в кВт*ч за сутки
1. ПК	4	0,5	6	12
2. Основной потолочный светильник	6	0,3	5	9
3. Потолочный светильник	12	0,15	3	5,4
4. Настенное бра	16	0,06	2	1,92
5. Уличное настенное бра	4	0,15	3	1,8
6. Потолочный точечный светильник	16	0,03	3	1,44
7. СВЧ-печь	1	2	0,2	0,4
8. Холодильник	1	0,35	24	8,4
9. Стиральная машина	1	2	0,3	0,6
10. Телевизор	4	0,3	4	4,8
11. Посудомоечная машина	1	2	1	2
12. Измельчитель отходов под мойкой	1	1	0,3	0,3
13. Вытяжка	3	0,4	0,3	0,36
14. Глубинный насос	1	0,5	2	1
15. Пылесос	1	1	0,3	0,3
16. Утюг	1	0,5	0,4	0,2
17. Бойлер	1	2	2	4
18. Перфоратор	1	1	0,1	0,1
19. Инвертор	1	0,05	24	1,2
20. Контроллер заряда	1	0,01	24	0,24
			Итого:	55,46

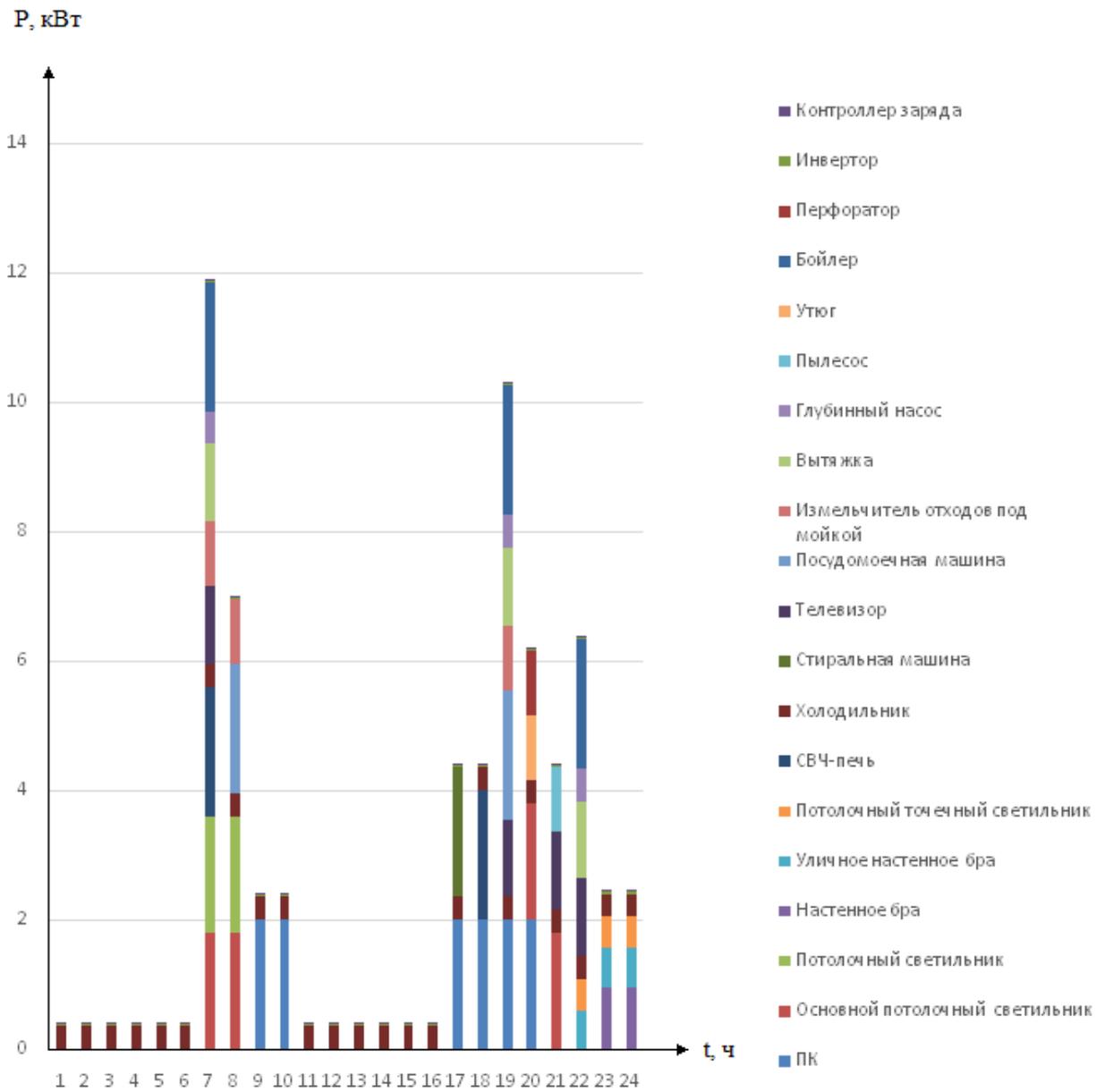


Рис. 4.6 Среднесуточный летний график потребления электрической энергии

Таблица 4.3 Суточное потребление электрической энергии в осенний период

Потребитель	Кол-во шт.	Мощность, кВт	Среднесуточное время работы, ч/сут.	Потребление в кВт*ч за сутки
1. ПК	4	0,5	4	8
2. Основной потолочный светильник	6	0,3	6	10,8
3.Потолочный светильник	12	0,15	4	7,2
4. Настенное бра	16	0,06	3	2,88
5. Уличное настенное бра	4	0,15	4	2,4
6. Потолочный точечный светильник	16	0,03	4	1,92
7. СВЧ-печь	1	2	0,2	0,4
8. Холодильник	1	0,35	24	8,4
9. Стиральная машина	1	2	0,3	0,6
10. Телевизор	4	0,3	4	4,8
11. Посудомоечная машина	1	2	1	2
12. Измельчитель отходов под мойкой	1	1	0,3	0,3
13. Вытяжка	3	0,4	0,3	0,36
14. Глубинный насос	1	0,5	2	1
15. Пылесос	1	1	0,3	0,3
16. Утюг	1	0,5	0,4	0,2
17. Бойлер	1	2	2	4
18.Перфоратор	1	1	0,1	0,1
19. Инвертор	1	0,05	24	1,2
20. Контроллер заряда	1	0,01	24	0,24
			Итого:	57,1

