

Ш.И. КЛЫЧЕВ, М.М. МУХАММАДИЕВ,
Р.Р. АВЕЗОВ, **К.Д. ПОТАЕНКО**

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**КЛЫЧЕВ Ш.И., МУХАММАДИЕВ М.М.,
АВЕЗОВ Р.Р., ПОТАЕНКО К.Д.**

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

*Министерством высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан рекомендовано в качестве учебника для
студентов высших учебных заведений*

ТАШКЕНТ – 2010

**Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Авезов Р.Р.,
Потаенко К.Д.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. –Т.: Изд-во «Fan va texnologiya», 2010, 192 стр.

Рассматриваются основные виды нетрадиционных источников возобновляемой энергии – солнце, ветер, тепло Земли (геотермальная энергия), гидравлическая и биогазовая, а также проблемы их практического использования. Приводятся сведения об экологической особенности использования возобновляемых видов энергии.

Учебник предназначен для студентов-гидроэнергетиков, а также может быть полезен студентам других специальностей, магистрантам и аспирантам.

Ноанъанавий қайта тикланувчан энергия манбаларидан – куёш, шамол, сув, геотермал ва биогаз энергиялар, шу билан бирга уларни амалий қўллашда муаммолар тўғрисидаги фикрлар келтирилган. Қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланишдаги экологик омиллар ҳақида маълумотлар берилган.

Дарслик гидроэнергетика йўналиши талабаларига мўлжалланган бўлиб, ундан бошқа йўналиш талабалари, магистрантлари ва аспирантлари ҳам фойдаланиши мумкин.

Considered the main types of nonconventional sources renewed energy – sun, winds, geothermal energy, hydraulic and bio gas, as well as problems their practical use. Happen to the information about ecological particularity of use the renewed types of energy.

The textbook is intended for students of water – power engeering, as well as can be used by students, masters and graduate studentsof other professions.

ISBN 978–9943–10–374–0

© Изд-во «Fan va texnologiya», 2010.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует пять основных источников энергии, которые могут быть использованы человечеством для удовлетворения своих потребностей в энергии:

- 1) химические реакции органических веществ;
- 2) ядерные реакции;
- 3) солнечное излучение;
- 4) гравитационное взаимодействие Солнца, Земли и Луны;
- 5) тепловая энергия ядра Земли.

Эти источники можно разделить на следующие два класса.

I. Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы веществ и материалов, которые используются для производства энергии и которые истощаются по мере потребления (ядерное топливо, каменный и бурый уголь, нефть, газ, сланцы, торф).

II. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это постоянные или периодически возникающие в окружающей среде потоки энергии, которые могут быть использованы человеком (солнечная энергия, энергия приливов и геотермальная энергия). ВИЭ в конечном счете также может быть исчерпана, однако это время существенно велико. Например, считается, что Солнце должно светить еще ближайšie 10 млрд. лет. Поэтому эти источники энергии с полным правом можно называть возобновляемыми.

Солнечная энергия является самым мощным источником энергии на Земле и обеспечивает энергией все природные процессы фотосинтеза и круговорот воды в природе. Вторичным проявлением солнечной энергии на земле является гидроэнергия, ветровая энергия, энергия океана, биомассы и др.

Следует отметить, что потенциальные запасы возобновляемых источников энергии намного превышают потенциал невозобновляемых источников. Так энергии, которая поступает на Землю от Солнца только за один год практически в 2 раза превышает все запасы горючих ископаемых.

Т.е. возобновляемые источники энергии могут в принципе удовлетворить потребности человечества в энергии на долгие годы.

Необходимость привлечения возобновляемых источников энергии обусловлена также быстро нарастающими экологическими проблемами, обусловленные использованием традиционных источников энергии – тепловое, химическое и радиоактивное загрязнение окружающей среды. Так, загрязнение атмосферы углекислым газом приводит к «парниковому эффекту» – препятствует прохождению теплового излучения Земли в космос, и в настоящее время это считается одной из основных причин изменения климата на Земле.

Использование ВИЭ таким образом, хотя и увеличивает количество поглощенной и выделяемой энергии, но за счет отсутствия загрязнения атмосферы этот эффект существенно меньше влияет на нагрев нашей планеты.

Одним из основных «недостатков» ВИЭ является их низкая энергетическая плотность, что приводит к большим габаритам энергоустановок на их основе и соответственно к их высокой стоимости. Второй недостаток ВИЭ, за исключением геотермальной энергии, это переменность их поступления. Указанное затрудняет их применение в большой энергетике. Однако и в малой энергетике возникают проблемы согласования режимов поступления и потребления, или её аккумуляирования.

Решению этих экономических и технических проблем использования ВИЭ и направлены усилия специалистов и ученых в этой области энергетики.

Следует подчеркнуть, что эффективность использования ВИЭ может возрастать при их совместной работе с традиционными энергоустановками и сочетании их с мерами по экономии энергии в быту и на производстве.

Глава 1. РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

1.1. Тепловые электростанции

Доминирующее значение тепловых электростанций – следствие их особенностей и высокой экономичности.

В отличие от гидравлических электростанций они могут быть сооружены в любом месте, что важно с точки зрения приближения генерирующих мощностей к потребителю.

Топливо для теплоэлектростанцией может быть доставлено на большие расстояния, дальность доставки определяется только экономическими показателями (стоимость топлива плюс его перевозка).

Таким образом, тепловые электростанции могут быть расположены равномерно по территории страны или её экономических районах.

Преимущество тепловых электростанций заключается и в том, что они могут работать практически на всех видах минерального топлива – различных углях и продуктах его обогащения, торфе, сланцах, жидком топливе и природном газе. При этом основные агрегаты теплоэлектростанции имеют весьма высокий коэффициент полезного действия (КПД), что обеспечивает общий коэффициент полезного действия современных электростанций до 42%.

Тепловые электростанции могут вырабатывать не только электрическую, но и тепловую энергию (горячая вода для отопления и водоснабжения и пар для технологических нужд производства). Коэффициент полезного действия современных теплоэлектростанций (ТЭС) еще выше и достигает 60–70%.

Еще одно преимущество тепловых электростанций – меньшая удельная стоимость установленной мощности по сравнению с гидравлическими и атомными электростанциями.

Главное направление в развитии тепловых электростанций – это использование местных, особенно низкосортных топлив (торф, бурый уголь, антрацитовый штыб, сланцы), в результате чего зна-

чительно расширяется топливная база энергетики. В свое время большое развитие получила торфяная промышленность, на базе которой работали десятки тепловых электростанций.

Одним из направлений развития ТЭС является использование газотурбинных циклов преобразования тепловой энергии.

Газовые турбины появились значительно позднее паровых и по ряду причин долго не могли быть конкурентоспособными с ними. Проблема заключается в том, что КПД газовой турбины существенно зависит от температуры теплоносителя, а качество металла не позволяло повышать ее выше 550°C для углеродистых сталей.

С появлением высоколегированных сталей, выдерживающих температуру порядка 650–750°C, первая причина, сдерживающая развитие газовых турбин, была устранена. При указанных температурах и мощности газовых турбин в 25–100 тыс.кВт их КПД при полной загрузке увеличивается до 27–28%.

Вторая причина, затрудняющая использование газовых турбин – механические примеси теплоносителя, – отпадает в случае использования в качестве топлива газа или жидкого топлива высоких марок (дизельное топливо, газотурбинное топливо).

Налажено производство газовых турбин мощностью в 16,25 и 100 тыс.кВт. Для большой энергетики представляют интерес газовые турбины мощностью 100 тыс.кВт и выше.

В настоящее время за рубежом начали серийно выпускаться газовые турбины с высокой начальной температурой газа мощностью 100 МВт и КПД 31–32%.

Газовые турбины имеют некоторые преимущества по сравнению с паровыми энергоблоками, меньшие капитальные вложения на единицу мощности, примерно на 20% и большую маневренность. Но газовые турбины расходуют значительно больше топлива по сравнению с паровыми установками и требуют высокоценные виды топлива – природный газ или дизельное топливо.

Использование газовых турбин в энергетике многих стран объясняется их маневренностью, быстротой запуска (за 1–1,5 минуты), что очень важно при быстром увеличении нагрузок в утренние и особенно в вечерние часы – для покрытия суточных пиковых нагрузок.

В настоящее время на ТЭС уделяется большое внимание вопросам снижения воздействия продуктов сгорания топлива на окружающую среду.

В продуктах сгорания, особенно при сжигании низкосортного угля, содержащего много балласта, образуется много шлака, летучей золы, сернистого газа, окислов азота.

Удаление шлака и золы на современных тепловых электростанциях происходит в основном гидравлическим методом с транспортировкой его в золоотвалы по трубопроводам. Этот высокомеханизированный способ наиболее рационален, но имеет два существенных недостатка – требует большого количества воды и труб для золопроводов, которые приходится часто менять из-за высокой абразивности частиц шлака. Поэтому при организации гидрозолоудаления, как правило, предусматриваются устройства очищения и возврата воды в систему.

При выборе мест сооружения тепловых электростанций уделяется особое внимание выбору площадей для золоотвалов, которые имеют значительные площади, причем при их проектировании считается, что они должны обеспечивать складирование на 15 лет.

Для удаления летучей золы на тепловых электростанциях сооружаются дымовые трубы. В настоящее время, особенно при сооружении крупных тепловых электростанций, имеется тенденция увеличения высоты дымовых труб и обслуживания ими нескольких котельных агрегатов.