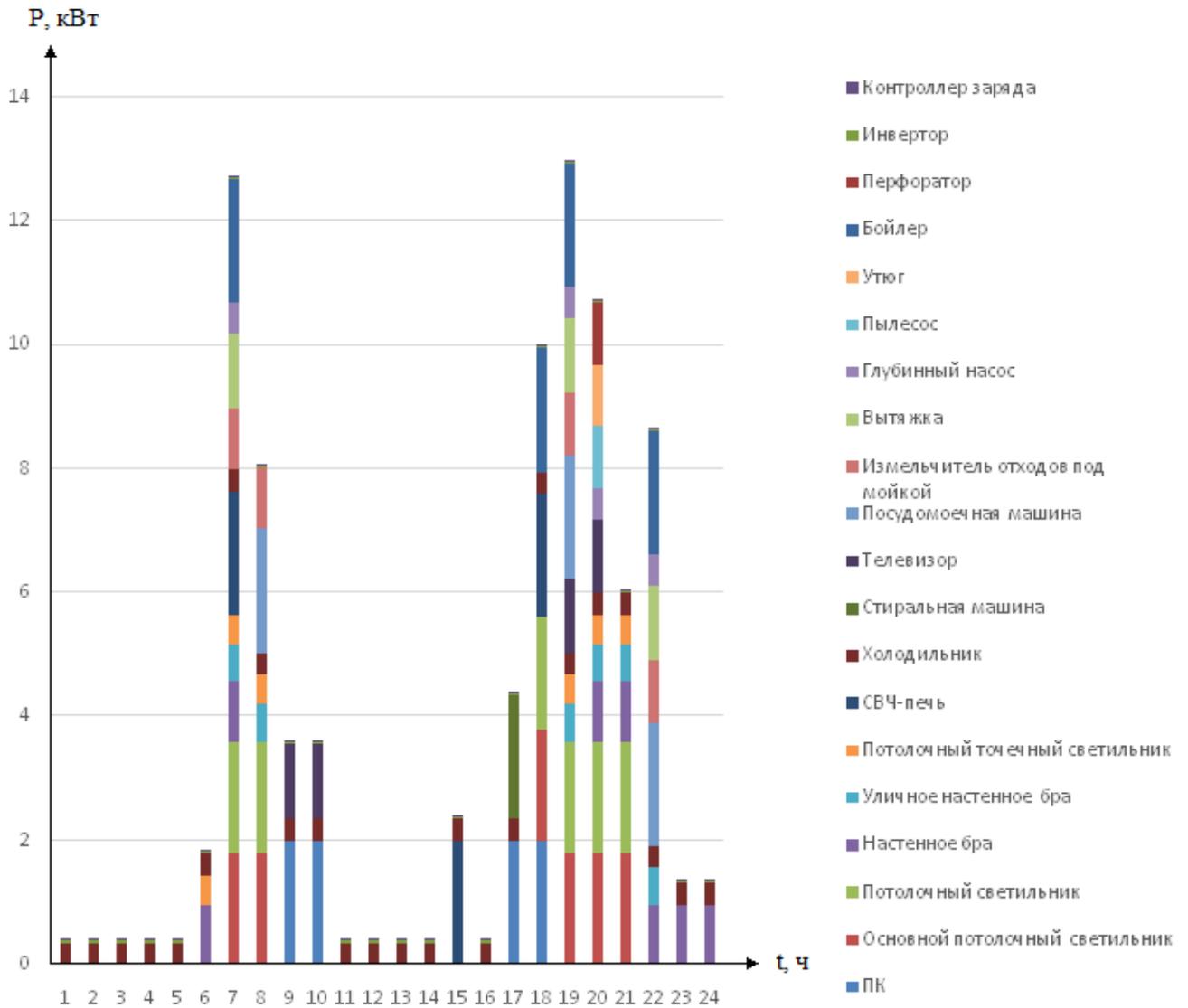


Рис. 4.7 Среднесуточный осенний график потребления электрической энергии

Таблица 4.4 Суточное потребление электрической энергии в зимний период

Потребитель	Кол-во шт	Мощность, кВт	Среднесуточное время работы, ч/сут	Потребление в кВт*ч за сутки
1. ПК	4	0,5	4	8
2. Основной потолочный светильник	6	0,3	7	12,6
3. Потолочный светильник	12	0,15	5	9
4. Настенное бра	16	0,06	4	3,84
5. Уличное настенное бра	4	0,15	5	3
6. Потолочный точечный светильник	16	0,03	5	2,4
7. СВЧ-печь	1	2	0,2	0,4
8. Холодильник	1	0,35	24	8,4
9. Стиральная машина	1	2	0,3	0,6
10. Телевизор	4	0,3	4	4,8
11. Посудомоечная машина	1	2	1	2
12. Измельчитель отходов под мойкой	1	1	0,3	0,3
13. Вытяжка	3	0,4	0,3	0,36
14. Глубинный насос	1	0,5	2	1
15. Пылесос	1	1	0,3	0,3
16. Утюг	1	0,5	0,4	0,2
17. Бойлер	1	2	2	4
18. Перфоратор	1	1	0,1	0,1
19. Инвертор	1	0,05	24	1,2
20. Контроллер заряда	1	0,01	24	0,24
			Итого:	62,74

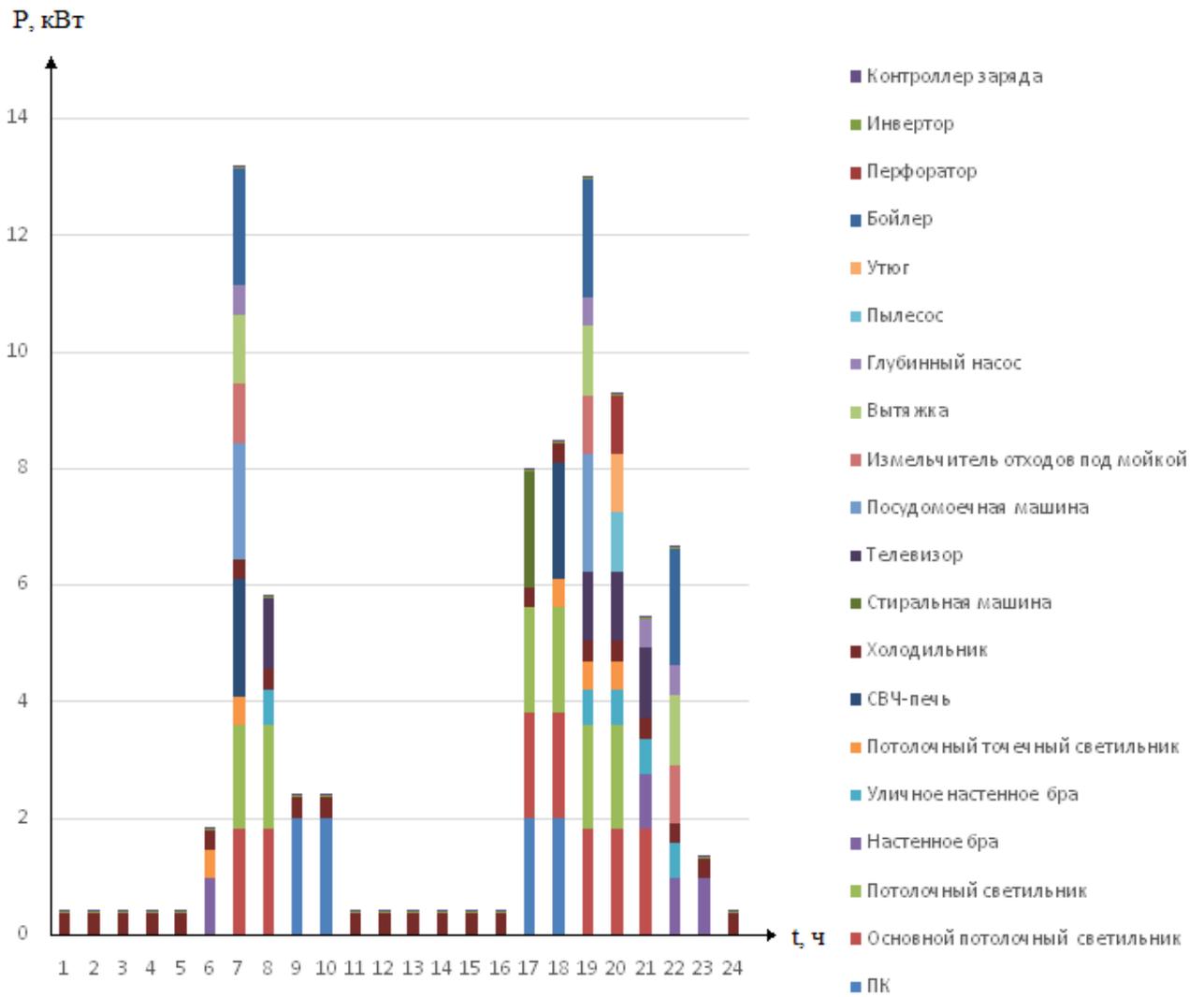


Рис. 4.8 Среднесуточный зимний график потребления электрической энергии

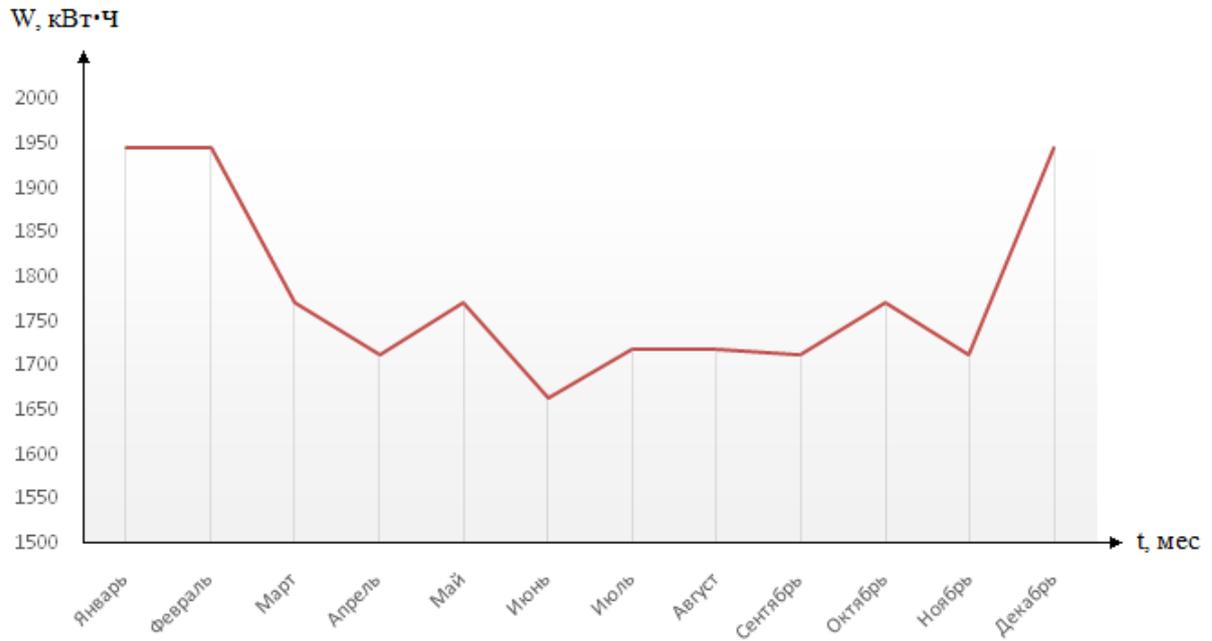


Рис. 4.9 Годовой график потребляемой электрической энергии.