Такое направление позволяет забрасывать продукты сгорания в верхние слои атмосферы, чем обеспечивается их рассеивание на большой площади.

Динамика сооружения высоких труб стремительно росла, от первых труб высотой 100 м и вскоре труб высотой в 120, 150, 180, 200 м и более. На Костромской ГРЭС для четырех энергоблоков по 300 МВт сооружена одноствольная железобетонная труба высотой 250 м. Для последующих четырех блоков этой ГРЭС по 300 МВт построена труба высотой 250 м, состоящая из внешней железобетонной оболочки и четырех внутренних металлических стволов (для каждого блока). Несмотря на некоторое увеличение затрат по сравнению с одноствольной трубой, эксплуатационные преимущества четырехствольной трубы очевидны – при ремонте одного из стволов в работе остаются три ствола.

Для улавливания летучей золы из продуктов сгорания тепловые электростанции оборудуются различными системами золоулавливания. Энергетические блоки тепловых электростанций мощностью 300 МВт оборудуются многопольными золоулавливателями высотой 12 м с КПД улавливания золы до 99,5%.

Улавливание и удаление из дымовых газов сернистого ангидрида и окислов азота значительно сложнее. Пока в мире нет апробированных способов улавливания сернистого ангидрида и особенно окислов азота.

Как видно тепловые электростанции во многих странах мира играют решающую роль. В то же время у теплоэнергетики имеется уязвимое место – неизбежное истощение запасов минерального топлива.

Есть ли в природе другие источники энергии, которые могут быть использованы для получения электрической энергии? Такие источники есть, и их немало.

1.2. Использование гидроэнергетических ресурсов

Энергия рек всегда привлекали внимание людей.

В самом деле – реки текут миллионы лет, и в них заключена колоссальная энергия. Человек много веков назад начал использовать энергию воды. Вначале это были простейшие водяные колеса, приводившие в движение различные приспособления.

С изобретением электрогенератора была открыта новая страница в гидроэнергетике.

Большая часть стран всего мира имеет реки, на которых сооружены или могут быть построены гидроэлектростанции.

В нашей стране разработана научная система правильного использования энергии рек, составлен порядок сооружения гидроузлов. Эта система сводится к трем основным условиям.

Во-первых, до начала сооружения первой гидроэлектростанции на данной реке, необходимо ее обследовать и составить общую схему расположения всех гидроузлов, наиболее экономически оправданных для сооружения.

Во-вторых, требуется соблюдение принципа каскадности строительства гидроузлов, что позволяет рационально использовать весь перепад (гидравлический потенциал) реки и одновременно создавать единый глубоководный путь для судоходства.

В-третьих, необходимо учитывать комплексность использования водных ресурсов рек.

Гидроузлы позволяют выравнивать сток воды в реках, улавливать весенние или осенние паводки, поэтому водохранилища, образованные плотинами экономически целесообразно использовать не только для производства электроэнергии, но и орошения земель и создания глубоководных путей для судоходства. Поэтому одновременно или последовательно с сооружением гидроузлов должны строиться оросительные системы.

Поэтому при строительстве гидроузлов необходимо учитывать ту часть воды в водохранилищах гидростанций, которая идет на орошение и обводнение земельных массивов.

Примером планомерного использования энергии рек может служить река Чирчик, гидроэнергетический потенциал которой используется на 79%. На этой реке сооружен каскад из 17 гидроэлектростанций.

При определении объемов водохранилищ и их расположения необходимо исходить не только из расчетов выработки электроэнергии и использования мощностей электростанций, но принимать также во внимание и потребности ирригации. Примером комплексного использования воды рек в интересах энергетики и сельского хозяйства могут служить водохранилища Фархадское и Кайрак-Кумское на р. Сырдарье. Вода этих гидроузлов используется для орошения ранее пустынных земель, на которых теперь собирают богатые урожаи «белого золота» — хлопка. Так Фархадская ГЭС, введенная в действие в 1944 г., позволила обеспечить ирригацию 150 тыс.га Голодной степи, а с сооружением Кайрак-Кумской ГЭС площадь орошения в Голодной степи увеличилась до 500 тыс.га.

Несмотря на значительные первоначальные капитальные затраты, себестоимость энергии на ГЭС почти в 10 раз ниже, чем на тепловых электростанциях. Также меньше и затраты энергии на собственные нужды (работа вспомогательных механизмов). Если на тепловых электростанциях расход электроэнергии на собственные нужды в 1975 г. составил 6,02% от суммарной ее выработки, то на гидроэлектростанциях всего лишь 0,32%, т.е. в 18,8 раза меньше. Другими словами, на каждый млрд.кВтч, выработки электро-

энергии в год гидроэлектростанции расходуют на собственные нужды 0,4 млн. кВт-ч, а тепловые электростанции — 55,0 млн. кВт-ч.

Отсюда следует вывод, что при расчете экономической эффективности следует учитывать все факторы, влияющие на экономику энергетики.

Гидроэлектростанции обладают высокой маневренностью; пуск в действие и набор нагрузки на гидрогенераторе производятся в течение нескольких минут, в то время как ввод в действие паровой турбины требует не менее 3-4 ч.

Производительность труда на гидроэлектростанциях в силу присущих им специфических особенностей значительно выше, чем на тепловых электростанциях. Наряду с этими преимуществами имеются и серьезные недостатки. Одним из наиболее существенных недостатков ГЭС является высокая стоимость их сооружения.

Высокая удельная стоимость гидроэлектростанций объясняется и тем, что при сооружении гидроузлов необходимо производить специфические расходы, которых нет на тепловых электростанциях. К ним относятся сооружение шлюзов, затраты на переселение населения с затопляемых земель, подготовка ложа водохранилищ, ирригационные сооружения.

Затраты на эти сооружения, достигают от 16 до 50% общей стоимости затрат по гидроузлу.

Крупным недостатком гидроэлектростанций является и длительность сроков их сооружения.

Дальнейшее развитие гидроэнергетики идет по пути повышения экономики строительства, комплексного использования водных ресурсов и обеспечения рациональных пропорций между мощностями ГЭС и ТЭС.

Технико-экономические показатели гидроэнергетики будут улучшаться за счет замены бетонных плотин земляными или каменно-набросными плотинами, а также применения более прогрессивных типов плотин. Одним из наиболее ярких примеров экономической эффективности является сооружение каменно-набросной плотины на реке Чирчик (Чарвакская ГЭС).

На реках Средней Азии периодически происходят катастрофические паводки, наносящие значительный ущерб населению и особенно сельскому хозяйству. Поэтому роль водохранилищ ГЭС и систем гидроузлов, как буферных гидроаккумуляторов и регуляторов водного

баланса, имеет большое значение для предотвращения возможных наводнений. Водные запасы рек Средней Азии при этом обеспечивают не только нужды энергетики, но и являются живительным источником для сельскохозяйственного производства.

1.3. Атомная энергетика

При расщеплении атомного ядра урана 235 выделяется большое количество энергии в виде тепла. Ученые научились использовать это тепло, и превращать его в электрическую энергию. Основой таких атомных станций является атомный реактор (котел), где происходит расщепление атомного ядра и использование выделяемого тепла для получения водяного пара. Однако водяной пар, производимый в атомном реакторе, имеет радиоактивные частицы. Поэтому этот первичный теплоноситель направляется во второй контур, в который подается химически чистая вода, и которая далее превращается в пар и поступает в обычную тепловую турбину. Пар второго контура не имеет радиоактивных веществ, т.е. безвреден для персонала.

Дальнейший цикл превращения тепловой энергии в электрическую, осуществляется также как и в обычной тепловой электростанции. Первая в мире атомная электростанция (АЭС) была создана в 1954г. Её мощность была весьма скромной – 5 тыс. кВт, и по экономическим показателям она значительно уступала крупным тепловым электростанциям, работающим на угле, мазуте или природном газе.

Первая АЭС, однако, сыграла огромную роль как экспериментальной установки, где проходило накопление опыта создания и эксплуатации будущих атомных электростанций. Главное состояло в том, что впервые в мировой истории была доказана возможность производить электрическую энергию на основе расщепления ядра урана, а не за счет использования тепла при сжигании минерального топлива или использовании гидравлической энергии.

В отличие от тепловых энергетических установок, где минеральное топливо сгорает почти полностью, в современных ядерных реакторах используется сравнительно небольшая часть энергии, заключенной в атомах урана. Дело в том, что природный уран состоит из двух составных частей (изотопов) – урана-235 и урана-238. При этом доля урана-238 равна 99,3%, а урана-235 – только 0,7%.

расщепление атомов урана-235. Чтобы увеличить продолжительность работы реактора без перезагрузки атомного горючего, урановая руда предварительно обогащается. В результате содержание урана-235 увеличивается с 0,7 до 3-5%, при этом начальный запас горючего и длительность работы реактора значительно увеличиваются. Хотя в принципе можно работать и не на обогащенном топливе, как это практикуется на АЭС в Англии и Канаде.

Реакторы, работающие на уране-235, получили название реакторов, работающих на тепловых, или медленных нейтронах.

В последующем были созданы реакторы на так называемых быстрых нейтронах (бриддеры). Их особенность состоит в том, что в процесс деления вовлекается и уран-238.