4.3 Расчёт и выбор накопителей энергии на основе аккумуляторных батарей АКБ

Ёмкость АКБ необходимая для покрытия потребности в электроэнергии потребляемой нагрузкой определяется по формулам:

$$C_{сут} = \frac{W_{сут}}{U_{II}} = \frac{62,74}{48} = 1,307 \text{кА} \times \text{ч} \quad (4.1)$$

$$C_{нед} = \frac{W_{нед}}{U_{II}} = \frac{439,18}{48} = 9,149 \text{кА} \times \text{ч} \quad (4.2)$$

Далее определяется общая требуемая емкость аккумуляторных батарей, исходя из условия, что глубинна разряда системы АКБ не должна превышать 50 % общей ёмкости необходимой при ежедневном расходе электроэнергии на нагрузку и условия работы системы АКБ без подзаряда на протяжении двух суток при учёте температурного коэффициента:

$$C_{АБ} = \frac{C_{сут} \times N}{\delta} \times K_C = \frac{1,307 \times 2}{0,5} \times 1,2 = 6,273 \text{кА} \times \text{ч}, \quad (4.3.)$$

где N - количество дней, в течение которых АБ будет питать нагрузку самостоятельно без подзаряда ($N= 2$);

K_c - температурный коэффициент;

δ - глубина допустимого разряда ($\delta = 0,5$).

Разделив C_{AB} на номинальную емкость аккумулятора, получим количество аккумуляторов, соединенных параллельно:

$$m = \frac{C_{AB}}{C_{ном}} \quad (4.4)$$

Чтобы получить количество последовательно соединенных аккумуляторов, необходимо разделить номинальное напряжение постоянного тока системы на номинальное напряжение выбранного аккумулятора:

$$n = \frac{U_{ном.сис.}}{U_{ном.АБ.}} \quad (4.5)$$

Общее число аккумуляторов в батарее равно произведению $m \cdot n$.

$$m \times n = \frac{U_{ном.сис.}}{U_{ном.АБ.}} \times \frac{C_{AB}}{C_{ном}} = \frac{48 \times 6273}{48 \times 500} = 13шт \quad (4.6)$$

Тяговый аккумулятор 48V 5 PzS 500 Ah

Таблица 4.1 Основные характеристики аккумулятора 48V 5 PzS 500 Ah

Тип тягового аккумулятора	Панцирной PzS
Наработка	1500 циклов заряда
Тип токовывода	К проводам
Емкость аккумулятора	500 А/ч
Номинальное рабочее напряжение	48 В
Материал решетки пластины	Свинец-сурьма
Длина	827 мм
Ширина	627мм
Высота	627 мм

Свинцовые пластины, корпус, электролит. Такова конструкция любого аккумулятора, созданного по свинцово-кислотной технологии.

Наиболее распространенная на сегодняшний день технология изготовления тяговых аккумуляторов называется «панцирной». Это значит, что электрод с положительным зарядом погружается в специальную сетку, удерживающую его материал от быстрого распада. Таким образом, достигается долговечность батареи. Кроме того, панцирь нужен для того, чтобы при заряде аккумулятора свинец не кристаллизовался. Такое решение позволило избежать коротких замыканий вследствие появления крупных частиц кристаллов.

Батареи с жидким электролитом, которые производятся в соответствии со стандартами DIN, принятыми в Германии. Они маркируются обозначением PzS.

4.4 Выбор сечения провода

Зная расчетную мощность нагрузки и напряжение аккумуляторной батареи можно рассчитать ток провода:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{13200}{48} = 275 \text{ A} \quad (4.7)$$

Для расчета сечения провода можно также воспользоваться формулой:

$$r = \frac{\Delta U}{I \times L} = \frac{0,96}{275 \times 10} = 0,00035 \text{ Ом/м}, \quad (4.8)$$

где r – удельное сопротивление провода, Ом/м;

ΔU – максимально допустимое падение напряжения в проводе (не более 2%), В;

I – пропускаемый ток, А;

L – общая длина кабеля в системе в метрах (умножить на 2 для положительного и отрицательного провода).

Удельное сопротивление провода должно быть меньше 0,00035 Ом/м.

Таблица 4.6 Допустимый длительный ток для шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Медные шины				Алюминиевые шины				Стальные шины	
	Ток*, А, при количестве полос на полюс или фазу								Размеры, мм	Ток*, А
	1	2	3	4	1	2	3	4		
15 x 3	210				165	—			16x2,5	55/70
20 x 3	275	—	—	—	215	—	—	—	20x2,5	60/90
25 x 3	340	—	—	—	265	—	—	—	25 x 2,5	75/110

Согласно таблице 4.6, получаем шину прямоугольного сечения 60 мм², это сечение подходит по максимально допустимому току и по удельному сопротивлению провода.

4.5 Проектирование ВЭУ

Ветроэлектрический генератор при вращении генерирует электричество, которое используется для заряда аккумуляторов. Накопленный в аккумуляторах ток с помощью инвертора преобразуется в синусоидальное напряжение 220В и частотой 50 Гц.

Для того чтобы оценить необходимую ветроэлектрическую установку для начала рассмотрим прототип и произведём соответствующие расчёты.

Ветроэлектрическая установка 3/7, 48 вольт

Таблица 4.2 Основные характеристики ветроэлектрической установки

Выходное напряжение	24 В
Генератор	3-х фазный, на постоянных магнитах
Мощность при 7,5 м/с	3000 ватт
Мощность при 6 м/с	2000 ватт
Мощность при 3 м/с	200 ватт
Стартирование	начало вращения - с 2,5 м/с
Диапазон ветра генерации	3-40 м/с
Количество лопастей	1 штука
Диаметр ротора	7 м

Таблица 4.8 Среднемесячная скорость ветра [м/с]

Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек
3,4	3,5	3,5	3,6	3,4	3,3	3	3	3	3,9	3,5	3,7

Количество энергии, вырабатываемое ВЭУ, рассчитывается по формуле:

$$P_{уст}^{ВЭУ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \eta_G \cdot \eta_p \cdot F_{ск} \cdot V_p^3, \quad (4.9)$$

где ρ – плотность воздуха, [кг/м³];

C_p - средний коэффициент использования энергии ветра;

η_g - КПД генератора;

η_p - КПД редуктора;

$F_{вк}$ - Площадь, ометаемая лопастями ветроколеса, [m^2];

V_p - среднемесячная скорость ветра в месте установки ВЭУ, [m/c].



Рис. 4.10 Средняя скорость ветра в г. Казань, м/с

Площадь, ометаемая лопастями ветроколеса, рассчитывается по формуле:

$$F_{вк} = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 2^2 = 12,56 \text{ м}^2, \quad (4.10)$$

где R - радиус круга, ометаемого лопастями ветроколеса, м.

Таблица 4.3 Месячная выработка энергии 1 ВЭУ кВт*ч

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	В год
201	219,27	219,27	238,61	201	183,79	138,08	138,08	138,8	303,379	219,27	259,05	2458,879

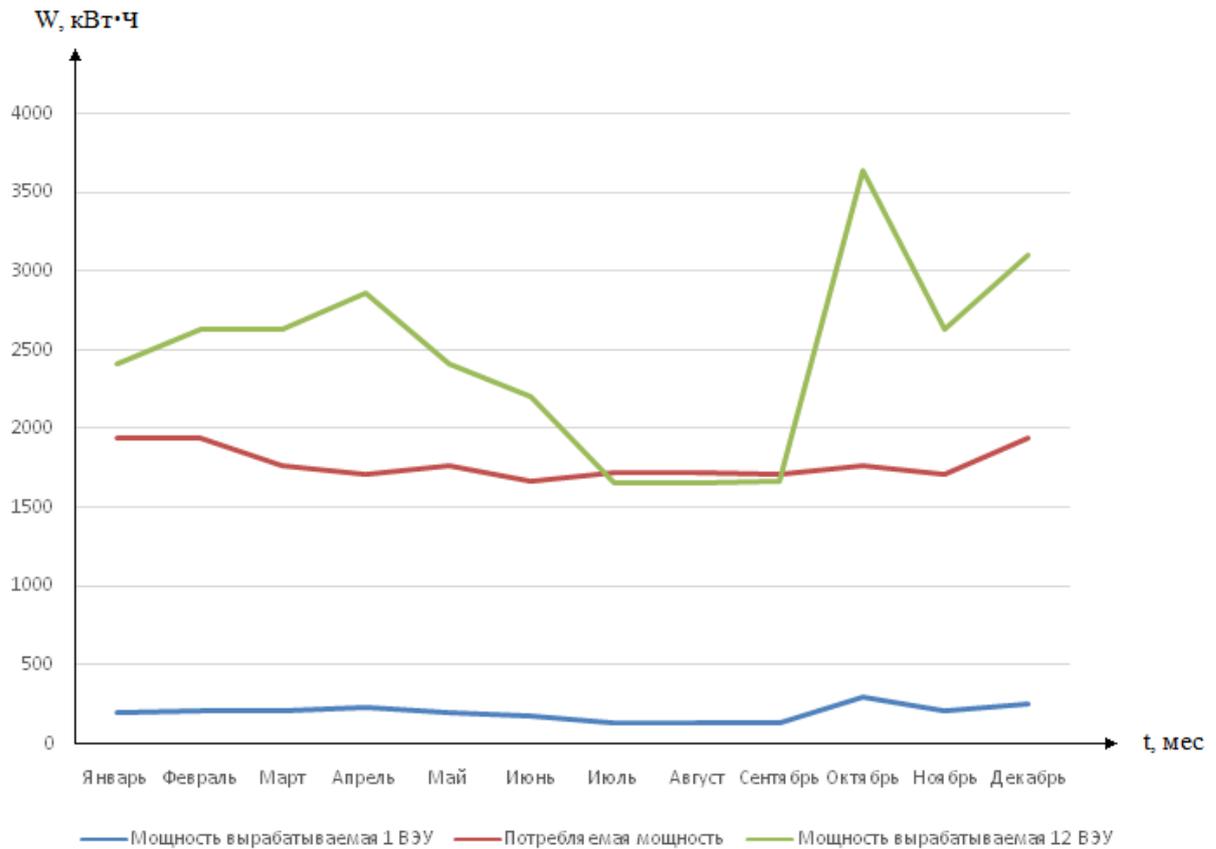


Рис. 4.11. Сравнение потребляемой энергии и энергии вырабатываемой 12 ВЭУ

4.6 Проектирование СФЭУ

Описание солнечного модуля

Монокристаллический солнечный модуль ФСМ- 320М

Солнечный модуль ФСМ 320М изготовлен из высокоэффективных монокристаллических солнечных элементов первой категории качества Grade А, что гарантирует повышенную производительность и надежность модуля. В процессе производства используются только высококачественные и

сертифицированные компоненты производителей с мировым именем и многолетним опытом работы в области солнечной энергетики. Солнечный модуль изготавливается из 72 монокристаллических солнечных элементов размером 156x156 мм. Солнечный модуль ФСМ 320 - самый мощный солнечный модуль представленный на российском рынке.

Эксплуатационный срок превышает 25 лет. (в течение срока службы потери КПД составляют менее 20%).

Таблица 4.4 Характеристики ФСМ 320

Максимальная мощность	320 Вт
Номинальное напряжение	24 В
Напряжение холостого хода	45,8 В
Напряжение при работе на нагрузку	37,6 В
Ток при работе на нагрузку	8,51 А
Размеры	1956 x 992 x 50 мм
Температура эксплуатации	от -40 до +85 °С
Макс. напряжение системы	1000 В

Таблица 4.5 Месячная норма солнечной радиации в Казани поступающая на горизонтальную площадку

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	за год
0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54	3,1

Таблица 4.6 Месячное потребление электроэнергии [кВт·ч]

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1944,94	1944,94	1770,1	1713	1770,1	1663,8	1719,26	1719,26	1713	1770,1	1713	1944,94

Таблица 4.7 Месячная выработка энергии 12 ВЭУ

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	В год
2412	2631	2631	2863	2412	2206	1657	1657	1666	3641	2631	3109	29515

Таблица 4.8 Дефицит электроэнергии, который должен компенсироваться СФЭУ

Июль	Авг	Сент
62,3	62,3	47,4

Суммарная площадь солнечной установки, рассчитывается по формуле:

$$S_{СФЭУ} = \frac{E_{выраб}}{\eta \cdot k_{э.уст} \cdot E_{инс}}, \text{ м}^2 \quad (4.11)$$

где $E_{выраб}$ – необходимая мощность, которую должна компенсировать СФЭУ;

η – коэффициент полезного действия фотоэлектрической панели (15,9%);

$E_{инс}$ – значение инсоляции за выбранный период для заданной широты, кВт·ч/м².