Как уже было упомянуто, на современных АЭС используется только уран-235, остальные же 99,3% урана, т.е. изотоп 238, остаются практически неиспользованными. Поэтому ученые интенсивно ведут поиски путей использования урана-238. Эти поиски увенчались успехом. Разработан и создан новый тип атомного реактора – на так называемых быстрых нейтронах. В этом реакторе происходит вовлечение в процесс деления урана-238.

Главной особенностью энергетических реакторов на быстрых нейтронах является возможность получить не только тепловую и электрическую энергию, но и одновременно воспроизводить новое ядерное топливо, основным топливом в быстрых реакторах является искусственный химический элемент плутоний-239 и «пассивный» уран-238. Тепловая энергия в реакторе на быстрых нейтронах получается за счет деления ядер плутония, при этом часть образующихся нейтронов захватывается (поглощается) ураном-238 и он превращается в плутоний-239. Вновь образуемый плутоний является ядерным горючим, т.е. при его распаде выделяется (как и в случае с ураном-235) тепловая энергия. Поскольку при делении плутоний может выделять несколько больше нейтронов по сравнению с необходимым его количеством для данного реактора, то в нем образуется избыток нового

Этот избыток плутония может быть извлечен из реактора и направлен для использования в другой реактор.

В результате этого процесса возможно использовать почти весь уран-238 и таким образом многократно увеличить ресурсы ядерного топлива для атомных станций.

Вместе с тем в освоении реакторов на быстрых нейтронах все еще имеется ряд серьезных трудностей.

Так, например, использование жидкого натрия в испарительном контуре реактора таит в себе большую опасность, так как при возможном соприкосновении его с водой в парогенераторе может произойти взрыв. Поэтому продолжают интенсивные работы по поиску на таких реакторах теплоносителя для первого контура, в частности рассматриваются гелий или диссоциирующий газ, а также по разработке вторичного контура с газовым теплоносителем.

Имеются также серьезные проблемы, связанные с переработкой высокоактивных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) и выделения из них вновь образованного плутония. Однако все эти трудности должны быть преодолены, учитывая открывающиеся возможности более полного использования урана.

Однако даже и при таком использовании урана его запасы не беспредельны. И проблема поиска новых источников энергии остается одной из главных задач человечества.

Глава 2. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

2.1. Общие понятия о возобновляемых источниках энергии

Основная задача, которая ставится в настоящее время перед нетрадиционной и малой энергетикой это удовлетворение потребностей населения и промышленности в электрической и тепловой энергии, особенно в районах, удаленных от централизованных сетей. В целом использование ВИЭ обусловлено также необходимостью решения глобальных экологических проблем. Таким образом возобновляемая энергетика это область науки, производства и потребления электрической, тепловой и механической энергии, получаемой за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

К ВИЭ относят следующие виды энергии: солнечную, геотермальную, ветровую, энергию морских волн, течений, приливов, тепло океанов, энергию биомассы и гидроэнергию.

Принято условно разделять ВИЭ на две группы:

- традиционные: гидравлическая энергия; энергия биомассы, используемая для получения тепла традиционными способами сжигания (дрова, торф и некоторые другие виды растительного топлива);

- нетрадиционные: солнечная, ветровая, энергия морских волн, течений, приливов и океана, гидравлическая энергия малых водотоков, а также энергия биомассы, не используемая в настоящее время, низкопотенциальная тепловая энергия и другие «новые» виды возобновляемых источников.

Особенностью современного состояния научно-технических разработок установок на базе ВИЭ является пока их более высокая стоимость и соответственно высокая стоимость получаемой от них энергии (тепловой и электрической) по сравнению со стоимостью энергии, получаемой на крупных традиционных электростанциях. Тем не менее, имеются обширные районы Земли, где по экономическим, экологическим и социальным условиям целесообразно приоритетное развитие возобновляемой энергетике, в том числе нетрадиционной и малой. К ним относятся:

- зоны децентрализованного энергоснабжения с низкой плотностью населения в первую очередь районы сельскохозяйственного сектора экономики;

- зоны централизованного энергоснабжения с большим дефицитом мощности и значительными материальными потерями из-за частых отключений потребителей энергии;

- города и места массового отдыха и лечения населения со сложной экологической обстановкой, что обусловлено вредными выбросами в атмосферу промышленных и городских котельных, работающих на ископаемом топливе;

- зоны с проблемами в обеспечении энергией индивидуальных потребителей, фермерских хозяйств, мест сезонной работы, садово-огородных участков;

- энергоснабжение значительного числа рассредоточенных объектов особенно в зоне Аральского моря и на малоосвоенных территориях, богатых ценными минерально-сырьевыми ресурсами (плато Устюрт в Каракалпакстане, Навоийской, Бухарской, Кашкадарьинской, Сурхандарьинской областях и т.п.).

Прежде всего, следует отметить, что история развития ВИЭ (более или менее масштабные исследования в этой области начались в конце 60-х и начале 70-х годов) в мире значительно короче периода разработки, апробации и совершенствования технологий энергопроизводства на базе органического топлива, гидроэнергии и даже атомной энергии, и поэтому «догнать» традиционные технологии производства энергии по уровню развития и, соответственно по стоимости для НВИЭ довольно сложно.

Любому новшеству в энергетике приходится завоевывать место на рынке, которой во всех отношениях привязан к традиционному источнику энергии и требует огромных капитальных вложений. Так прошло 75 лет со времени появления первых нефтяных скважин, прежде чем уголь был вытеснен нефтью в качестве доминирующего источника энергии. Можно привести примеры масштабных преобразований и в других отраслях техники. Например, потребовалось примерно 50 лет для того, чтобы авиация стала одним из основных видов транспорта. Радио в качестве прибора массовой связи распространилось по всему миру примерно за 40 лет. Поэтому можно полагать, что внедрение малых дешевых энергетических установок может привести к значительным изменениям в социальном укладе человека.

2.2. Основные терминологические понятия

Рассмотрим основные понятия и определения некоторых наиболее часто встречающихся в области ВИЭ терминов.

Возобновляемый источник энергии – термин, в котором отражается либо источник его возникновения (солнечная, геотермальная, гидравлическая энергия и др.), либо природное явление (ветровая, волновая, приливная энергия и др.).

Энергоноситель – вещество в твердом, жидком или газообразном состоянии, обладающее энергией, которая может быть превращена в используемый вид энергии.

Ресурс (потенциал) возобновляемого источника энергии – объем энергии, заключенной или извлекаемой при определенных условиях из возобновляемого источника энергии в течение определенного периода времени.

Валовый потенциал ВИЭ – средний годовой объем энергии, содержащийся в данном виде ВИЭ при ее превращении в полезно используемую энергию.

Технический потенциал ВИЭ – часть валового потенциала, преобразование которого в полезно используемую энергию возможно при данном уровне развития технических средств и при соблюдении требований по охране окружающей среды.

Экономический потенциал ВИЭ – часть технического потенциала, преобразование которого в полезно используемую энергию экономически целесообразно при данном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы и транспортные услуги, оплату труда и др.

Низкопотенциальная тепловая энергия – тепловая энергия, содержащаяся в воздухе, вентиляционных выбросах, в морской воде, т.е. тепла с температурой до 40°C.

Энергия градиента температуры – энергия, получаемая за счет разности температуры верхних и глубинных слоев морей, океанов и др.

Биомасса – часть растительного и животного мира, которая в естественном или превращенном виде может быть использована для производства электрической и тепловой энергии, например: отходы лесозаготовки и лесопереработки, отходы растениеводства и животноводства, твердые и жидкие бытовые отходы, отходы биомассы перерабатывающей промышленности и др.

Гидравлическая энергия – потенциальная и кинетическая энергия воды.

Микро ГЭС – гидроэлектростанции единичной мощностью до 100 кВт.

Малые ГЭС – гидроэлектростанции общей мощностью до 30 МВт.

Геотермальная энергия – часть тепловой энергии ядра Земли, выходящая в верхние слои поверхности Земли за счет теплопроводности твердых пород, а также в виде горячей воды или парогазовой смеси.

Солнечная энергия – энергия солнечного излучения, приходящая на поверхность Земли.

Ветровая энергия – кинетическая энергия движущихся масс воздуха.

Приливная энергия – энергия водных масс морей и океанов, образуемая за счет гравитационного взаимодействия Земли и Луны.

Топливо – горючие вещества, основной составляющей которых является углерод, применяемые с целью получения при их сжигании тепловой энергии. Топливо делится на природное (нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы, торф, древесина) и искусственное (кокс, моторные топлива, генераторные газы и др.). По агрегатному состоянию они разделяются на твердые, жидкие и газообразные. Учитывая различную теплотворную способность топлив а также учета и сравнения их запасов принята единица учета – тонна условного топлива (т.у.т.), имеющая теплотворную способность равную 29.31 Гдж/т (7000 ккал/кг). В зарубежной практике в качестве единицы учета используется нефтяной эквивалент (т.н.э) с теплотой сгорания 41.868 Гдж/т. Данные по теплоте сгорания различных видов топлива приведены в табл.2.1.

«Шахтный газ» – смесь углеводородных газообразных соединений, которая образуется в результате химических реакций в угольных месторождениях, шахтах и других подземных выработках.

Установки возобновляемой энергетики – взаимосвязанный комплекс технологического оборудования по преобразованию возобновляемой энергии в полезно используемый вид: электрическую, тепловую, механическую энергию или их различные сочетания. Поскольку энергия, вырабатываемая установками возобновляемой энергетики, может быть получена в различных формах (топливо, тепловая и электрическая энергия то следует установить эквивалентную им массу топлива и соотношения между различными единицами энергии).