Таблица 4.9 Необходимая площадь СФЭУ

Июль	Авг	Сент
76,43	97,36	116,45

Выбираем наибольшую площадь.

Рассчитываем количество модулей исходя из площади одной панели:

$$N = \frac{S_{СФЭУ}}{S_{СП}} = \frac{116,45}{1,94} = 60 \quad (4.12)$$

Количество модулей – 60 шт.

Таблица 4.10 Месячная выработка энергии СФЭУ

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	В год
11,28	23,89	46,79	71,19	91,6	98,4	94,92	74,51	47,46	25,05	13,77	8,961	607,821

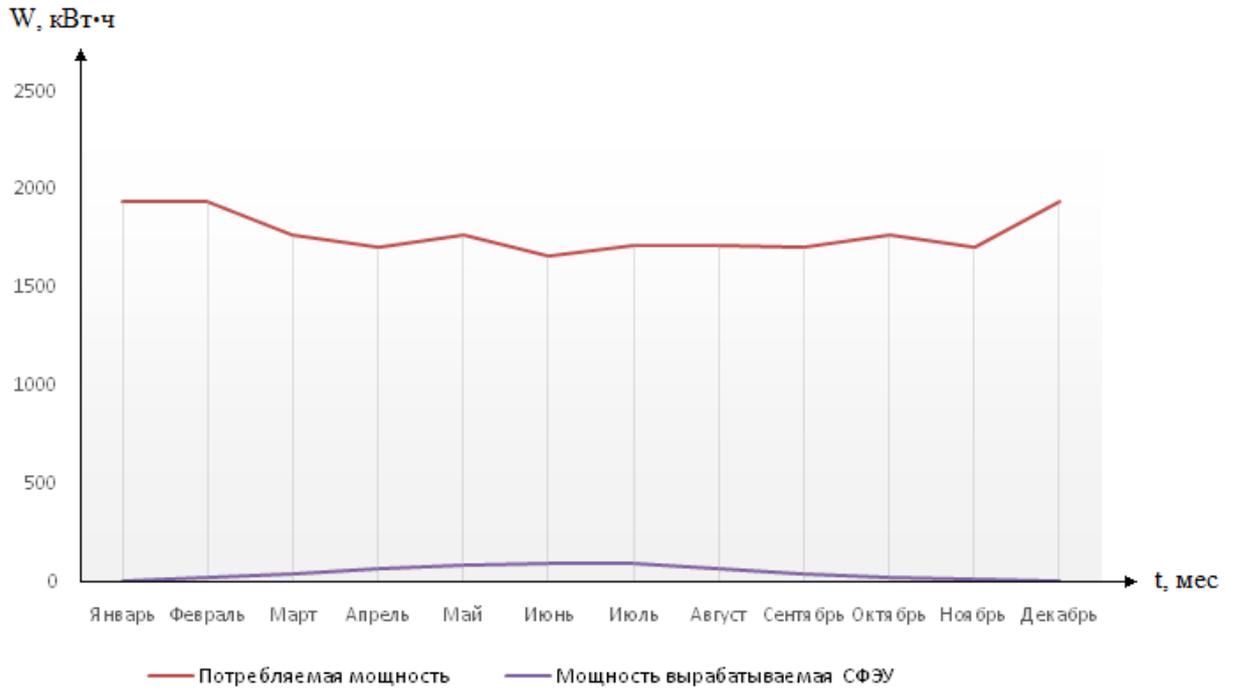


Рис. 4.12 Сравнение потребляемой энергии и энергии вырабатываемой СФЭУ

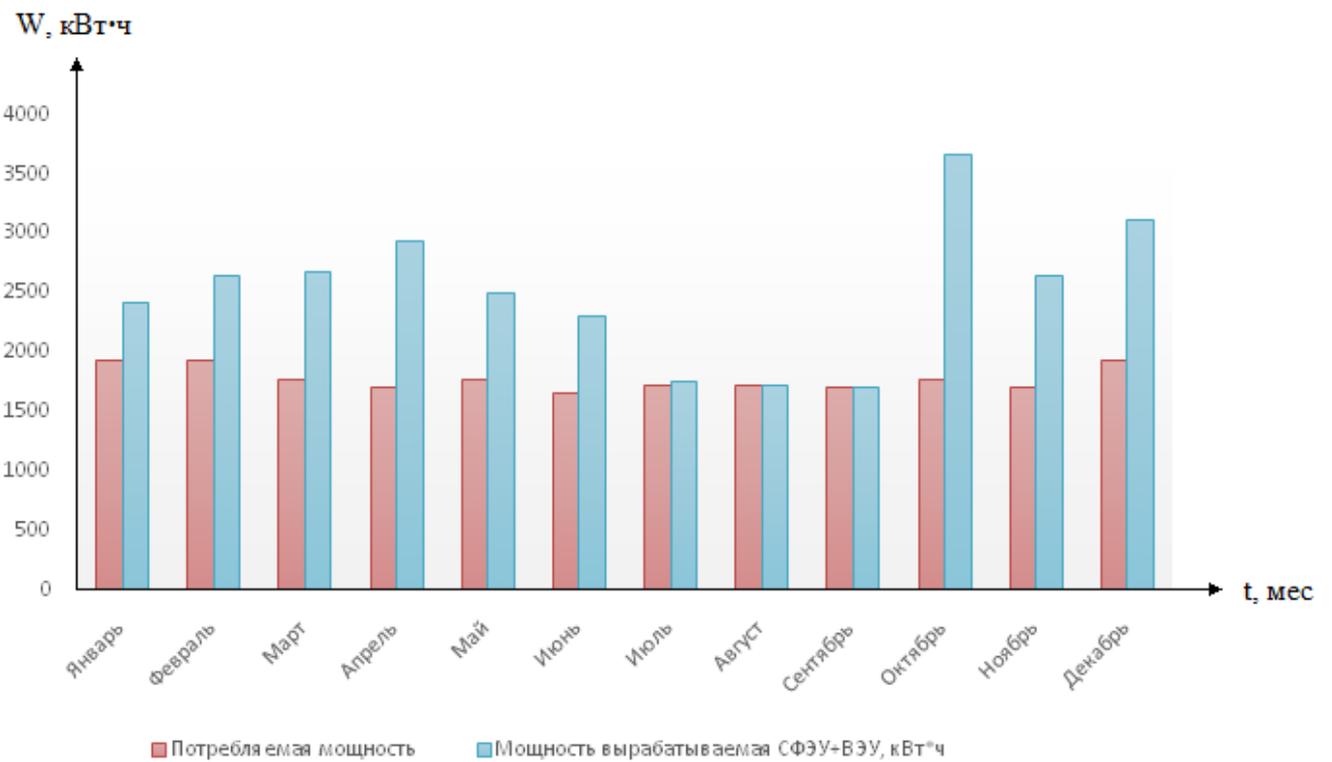


Рис. 4.13 Сравнение потребляемой энергии и энергии вырабатываемой ВЭУ+СФЭУ

4.7 Выбор инвертора и контроллера заряд-разряд для ВЭУ и СФЭУ

При выборе MPPT-контроллера должны учитываться условия: Произведение выходного тока контроллера и напряжения системы в разряженном состоянии аккумуляторов должно быть больше либо равно суммарной мощности солнечных батарей с 20%-ым запасом. Т.е. контроллер выбирается по мощности. Только из-за того, что мы принимаем во внимание разряженное состояние, то напряжение системы будет иметь меньшее значение. Поэтому максимальная мощность, указанная в параметрах контроллера не принимается во внимание.

$$I \times U \geq 1,2 P_{сб} \quad (4.13)$$

Для наших выбранных ранее 60 панелей по 320 Вт напряжением 48В понадобится MPPT-контроллер, выходной ток которого равен:

$$I = 1,2 \times 275 = 330 \text{ А} \quad (4.14)$$

Округляем это значение и получаем, что нам нужен контроллер с током заряда равным 330 А.

Выбираем 5 контроллеров заряда Xantrex MPPT XW 80-600

Таблица 4.11 Технические характеристики Xantrex MPPT XW 80-600

Номинальное напряжение аккумуляторов	24 / 48 В
Диапазон рабочих напряжений солнечных батарей	195 — 550 В
Максимальное напряжение холостого хода солнечных батарей	600 В
Максимальный зарядный ток	80 А
Максимальная выходная мощность	2560 Вт (24 В) / 4800 Вт (48 В)
Алгоритм заряда	2-х / 3-х стадийный заряд
Рабочий температурный диапазон	от — 20 до + 45 °С
Температура хранения	от — 40 до + 85 °С
AUX реле контакта управления	60 В пост. тока, 30 В перемен. тока, 8 А
Крепление	Вертикальное
Максимальная рабочая высота над уровнем моря	до 2000 м при 15 °С
Размеры	760 x 220 x 220 мм
Размер упаковки	870 x 330 x 270 мм
Вес нетто	13,5 кг
Вес брутто	17,4 кг
Гарантия	2 года

MPPT 80 600 Solar Charge Controller - инновационное солнечное зарядное устройство, которое характеризуется лучшими в отрасли показателями: наивысшее входное постоянное напряжение от солнечных панелей (до 600 Вольт), MPPT - отслеживание максимально эффективных