Теплота сгорания топлив

Таблица 2.1.

	Н		
	МДж/кг	Ккал/кг	кВтч/кг
Антрацит	31	7400	8.6
Бурый уголь, брикеты	21	5000	5.8
Бурый уголь	14.7	3500	4.1
Необработанный	8.4	2000	2.3
Дерево сухое	15.0	3600	4.2
Древесный уголь	31.0	7300	8.6
Каменный уголь	29.3	7000	8.1
Кокс	29.0	7000	8.1
Торф сухой	15.0	3600	4.2
Бензин	42.0	10000	11.7
Бензол	40.0	9600	11.1
Дизельное топливо	42.7	10200	11.9
Керосин	40.8	9750	11.3
Мазут	41.0	9800	11.4
Метиловый спирт	19.5	4660	5.4
Натуральная нефть	41.0	9800	11.4
Спирт	25.0	5980	6.9
Этиловый спирт	27.0	6500	7.5
Эфир	34.0	8200	9.4
Метан CH ₄	54.9	13147	15.3

Коэффициенты перевода между энергетическими единицами приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Единица	ГДж	Гкал	МВт	Т.у.т.	Т.н.э.
ГДж	1,0	0,2388	0,2778	0,312	0,02388
Гкал	4,1868	1,0	1,163	0,14286	0,1
МВт.ч	3,6	0,8598	1,0	0,12284	0,08598
т.у.т.	29,3076	7,0	8,141	1,0	0,7
т.н.э.	14,868	10,0	630	1,42857	1,0

2.3. Ресурсы возобновляемых источников энергии в Узбекистане

При оценке роли и значения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) следует учитывать уже осознанную реальность – конечность запасов органического топлива на Земле, их все убыст-

ряющиеся темпы расходования, и в связи с этим необходимость изыскания альтернативных источников энергии, а также проведение строгого режима экономии топливно-энергетических ресурсов. Например, в настоящее время человечество за год использует столько невозобновляемой энергии, на накопление которой природа затратила 1 млн. лет.

Имеется ряд научно и технически обоснованных и, в какой-то степени, конкурирующих направлений решения этой проблемы. С точки зрения перспективы имеется необходимость поиска и исследования всех возможных новых источников энергии, отдавая предпочтение на определенном этапе развития тому направлению, которое в данный момент обеспечивает наибольшую экономическую эффективность.

Одним из путей решения социально-экономических проблем, связанных в той или иной мере с энергетикой, является более активное освоение местных энергоресурсов (малых запасов угля, газа, нефти в районах с развитой инфраструктурой), а также масштабное использование экологически безопасных возобновляемых источников энергии, имеющихся на территории Узбекистана.

Возобновляемые (не истощаемые) источники энергии – это источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих циклов растительного и животного мира, а также теплового взаимодействия солнечного излучения с Землей.

Валовой потенциал энергии солнечного излучения, малых рек, ветровых потоков и других источников в несколько раз превышает ежегодную потребность Узбекистана в топливно-энергетических ресурсах, оцениваемых в 55-60 млн. тонн условного топлива (тут), и многократно превышает разведанные запасы углеводородного сырья.

Среди возобновляемых источников энергии по валовому ресурсу или, иначе, теоретическим запасам безусловным лидером является геотермальная энергия. Однако сравнительно низкие температуры (до 70-80°C), большая минерализация и глубина залегания артезианских вод технически затрудняют их использование для выработки электроэнергии. Поэтому, если рассматривать технически реализуемые потенциалы, то лидером становится солнечная энергия, однако высокая стоимость вырабатываемой на солнечных установках энергии ограничивает её широкое применение. Поэтому в настоящее время из всех видов ВИЭ практическое значение приоб-

ретаает гидроэнергия, экономический потенциал которой очень высок и на настоящий момент составляет 14,4 млрд кВт.час. Сейчас используется лишь от 4 до 6,5 млрд кВт.час. Не используемые резервы относятся к группе малых и средних ГЭС, которые характеризуются относительно малыми напорами и как следствие, рассчитаны на маломощные гидростанции рассредоточенные на всем протяжении водотоков, включая оросительные и дренажные каналы. Повсеместное повышение цен на энергоресурсы создает предпосылки для конкурентоспособности электроэнергии малых и средних ГЭС. Практика показала эффективность применения различных типов микро ГЭС (рукавные, безрукавные, подпорные и т.д.). Комплексное использование энергии водотоков позволит решить проблему энергоснабжения удаленных потребителей маломощных по абсолютной величине энергопотребления, но весьма эффективных по результатам производства.

Прежде всего это относится к населенным пунктам и мелким производителям расположенным в предгорных районах Республики. Однако и в районах централизованного энергоснабжения использование локальных автономных энергоисточников также достаточно перспективно, так как способствует созданию конкурирующей среды для энергетического рынка. Вместе с энергией малых и средних водотоков, в такой конкуренции могут участвовать и нетрадиционные энергоисточники (энергия ветра, солнца, биогаз). По предварительным расчетам, потенциал малых и средних водотоков, местных и нетрадиционных источников энергии по абсолютному значению составляет от 1 до 1,5% от общего потребления первичной энергии.

Однако экономические и социальные эффекты использования ВИЭ неизмеримо выше, так как создаются условия для развития малого и среднего бизнеса, и повышения комфортности жилищных условий людей, проживающих в отдаленных районах Республики.

2.4. Масштабы использования ВИЭ в некоторых промышленно развитых странах

Уровень применения ВИЭ в некоторых промышленно развитых странах мира характеризуется следующими данными (таблицы 2.3).

Основное преимущество возобновляемых источников энергии — неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический баланс планеты. Эти качества и послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и весьма оптимистических прогнозов их развития в ближайшем десятилетии. Возобновляемые источники энергии играют значительную роль в решении трех глобальных проблем, стоящих перед человечеством: энергетика, экология, продовольствие.

Масштабы использования ВИЭ в некоторых промышленно развитых странах мира

Таблица 2.3.

Страна	Вид возобновляемых источников энергии		Ветроэнергетика, МВт	Малая гидроэнергетика, МВт	Геотермальная энергетика, МВт	Энергия биомассы		Валовое потребление энергии от %
	Солнечная энергетика Фотоэлементы, МВт	Солнечные водонагреватели, млн.кв.м				Биогаз из с/х отходов	Твердые бытов. отходы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
США	60	4	2706	-	2228	-	+	-
Япония	80	7	68	-	-	-	-	-
Германия	50	+	4444	-	-	-	-	1,9
Израиль	-	2,8	8	-	-	-	-	-
Греция	-	2,0	82	-	-	-	-	7,2
Россия	0,5	0,1	5	220	23	-	-	-
Дания	-	-	1761	-	-	-	+	7,0
Испания	+	-	1225	-	-	-	-	6,2
Индия	-	-	1100	173	-	+	-	-
Китай	-	-	261	19200	-	+	-	-
Австрия	-	+	42	+	-	+	-	24,1
Финляндия	-	+	38	180шт	-	-	-	19,3
Норвегия	-	-	13	500шт	-	-	-	-
Швеция	-	-	215	1200шт	-	-	+	24,0
Филиппины	-	-	-	-	1909	-	-	-
Италия	-	-	283	-	785	-	+	6,4
Мексика	-	-	3	-	755	-	-	-
Индонезия	-	-	-	-	589	-	-	-
Нидерланды	-	-	411	-	-	-	-	1,4
Великобритания	-	-	353	-	-	-	-	0,6
Канада	-	-	125	-	-	-	-	-
Всего	200,0	21	13506	70000	80000	6 млн.шт	10000шт	-
Португалия	-	-	-	-	-	-	-	17,5
Люксембург	-	-	-	-	-	-	-	1,3
Ирландия	-	-	-	-	-	-	-	2,2
Франция	-	-	-	-	-	-	-	7,2
Бельгия	-	-	-	-	-	-	-	0,8

Солнечная энергетика. В производстве фотоэлементов (прямое фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию) и систем на их основе наблюдается настоящий бум. В 1999 годовое производство энергии с помощью фотоэлементов в мире составило 200 МВт. Годовые темпы роста за последние 5 лет составляют 30%. Страны-лидеры Япония – 80, США – 60, Германия – 50 МВт (Россия – 0,5 МВт). Общая площадь солнечных водонагревателей (солнечных коллекторов) в мире превысила по неполным данным 21 млн.м², при этом годовое производство солнечных коллекторов превышает 1,7 млн.м². Страны-лидеры: Япония – 7, США – 4, Израиль – 2,8, Греция – 2,0 млн.м, (Россия 0,1 млн.м).

Ветроэнергетика. Установленная мощность ветроустановок в мире увеличилась с 6272 МВт в 1996 г. до 12000 МВт в 1999 г., прогноз на 2006 г. 36000 МВт. Страны-лидеры: Германия – 4444 МВт, США – 1819, Дания – 1752, Испания – 1539, Индия – 1100 МВт, (Россия – 4 МВт). Оборот ветроэнергетической индустрии в мире в 1998 г. составил 1,7 млрд. дол. и увеличился по сравнению с предыдущим годом на 31%.

Гидроэнергетика. Экономический потенциал гидравлической энергии в мире оценивается в 8100 ТВт.ч. Установленная мощность всех гидростанций составляет 669 ТВт, а вырабатываемая электроэнергия – 2691 ТВт.ч. Таким образом, экономический потенциал гидроэнергии используется на 33%.

Мировым лидером в малой гидроэнергетике является Китай, где с 1950 по 1996 гг. общая мощность малых ГЭС выросла с 5.9 до 19200 МВт. В ближайшем десятилетии в Китае планируется строительство более 40000 малых ГЭС с ежегодным вводом до 100 МВт. В Индии на конец 1998 г. установленная мощность малых ГЭС составила 188 МВт. Определены места для строительства еще около 400 станций с общей проектной мощностью 8370 МВт. Эффективно работают малые ГЭС и в ряде европейских стран, в том числе в Австрии, Финляндии, Швеции и др.

Геотермальная энергетика. Установленная мощность геотермальных электростанций (ГеоТЭС) возросла с 678 МВт в 1970 г. до 8000 МВт в 2000 г. Страны-лидеры: США – 2228 МВт, Филиппины – 1909, Италия – 785, Мексика – 755 МВт, Индонезия – 589 МВт, (Россия – 23 МВт.) Среднегодовой рост мощности ГеоТЭС за последние 30 лет составил 8,6%. Установленная мощность геотер-

мальных тепловых установок за последние 20 лет выросла с 1950 до 17175 МВт.

Энергия биомассы. Использование энергии биомассы осуществляется по нескольким направлениям: производство биогаза, энергетическое использование твердых бытовых отходов (ТБО), использование древесного топлива и торфа.

Производства биогаза и удобрений осуществляется на:

- малых установках по переработке сельскохозяйственных и бытовых отходов индивидуальных крестьянских фермерских хозяйств, общее количество которых превысило 6 млн. штук (это направление особенно развито в Китае и Индии);

- больших установках по переработке городских сточных вод (более 10000 установок) и комбинированных установках по очистке городских и промышленных сточных вод (более 100 новейших установок в мире);

- мощных комбинированных установках (фабрик по переработке отходов продукции сельского хозяйства, животноводства и фермерских хозяйств), более 50 фабрик в Европе.

Полученный биогаз, используется в быту, в водонагревательных и паровых котлах, а также в дизель-генераторах, для производства электроэнергии.

2.5. Использование энергии океанов и морей

Суммарная мощность приливо-отливных течений мирового океана, которая может быть использована, оценивается в 100000 МВт. Однако удобных мест для строительства и эксплуатации крупных приливных электростанций (ПЭС), обеспечивающих экономичность выработки электроэнергии, относительно немного. Затраты на сооружение и работу ПЭС в основном определяются параметрами плотин. В 1967 г. во Франции на берегу Ла-Манша в устье реки Рона была построена первая более или менее крупная ПЭС, спустя один год в Советском Союзе была введена в эксплуатацию Кислогубская приливная электростанция на побережье Баренцова моря. Строительство крупных ПЭС запроектировано в США (мощностью 1-2 МВт), во Франции и Англии по 9 МВт. В России предполагается сооружение нескольких приливных электростанций-гигантов: в Мезенском заливе Белого моря и в Тугурском заливе Охотского моря мощностью до 10 МВт. Весьма перспективным представляется сооружение ПЭС в Пенжинском зали-

ве Охотского моря мощностью до 100 МВт при длине отсекающей плотины равной 75 км. Интересно отметить, что институтом Гидропроект предлагается технология сооружения крупномасштабных плотин ПЭС с применением направленных массовых взрывов, обеспечивающая 10-20 кратное снижение стоимости строительных работ.

Выработка электроэнергии на ПЭС не связана с негативными экологическими последствиями.

Считается, что в недалеком будущем появятся возможности реализации других видов энергии Мирового океана – использование температурного градиента воды на различных глубинах, энергии волн и океанических течений. В США проектируется градиентная электростанция мощностью 1 МВт, экспериментальный образец аналогичной установки создан в Японии.

Принцип действия гидротермальных электроустановок заключается в использовании для вращения турбины паром «низкокипящего рабочего тела» (фреон или аммиак), испаряющегося в теплообменнике – испарителе за счет теплоты верхних слоев океанских вод, конденсация отработанных паров будет осуществляться водой, подаваемой из глубинных холодных слоев океана (будет подаваться насосами из глубоких шельфовых впадин).

Огромна и энергия океанских волн, так волна высотой 3 м передает на 1 м береговой линии энергию мощностью около 90 кВт. Выработка электроэнергии от энергии волн происходит путем её преобразования в компрессионных камерах в энергию сжатого воздуха с подачей последнего в турбину электрогенератора. Подсчитано, что 12 береговых энергетических установок длиной 50 миль могут полностью удовлетворить потребность Англии в

Для использования океанских течений для выработки электроэнергии в США проводятся работы по созданию экспериментального энергетического комплекса. Комплекс, состоящий из турбины с системой мультипликаторов для повышения числа оборотов и электрогенератора, предполагается разместить в районе сильных океанских течений. Исследования показывают, что наиболее трудноразрешимой проблемой при этом являются передача вырабатываемой электроэнергии, также считается, что использование энергии волн и течений в океанах будет оказывать минимальное отрицательное влияние на природную среду.

Глава 3. ПРИМЕНЕНИЕ ВИЭ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

3.1. Электрификация сельского хозяйства

В 1950-60 г.г. на производственные нужды в сельском хозяйстве расходовалось 53–74% от всей потребленной электроэнергии, а в 1975 г. при увеличении более чем в 7 раз общего потребления электроэнергии в сельском хозяйстве 90% этой энергии расходуется в производственных процессах.

Электрификация основных процессов производства сразу же сказалась на увеличении электровооруженности труда сельского работника. Электровооруженность практически удваивалась каждые пять лет с 0,55 тыс.кВт-ч в 1970 г. и до 2,3 тыс.кВт-ч – в 1975г.

Экономическая эффективность применения электрической энергии в сельскохозяйственном производстве заключается в увеличении производительности и облегчении условий труда.

Сельскохозяйственные орудия и машины с электроприводом обеспечивают на тех же механизмах большую часовую производительность, увеличивают выход товарной продукции при улучшении ее качества.

Низкие удельные расходы электроэнергии на единицу работы или вырабатываемого продукта по сравнению с другими видами движущей силы, а также низкая себестоимость электроэнергии, получаемой от средних и крупных электростанций, в сочетании с повышением производительности труда и машин обеспечивает значительное снижение себестоимости продукции сельского хозяйства (табл.3.1.)

Кроме перечисленных основных трудоемких процессов, в животноводстве существуют работы, на которые в целом также расходуется много труда, а иногда сверх этого и живого тягла.

Одной из первых работ, охваченных электрификацией, была электрострижка овец. Помимо большой экономии труда, электрострижка сокращает сроки производства работ в 2 - 2,5 раза и увеличивает настриг шерсти (за счет более низкого и ровного среза) с каждой овцы от 0,1 до 0,4 кг, т.е. до 10%. Электрострижкой уже ох-

вачено более 98% всего поголовья овец, что позволило высвободить по всем колхозам несколько тысяч работников.

Широкое применение электрической энергии нашла в птицеводстве, главным образом в инкубации.

Экономическая эффективность электрификации в животноводстве

Таблица 3.1.

Виды работ	Снижение, %	
	Затрат труда	себестоим
Кормоприготовление (мойка, резка, дробление, мялка)	75-90	50-90
Комплексная механизированная кормокухня на 2100т в год	40	20
Электромеханическое доение по сравнению с ручным, в стойлах	22,5-27	6-17
На площадках	43-60	25-37
Электросепарирование молока (первичное)	60	57
Электрострижка овец	62	57
Электроподкачка с автоповлками по сравнению: с ручной доставкой воды на ферма с механическими двигателями	В 200-250 раз В 20-30 раз	

Применение электроэнергии в инкубации позволяет создать синхронно действующий автоматический процесс поддержания необходимой температуры с колебанием 0,1 °С и влажности воздуха в пределах 2%, вентиляции и поворота яиц через каждые два часа, что невозможно осуществить при других источниках энергии и движущей силы. В итоге, благодаря более ровному тепловому режиму и автоматическим устройствам, выход цыплят в электроинкубаторе составляет 80-85% вместо обычных 65-70%, что дает несомненные экономические преимущества сельскому хозяйству. Электроинкубация дополняется электрообогревом цыплят в бруде-

рах зонтичного типа, с поддержанием ровной температуры, что резко сокращает потери молодняка.

Электрическая энергия в силосовании кормов, во-первых, значительно ускоряет процесс и во-вторых, обеспечивает более интенсивное развитие и жизнедеятельность молочнокислых бактерий.

Таким образом, электрификация сельскохозяйственного производства обеспечивает улучшение всех экономических показателей сельского хозяйства.

3.2. Применение ВИЭ для электромеханизации работ в дехканских фермерских хозяйствах

В дехканском хозяйстве электроэнергию используют для привода механизмов и машин, на нагрев воздуха, воды и получения пара на технологические нужды, на водоподъем и местный обогрев молодняка, на освещение и т.д.