соотношений тока и напряжения солнечных панелей, высокий ток заряда батарей 80 А.

Высокое входное напряжение 600 Вольт от солнечных батарей даёт такие преимущества как: расширение диапазона рабочих напряжений PV панелей, что очень актуально в Российском климате (когда погода и облачность изменчива), также уменьшение стоимости проводников от солнечных панелей до контроллера заряда, так как входной ток меньше чем ток от массива панелей соединённых параллельно.

Выбираем 12 Контроллеров заряда Exmork ZKJ-B 3KW-48Vdc

Таблица 4.12 Технические характеристики Exmork ZKJ-B 3KW-48Vdc

Мощность, Вт	5000
Номинальное напряжение, В	48
Размеры, мм	590*490*315
Температура эксплуатации и хранения	-30°C до +40°C
Вес, кг	43

На основе опыта эксплуатации в России ветрогенераторов Exmork разработаны контроллеры для эксплуатации ветрогенераторов в более жёстких условиях - пыльные помещения, ограниченное пространство места установки, работа в необслуживаемых условиях, резкое кручение с места, работа ветрогенератора при шквальном ветре.

Основное конструктивное отличие от контроллеров серии WWS - ТЭНы буферной нагрузки, не внутри корпуса, а снаружи, что позволяет защитить контроллер от перегрева, и останавливать ветрогенератор даже при шквальном ветре.

Выбираем 2 инвертора МАП SIN 48В HYBRID 18 кВт

Таблица 4.13 Технические характеристики МАП SIN 48В HYBRID 18 кВт

Номинальное напряжение аккумулятора	48 В
Входное напряжение	48 В
Номинальная мощность	12 кВт
Максимальная мощность	15 кВт
Пиковая мощность	18 кВт
КПД	96 %
Напряжение на выходе	220 +/- 2 %
Частота на выходе	50 +/- 0.1 %
Гармоническое искажение	<2 %

МАП HYBRID умеет синхронизироваться и подкачивать в сеть дома энергию от АКБ (и в свою очередь от солнечных батарей или

1944,94	1944,94	1770,1	1713	1770,1	1663,8	1719,26	1719,26	1713	1770,1	1713	1944,94
---------	---------	--------	------	--------	--------	---------	---------	------	--------	------	---------

Таблица 4.16 Месячная выработка энергии 13 ВЭУ

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	В год
2613	2851	2851	3102	2613	2389	1795	1795	1804	3944	2851	3368	31975

4.7.1 Окончательный выбор инверторов и контроллеров заряд-разряд

*Выбираем: 13 Контроллеров заряда Exmork ZKJ-B 3KW-48Vdc
3 инвертора МАП SIN 48В HYBRID 18 кВт*

4.8 Технико-экономический расчёт

Общие капиталовложения:

АКБ 48V 5 PzS 500 Ah- 13 шт = 218240*13=2837120 руб.