Автономное электроснабжение дехканского хозяйства должно обеспечивать возможность работы всего комплекса машин и оборудования. Поэтому из всего многообразия сельскохозяйственных энергопотребителей необходимо отобрать те, которые по своему энергопотреблению, производительности и другим техническим характеристикам могут использоваться в малотоннажном сельхозпроизводстве. Лишь затем, составив временной график энергопотребления, согласно принятой технологии проведения сельхозработ, можно определить необходимую мощность микроГЭС, либо другого автономного энергоисточника, для обеспечения таких хозяйств электроэнергией в разрезе технологических операций (рис. 3.1). В конечном итоге это позволяет провести и технико-экономическое обоснование целесообразности применения микроГЭС или других автономных источников электропитания. Поэтому рассмотрим подробнее оборудование, рекомендуемое для применения в мелкотоварном

Доение коров является важным процессом производства молока и характеризуется большими затратами труда. Правильность его выполнения в значительной мере обуславливает продуктивность коров и их здоровье. Количество коров, обслуживаемых оператором машинного доения зависит во многом от типа доильной установки. Для крупных ферм с поголовьем в сотни коров, давно и успешно применяются ши-

роко распространенные автоматизированные доильные установки типа «Тандем», «Елочка», «Карусель» и др.

В малых же и частных хозяйствах, имеющих от 10 до 50 коров, доильные установки только начинают находить применение. В таких хозяйствах для доения коров могут применяться доильные агрегаты типа АД 1 ООБ со сбором молока в переносные ведра производительностью 16-18 коров на дояра и способных обслужить стадо до 100 животных. Аналогичными характеристиками обладает и стационарный доильный агрегат ДАС - 2В. Потребляемая мощность 4 кВт. Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства совместно с НПП «Фемакс» разработал доильную установку, специально предназначенную для применения в фермерских хозяйствах и на малых фермах при привязном содержании 10-20-30-50 коров, позволяющую обеспечить механизацию доения в нетиповых помещениях с различными планировками и поголовьем коров.

Установка имеет новые экологически безопасные вакуумные насосы, доильные ведра из нержавеющей стали, устройства циркуляционной промывки доильных аппаратов (табл. 3.2).

Табл. 3.2

Технические характеристики	10 ...30 коров	30-50 коров
Количество доильных аппаратов шт	2-3	4-6
Производительность труда дояра	16-18	16-18
Установленная мощность, кВт	1,5	3,0
Количество дояров, чел	1	2

Изготавливают эти доильные установки в АО «Селижаровское РПТ» Тверской области, АО «Успенский Агромашпласт» Московской области России.

Первичную обработку молока (очистка и охлаждение) проводят с целью сохранения в свежем виде при хранении и доставки в пункты переработки или молочные заводы. В случае необходимости часть молока подвергают пастеризации и сепарированию. Сепаратор сливоотделитель ОСБ - 1000 предназначен для разделения цельного молока на сливки и обезжиренное молоко (обрат) с одновременной очисткой продукта от загрязнений. Он состоит из электродвигателя мощностью 0,55 кВт, приводного механизма, барабана и приемно-выводного устройства. Пропускная способность сепаратора 1000 л/ч. Продолжительность непрерывной работы до 1 ч. Содержание жира

Сбивание молока. Маслобойки малогабаритные ММБ-020 предназначены для получения сливочного масла путем сбивания сливок или сметаны в условиях личных, подсобных, крестьянских и фермерских хозяйств.

Отличительной особенностью конструкции является то, что в качестве емкости для сбивания масла используются стандартные съемные бидоны (фляги) объемом 10 и 40 л, которые могут использоваться и самостоятельно. Маслобойки могут иметь электрический или ручной привод (табл. 3.3).

Табл. 3.3.

Технические характеристики	
Производительность, кг на 1 загрузку	1,5
Потребляемая мощность, кВт	0,18 и 0,37
Время сбивания, мин	20-40
Выход масла, %	35-40

Охлаждение молока и сливок. Данные технологические операции могут производиться с помощью различного оборудования. Комплект оборудования ФОМ – 1,25 предназначен для фильтрации и охлаждения молока в условиях животноводческих ферм и фермерских хозяйств. Он может быть использован также для нагрева молока и обрат. Состоит из молокоприемного бака с сигнализатором уровня, центробежного насоса, проточного фильтра с фильтр - элементом из нетканного иглопробивного термоскрепленного полотна, пластинчатого теплообменника, соединительных труб и шкафа управления. Все узлы и детали, соприкасающиеся с молоком выполнены из кислотоустойчивой стали. Производительность в основном режиме до 1350 л/ час, расход охлаждающей воды в 3 раза больше по отношению к подаче молока. Установленная мощность молочного

Молокоохладительная установка СМ – 1250 предназначена для охлаждения и хранения молока на небольших фермах с суточным удоем не более 1200 л. В установку СМ – 1250 входят: холодильный агрегат блочного типа с автоматическим замораживанием льда, водосборник, молочный бак, мешалка и

Танк для охлаждения молока ТОМ – 2, ОА имеет ванну из алюминия. Температура молока поддерживается автоматически в пределах 6-7°C. Установленная мощность 2,57 кВт, хладопроизводительность холодильной машины 2,3 кВт.

Наконец, в небольших хозяйствах можно использовать бытовые холодильники необходимой вместимости.

Считается, что для 1 человека достаточно иметь холодильник объемом до 120 дм³. Для семьи из 2 чел нужен холодильник общей вместимостью 140-160 дм³. Холодильник вместимостью 180-240 дм³ рассчитан на семью из 3 чел. Для семьи из 4-5 чел рекомендуется холодильник вместимостью 260-300 дм³ типа «Минск-16», «Зил», «Памир».

Если семья приобретает холодильник большой вместимости (свыше 100 л), то лучше купить компрессорный холодильник. Он дороже абсорбционного, но потребляет значительно меньше электроэнергии. Холодильники абсорбционного типа мощностью 100 Вт, не имеющие терморегуляторов и поэтому работающие непрерывно, ежегодно расходуют (при постоянном включении) 875 кВт. ч электроэнергии.

Холодильник компрессорного типа той же мощности с терморегулятором потребляют электроэнергию из сети в течении 2-10 ч в сутки и расходуют в год не более 365 кВт.ч. электроэнергии. Следовательно, применение компрессорных холодильников позволяет экономить примерно 500 кВт.ч. электроэнергии.

Расфасовка молока в полиэтиленовые пакеты. Существуют небольшие автоматические установки для расфасовки молока в полиэтиленовые пакеты с последующей их запайкой, которые могут использоваться на небольших фермах и дехканских

В состав установки входят: объемный дозатор, центробежный насос и устройство запайки пакетов (табл. 3.4).

Табл. 3.4.

Технические характеристики	
Объем доз, м	250, 500, 1000
Производительность, пакет/час	до 300
Мощность привода, кВт	0,6

Установка изготавливается в АО «Поток» г. Калининград Московской области.

Приготовление кормов. Механизация этого процесса не только существенно облегчает труд животновода и повышает его производительность, но и позволяет получить корма высокого качества, обеспечивающие высокую продуктивность животных и качество получаемой продукции при снижении ее себестоимости.

Приготовление кормов повышает их усвояемость, сокращает расход энергии на жевание, предупреждает заболевания животных. В животноводстве применяют грубые, сочные и концентрированные корма, травяную и сенную муку, комбикорма и др. Каждый вид корма имеет свои специфические физико-механические свойства, поэтому для их обработки при приготовлении применяют различные машины.

Для дробления зерна целесообразно использовать малоэнергоёмкие дробилки типа КУ-Т-М, ДЗТ - 1, МБУ-Т-4 и др. Они потребляют мощность от 0,6 до 1,0 кВт.

Измельчение сена и соломы можно производить с помощью измельчителя СМ - 100 с установленной мощностью до 1,0 кВт.

Для измельчения корнеплодов можно применять измельчители ИК-100, МР-500, обладающие производительностью до 500 кг в час и имеющие установленную мощность 0,5кВт.

Для индивидуального дозирования и выдачи сыпучих кормов в кормушки с одновременным их увлажнением на фермах крупного рогатого скота (КРС) можно применять автоматизированный раздатчик кормов АКК-200.

Процессы загрузки корма заправки смачивающей жидкостью и раздачи кормов осуществляется автоматически без участия человека (табл 3.5).

Табл. 3.5.

Техническая характеристика	
Обслуживаемое поголовье, гол	До 200
Установленная мощность электродвигателей, кВт	0,86
Вместимость бункера М ¹	0,5
Вместимость бака м	0,25
Масса раздатчика, кг	450

Разработчики и изготовители: НПП «Фемакс» и ВИЭСХ (109456, Москва, 1 Вешняковский проезд 2.)

Транспортировка измельченной зеленой массы, сеной муки или грубых кормов на фермах крупного рогатого скота может осуществляться транспортером скребковым ТС-40 ОС (табл. 3.6).

При использовании транспортера зеленая масса, грубые корма и сеновая мука подаются в любые смешивающие и раздающие емкости, имеющиеся в хозяйствах.

Табл. 3.6.

Технические данные	
Производительность, М ³ ч. не менее	40
Масса, кг. не более	471
Установленная мощность, кВт	1,5
Габаритные размеры, мм	
длина	7335 ±31
ширина	690±4
высота	760±7

Выпускается ПО «Уманьфермаш» (г. Умань Черкасская обл.) Погрузочно-разгрузочные, транспортные, подъемные и другие работы в небольших фермерских, арендных и личных хозяйствах можно осуществлять с помощью электромеханической универсальной фермерской лебедки. Она позволяет производить операции как с сыпучими, так и волокнистыми материалами, такими как корма, навоз, удобрения, песок, грунт, уголь и др.

В зависимости от перемещаемого груза используются соответствующие рабочие инструменты – сменные приспособления (лопата, вилы, ковш, мини-контейнер). В состав лебедки входят: электродвигатель с передаточным механизмом, барабан с тросом, ручной механизм отключения барабана, а также набор сменных рабочих инструментов (табл. 3.7).

Табл. 3.7.

Техническая характеристика	
Длина троса на барабане, м	15
Тяговое усилие, Н	500...600
Мощность привода, кВт	1,1

Изготавливается на заводе «Альтаир» (150060, Ярославль, Ленинградский пр. 121)

Нагрев воды. Электрический бытовой водонагреватель предназначен для обеспечения горячей водой населения в домах, не имеющих централизованного горячего водоснабжения, а также, в помещениях, где применение газовых и подобных им аппаратов нежелательно или невозможно. Наиболее удобны для использования в домашних условиях емкостные (непроточные) теплоаккумулирующие водонагреватели, рассчитанные на нагрев и сохранение горячей воды в течение длительного промежутка времени. Такой водонагреватель представляет собой теплоизолированный метал-

личный бак, в котором размещаются электронагревательный элемент и устройство для регулирования или ограничения температуры воды. Вместимость бака обычно выбирается исходя из дневной потребности в горячей воде. Например, емкость водонагревателя для кухонных нужд (главным образом, для мытья посуды) составляет 7-10 л, а для душа и ванной 80-150 л. Вода в баке нагревается электронагревательными элементами вследствие естественной конвекции. Скорость нагрева зависит от вместимости бака и мощности нагревателей.

Для бытовых нужд выпускают унифицированные емкостные водонагреватели серии УНС, вместимостью 10 л (для кухни) и 40, 60 и 100 л (для душа и ванн). В этих водонагревателях установлен единый для всей серии нагревательный элемент мощностью 1,25 кВт, который подключается к сети с напряжением 220 В.

С точки зрения экономичности представляют интерес электронагреватели типа ЭВАН. Водонагреватель типа ЭВАН 5/1,25 является прибором аккумуляторного типа низкого давления. Он обеспечивает горячей водой семью из 2-4 чел. для всех бытовых нужд. Время нагрева воды от 15 до 85 °С составляет не более 20 мин. Наличие бесступенчатого регулятора температуры позволяет регулировать температуру воды.

Для нагрева больших количества воды, например, для подсобного хозяйства, целесообразно приобрести емкостные теплоаккумулирующие электронагреватели типа ЭВАН-100 либо ЭВАО-100. Этот водонагреватель нагревает 100 л воды до температуры 85 °С, а затем автоматически отключается. За счет специальной теплоизоляции вода длительное время будет оставаться горячей и ее можно использовать на самые различные нужды. Мощность ЭВАН 1,25 кВт, длительность нагрева около 8 часов. Это сделано умышленно, чтобы включать этот нагреватель ночью, когда в сети имеется избыток электроэнергии.

Еще больший объем нагреваемой воды обеспечивает электроводонагреватель универсальный ЭВНУ-6 проточного типа, предназначенный для нагрева воды в системах технологического горячего водоснабжения и отопления производственных и бытовых помещений на малых фермах, в фермерских и индивидуальных хозяйствах (табл. 3.8).

Таб.3.8.

Техническая характеристика	
Мощность, кВт	6
Емкость, л	12
Температура нагреваемой воды, °С:	
На технологические нужды	75
На отопление	До 90
Масса, кг	12

Выпас коров и овец. Электроизгороди типа ИЭ-200; ЭИП-2-1; ЭНС-2-5 предназначены для огораживания удаленных от ферм пастбищ в летний период во всех зонах животноводства. Максимально огораживаемая площадь составляет 4 га, длина проволоки – 800 м, количество стоек 55. Источником электропитания служит солнечная фотоэлектрическая батарея мощностью 2 Вт и 6 гальванических элементов 373. В течении светового дня электроизгородь может работать только от

Освещение. В качестве электрических источников тока в сельском хозяйстве используют лампы накаливания, люминесцентные и газоразрядные лампы. Надо отметить, что между отдельными источниками света существует большая разница в их эффективности, т.е. световой отдаче, измеряемой в люксах на ватт мощности:

Лампа накаливания	12
Галогенная лампа	22
Люминесцентная лампа	55
Ртутная лампа высокого давления	55
Галогенная лампа высокого давления	80
Натриевая лампа высокого давления	95

Лампы накаливания являются традиционными и широко применяемыми источниками света. В бытовых осветительных приборах используются лампы накаливания мощностью от 15 до 300 Вт, рассчитанные на напряжение 220 или 127 В.

Наиболее совершенные источники света, нашедшие широкое применение – это люминесцентные лампы, имеющие по сравнению с лампой накаливания в 4-5 раз более высокую световую отдачу и 5-8 раз больший срок службы. Так, светоотдача люминесцентной лампы 20 Вт равна светоотдаче лампы накаливания 150Вт.

Стрижка овец. Механизация стрижки овец облегчает труд, повышает его производительность в 3...5 раз по сравнению с ручной, увеличивает настриг шерсти на 8... 13% за счет более низкого и ровного среза, улучшает качество шерсти. При работе ножницами опытный стригаль может остричь 15-20 овец, а при машинной стрижке – 60 и более овец в день.

Тонкорунных и полутонкорунных овец стригут один раз в год – весной, грубошерстных и полугрубошерстных два раза – весной и осенью. Овец романовской породы стригут три раза – весной, летом и осенью.

Для стрижки овец используют унифицированные агрегаты ЭСа-1, ДЭСа-1/200 И, ЭСа - 6/300 и МСУ-200. Агрегат ЭСа-1Д применяют для стрижки стада до 500 голов. Он состоит из машинки для стрижки овец МСО-77Б, гибкого приводного вала ВГ-10 с арматурой, подвесного электродвигателя мощностью 0,12 кВт, пускателя. Производительность агрегата 8 овец в час.

Агрегат ЭСа-6/200 предназначен для стрижки овец и верблюдов на стригальных пунктах и в полевых условиях. В его состав входят шесть высокочастотных электростригальных машинок МСУ-200В, преобразователь частоты тока С-5 72 А, точильный аппарат ДАС-3 50 и переносной электрический шнур. Преобразователь частоты тока преобразует ток с первичным напряжением 220/380 В и частотой 50 Гц в ток напряжением 36 в и частотой 200 Гц. Длина шнура машинки 15 м. Обслуживают агрегат наладчик, шесть стригалей, один рабочий и точильщик. Производительность при стрижке овец 50...60, верблюдов 4,5 гол/ч. Потребляемая мощность 1,2 кВт.

Стригальная машинка МСУ-200 состоит из стригальной головки, электродвигателя и токобезопасного шнура питания. Стригальная головка включает в себя корпус, редуктор, передаточный и нажимной механизмы и режущий аппарат.

Трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором электродвигатель имеет алюминиевый обдуваемый корпус с ребрами охлаждения. Мощность электродвигателя 130 Вт, напряжение 36 В. Ширина захвата машинки 76,8 мм, число двойных ходов ножа в минуту 2200, масса машинки без шнура 1,55 кг; со шнуром длиной 2,5 м – 2,5 кг.

Выведение цыплят. Существует большое количество различных типов инкубаторов. Наиболее приемлемыми для дехкан-

ского хозяйства являются инкубаторы вместимостью до 50-100 яиц. Их потребляемая мощность составляет 150-200 Вт. Работает сезонно 24 дня в году. Температура поддерживается автоматически, циркуляция воздуха осуществляется центробежным вентилятором, влажность воздуха поддерживается испарением воды из специальных ванночек.

Дезинсекция насекомых. Можно использовать электрический дезинсектор типа ЭД-1. Он предназначен для уничтожения вредных насекомых (мух, комаров, бабочек белокрылок и др.) в производственных помещениях мясомолочной и пищевой промышленности, животноводческих ферм и других объектов. После включения в сеть переменного тока ДД-1 начинает привлекать своим светом определенного спектра насекомых, которые попадают в электроловушки и сгорают. Он позволяет отказаться от применения токсичных и дорогостоящих химикатов, не имеет отрицательного влияния на продукты, животных, людей и окружающую среду, также может использоваться как дежурное освещение помещений в ночное время.

Технические характеристики ДД-1.

Потребляемая мощность, Вт	150
Габаритные размеры, мм	700 x 250 x 550

Дезинфекция животных и помещений

Портативная электрическая дезинфекционная установка ДУБ предназначена для дезинфекции и дезинсекции животноводческих помещений путем опрыскивания или обмывания шерстного покрова животных.

Подача насоса 15... 20 л/мин при давлении 0,2...0,4 МПа.

Мощность электродвигателя 0,6 кВт.

Бактерицидный потолочный облучатель ОБП предназначен для обеззараживания воздуха в помещениях, а также для предохранения от микробного заражения. Потребляемая мощность одного излучателя до 40 Вт. При его применении обеспечивается снижение концентрации в воздухе патогенных микроорганизмов (гемолитического стрептококка, кишечной палочки).

Обеззараживание воздуха бактерицидными лампами проводят в присутствии животных. Установленная мощность ламп должна быть 0,75... 1 Вт на 1 м³ помещения.

Облучатель ОЭИ-500 включает две лампы типа ИКЗ-220-250.

Ультрафиолетовые облучатели применяют для ликвидации у животных и птицы солнечного голодания, что позволяет увеличить сохранность молодняка и уровень продуктивности.

Эти излучения обладают антирахитным действием (под действием излучения вырабатывается витамин Д), поэтому их применяют также для профилактического и лечебного воздействия на животных.