ВЭУ 3/7 - 13 шт =13* 99 000= 1287000 руб.

Контроллер Exmork ZKJ-B 3KW-48Vdc - 13 шт = 23 150*13=300950 руб.

Инвертор МАП SIN 48В HYBRID 18 кВт - 3 шт = 130500*3=391500 руб.

Итого:4816570 руб.

Расчет срока окупаемости без учета стоимости АКБ

Срок окупаемости ВЭУ:

$$T_{ВЭУ} = \frac{Y_{ВЭУ} + U_0 + U_P}{E_{годВЭУ} \times C_{кВт ч}} = \frac{1287000 + 300950 + 391500}{31974,787 * 3} = 20,63 \text{ лет}$$

Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ:

$$K_Y = \frac{E_{факт}}{E_{ном}} = \frac{29515}{3 \times 24 \times 30 \times 12} = \frac{31974,787}{25920} = 1,234$$

Заключение

В большинстве районов северных широт, приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (когда светит яркое солнце, обычно, нет ветра, а если дует сильный ветер, то приход солнечного излучения минимален).

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта, уменьшения необходимой мощности ветровой турбины, солнечной фотоэлектрической панели, ёмкости аккумуляторной батареи и улучшения режимов работы станции уместно использовать гибридные ветросолнечные электростанции.

Преимущества гибридных станций наиболее ощутимы, при круглогодичном использовании. В зимнее время и межсезонье, основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом — на солнечные фотоэлектрические модули.

Капиталовложения в спроектированный комплекс составили 4816570 руб, средний срок окупаемости всей автономной системы около 21 года, без учёта стоимости аккумуляторных батарей

Из расчётов видно, что наличие 13 ВЭУ не является целесообразным для автономного объекта. В связи с этим, необходимо взять более мощный прототип ветроэлектрической установки, увеличить высоту установки ВЭУ и увеличить долю солнечных фотоэлементов системы.

Библиографический список

1. Твайделл Дж. Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ.-М. Энергоатомиздат. 1990.-392 с.
2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин М.К. Солнечная энергетика. Учебное пособие для вузов. Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 276 с.
3. Подбор и расчёт системы на солнечных батареях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm>
4. Четошникова Л.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Л.М. Четошникова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – 69 с.
5. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
6. Лукутин Б.В. «Возобновляемые источники электроэнергии»: учебное пособие/ Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
7. Расчет ресурсов солнечной энергетике / В.И. Виссарионов, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин, СВ. Кривенкова. - М.: Изд-во МЭИ. 1998.-36 с.
8. Ветроэлектрические станции/ В.Н. Андрианов, Д.Н. Быстрицкий, К.П. Вашкевич, В.Р. Секторов. – Государственное энергетическое издательство 1960, - 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Общие рекомендации по выполнению курсового проектирования. . .	4
1.1 Системы электроснабжения от автономных источников.	4
1.2 Определение потребностей.	5
1.3 Режимы автономного электроснабжения	6
1.4 Полное электроснабжение.	6
1.5 Комфортное электроснабжение	7
1.6 Умеренное электроснабжение.	7
1.7 Базовое электроснабжение	11
1.8 Аварийное электроснабжение.	13
1.9 Сравнение режимов автономного электроснабжения	16
1.10 Выбор оборудования.	18
1.11 Выбор напряжения системы.	19
1.12 Выбор инвертора.	20
1.13 Выбор аккумуляторов.	22
1.14 Соединение аккумуляторов	23
1.15 Выбор типа аккумуляторов.	24
1.16 Предварительный выбор ёмкости. Рабочий и буферный запас энергии.	25
1.17 Токи заряда и разряда. Окончательный выбор ёмкости.	27
1.18 Выбор проводов.	29
2 Работа автономных источников совместно с общественной электрической сетью.	31
2.1 Конфигурация электросети.	31
2.2 Организация сегментов сети.	31
2.3 Автономный защищённый сегмент.	32
2.4 Переключаемый защищённый сегмент.	33
2.5 Подзаряжаемый защищённый сегмент.	35
3. Проектирование комплекса автономного электроснабжения на базе ВЭУ и СФЭУ.	37
3.1 Введение.	37
3.2 Анализ предполагаемого или фактического электропотребления на проектируемом объекте.	37

3.3 Расчет сборки аккумуляторных накопителей электрической энергии (АКБ) в соответствии с электропотреблением проектируемого объекта.	38
3.4 Анализ ветроэнергетических ресурсов региона.	38
3.5 Проектирование ВЭУ.	38
3.6 Анализ солнечного излучения региона.	38
3.7 Выбор контроллеров заряд-разряд для ВЭУ и СФЭУ.	39
3.8 Разработка электрической схемы.	39
3.9 Техничко-экономический расчёт.	39
3.10 Заключение.	39
4 Пример расчёта.	40
4.1 Введение.	40
4.2 Анализ потребления электрической энергии.	41
4.3 Расчёт и выбор накопителей энергии на основе аккумуляторных батарей АКБ.	53
4.4 Выбор сечения провода.	55
4.5 Проектирование ВЭУ.	56
4.6 Проектирование СФЭУ.	58
4.7 Выбор инвертора и контроллера заряд-разряд для ВЭУ и СФЭУ. .62	
4.7.1 Окончательный выбор инверторов и контроллеров заряд-разряд . .	65
4.8 Техничко-экономический расчёт.	65
Заключение.	66
Библиографический список	67
Содержание.	68

Учебное издание

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ
ЭНЕРГИИ**

Проектирование энергетического комплекса автономного
электроснабжения на базе ветроэлектрической
и солнечной фотоэлектрической установок

**Учебное пособие для курсового
и дипломного проектирования**

Учебное пособие

**Составители: Кубарев Артём Юрьевич
Ахметова Римма Валентиновна
Маргулис Сергей Михайлович**

Кафедра электрических станций КГЭУ

Подписано в печать

Формат 60x84/16. Гарнитура Times. Вид печати РОМ. Бумага Business
Усл. печ.л. 1,39. Уч. изд.л. 5 Тираж 30 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел КГЭУ 420066, Казань, Красносельская, 51