3.3. Применение ВИЭ для энергообеспечения пчеловодческого оборудования

Природный рельеф и растительный покров Узбекистана характеризуются четко выраженной поясностью и подразделяются на четыре специфические зоны: пустынную, полупустынно-оазисную, предгорную и горную. Первые две зоны обладают ровным рельефом почвы и дефицитом гидроэнергетических ресурсов не представляется возможным. Зона предгорий достаточно, населенная, имеет большое количество садов и приусадебных насаждений очень богата медоносными растениями. К этой зоне можно отнести многие районы Ташкентской, Самаркандской, Сурхандарьинской, Ферганской, Андижанской и Наманганской

Горная зона характеризуется еще большим количеством медоносных растений, ботанический состав которых разнообразнее, чем в предгорьях. Она обладает ярко выраженным рельефом полей, большим количеством малых водотоков, ручьев и рек огромным запасом гидроэнергетических запасов и является наиболее привлекательной для применения микро ГЭС. В этой зоне целесообразно применять стационарные пасеки.

В Узбекистане пчеловодство в основном развито в хлопкосеющих районах, расположенных во второй и третьей зоной (90% пасек). Эти пасеки в основном кочевые. Около 10% пасек (около 15 тыс. пчелиных семей) являются стационарными и расположены в горах и предгорьях, там, где имеются подъездные пути для колесного транспорта. Медоносная флора Западного Тянь-Шаня позволяет содержать свыше 100 тыс. пчелиных семей и получать ежегодно тысячи тонн высококачественного меда. Однако эти возможности практически не используются, из-за бездорожья и отсутствия централизованного электроснабжения. В то же время в пчеловодстве для проведения таких трудоемких процессов, как ремонт медо-

вых рамок, распечатывание сотов и извлечение из них меда существует различное электрооборудование, часть из которого представлена в таблице 3.9.

Для оснащения рамок проволокой наиболее удобно использовать станок для сверления отверстий в боковых планках ульевых рамок, а для наващивания рамок, то есть для крепления искусственной вошины к рамкам, приспособление для электронаващивания рамок ПЭР (рис. 3.2).

Для распечатывания сотов наиболее пригоден вибронож с электрическим нагревом лезвия ВЭ, с помощью которого пчеловод затрачивает, на распечатку сот примерно 30 сек. Для откачивания меда на малых пасеках, имеющих до 100 пчелосемей, предназначены радиальные медогонки МР-50А и М-8/32 и М-8/32 РЭ. В зависимости от температуры и вязкости меда продолжительность откачивания составляет 6-12 мин.

Применение ВИЭ позволяет изменить всю технологию ведения горного пчеловодства. Это достигается за счет следующих факторов.

Во-первых, наличие автономного энергообеспечения позволяет механизировать наиболее трудоемкие технологические операции откачивание меда, распечатка сот, переработка воскового сырья, наващивание ульевых рамок и т.д. Это не только повышает производительность труда, но и делает горное пчеловодство привлекательным бизнесом.

Во-вторых создание комфортных бытовых условий позволяет создавать стационарные пчеловодческие населенные пункты даже в тех труднодоступных местах, где отсутствуют подъездные пути для колесного транспорта.

В-третьих, появление возможности освоения угодий в любых доступных выючному транспорту (лошади и ослы) местах, что не только расширяет ареол высокоэффективного пчеловодства, но и дает новые возможности развитию частного и малого бизнеса.

В-четвертых, наличие электрической энергии существенно улучшает условия содержания пчелиных семей не только в период медосбора, но и в холодное зимнее время. Это приводит к улучшению качественного состава пчелиных семей на пасеках и увеличению медосбора.

Таким образом, создание автономных энергоисточников на базе ВИЭ позволяет применять в горном пчеловодстве современное оборудование и механизацию, создавать нормальные бытовые ус-

ловия жизни пчеловодам, улучшить уход за пчелами, повысить производительность.

Машины и оборудование для пчеловодства

Табл. 3.9.

№	Наименование	Марка	производительность	Установленная мощность, Вт
1. Наващивание рамок				
1	Станок сверления отверстий в боковых планках ульевых рамок		Не мене 700 рамок/ч	180
2	Приспособление для электронаващивания рамок	ПЭР	120 рамок/ч	30
2. Приготовление кормов				
3	Микромельница молотковая для	М-8М	125 кг/час	4600
4	Шкаф для сушки пыльцы	ШСП	30 кг/сут	1250
3. Распечатывание сотов, откачивание меда				
5	Вибронож с электрическим нагревом лезвия	ВЭ	110 рамок/час	5000
6	Медогонка хордиально-рахиальная	М-4/32РЭ	60-130 рамок/час	0,2 (22С)
7	Медогонка радиальная на 50 рамок	МР-50А	100 рамок/час	0,4
8	Установка электрокалориферная для подогрева меда перед откачкой	-	150 рамок/час	5000
9	Насос винтовой для перекачки меда	НРМ-5	1 т/час	1000

4. Переработка воскового сырья				
10	Воскотопка для переработки воскосырья с электронагревом	ВТ-ПМ	25 кг/час	2000
11	Воскотопка паровая	ВТП	4 кг/час	1000
12	Воскотопка-воскопресс	ВВ	10 кг/час	2000
13	Центрифуга фильтрующая	КП-215-1	60 кг/смена	4000
5. Оборудование для профилактики и борьбы с болезнями пчел				
14	Термокамера для борьбы с варроатозм пчел	-	4 пчелосемьи в час	1000
15	Установка дезинфекционная газокамерная для дезинфекции сотов	-	300 рамок/сут.	2200
6. Вспомогательное оборудование				
16	Инкубатор для маточников	-	100 маток/сутки	150
17	Дырокол пасечный	дкп	320 рамок/час	-
18	Станок для извлечения прополиса из холстиков	СИП-55	250г/сут.	800



Рис. 3.2. Солнечная фотоэлектрическая установка: солнечная батарея, аккумулятор, электронный таймер-регулятор.

3.4. Автономное энергообеспечение электробытовых приборов

При автономном энергообеспечении необходимо особое внимание уделять на экономичность работы электробытовых приборов. С одной стороны, энергетические характеристики электротехнических изделий являются одним из определяющих показателей уровня совершенства бытовой техники, а с другой стороны определяют требования к мощностным и стоимостным характеристикам источника их энергообеспечения, в том числе и к автономным энергоисточникам.

В табл. 3.8. приведен перечень электрооборудования для бытового обустройства дехканского хозяйства с указанием периодичности и примерного среднесуточного времени их работы. Приведем некоторые рекомендации по выбору энергоэкономичного бытового электрооборудования и дадим качественную оценку его энергопотребления.

Плита электрическая обычно имеет переключатели мощности, обеспечивающие от одной до семи ступеней нагрева. Мощность одноконфорочных электроплиток 0.8-2.6 кВт, двухконфорочных 1.8-3 кВт. Наиболее эффективны и совершенны электроплитки с трубчатыми конфорками: такие конфорки долговечны, а их спиральная форма обеспечивает хороший контакт с дном посуды.

Печь микроволновая более экономична и используется для быстрого приготовления пищи, подогревания готовых блюд и размораживания продуктов. Используемый в микроволновой печи принцип нагрева электромагнитными колебаниями сверхвысокой частоты обеспечивает не только высокие вкусовые качества блюд, но и полностью сохраняет витамины. Потребление энергии от 0,5 до 2,0 кВт в зависимости от объема камеры. Хорошая энергетическая совместимость с возобновляемыми энергоисточниками малой мощности делает эти, нетрадиционные для узбекской кухни, печи очень перспективными.

Кипятильник погружной – обычно трубчатый электронагревательный элемент, предназначенный для кипячения небольшого количества воды (до 10л). Выпускаются кипятильники мощностью от 0,3 до 2 кВт. стакан воды нагревается до 90 °С кипятильником мощностью 0,3 кВт за 5 мин, а 7 л воды кипятильником мощностью 2 кВт за 30 мин.

Эти кипятивники имеют высокий КПД (98%), что определяет минимальный расход электроэнергии по сравнению с другими типами электроприборов для кипячения воды.

Холодильник является энергоемким прибором. Поскольку холодильники постоянно включены в сеть, они потребляют столько же, и даже больше энергии, чем электроплиты, так компрессорный холодильник (в зависимости от объема) потребляет 250-450 кВт.ч в год, а абсорбционный – 500-1400 кВт.ч в год.

По потребляемой мощности современные однотипные холодильники мало отличаются друг от друга. Значительно больше экономичность холодильника зависит от режима его работы, обусловленного частотой пользования и соблюдения правил эксплуатации. Это же относится и к морозильникам, наиболее приемлемыми, из которых является ММ - 163/16 и аналогичные, имеющие объем загрузки до 20 кг и обеспечивающих температуру замораживания до 18 °С.

Стиральные машины выполняют самые трудоемкие процессы в домашнем хозяйстве. Наиболее экономичными с точки зрения потребления электрической энергии является автоматические машины, включение и выключение которых производится строго по программе.

Вместе с тем возникает необходимость стирки небольшого количества белья. Для этих целей следует иметь малогабаритную стиральную машину. «Малютка», которая занимает мало места, стирает быстро и чисто, а энергии потребляет не более чем лампочка в 200 Вт. Объем одной заправки машины «Малютка» – 2 кг сухого белья.

Бытовые кондиционеры служат для создания и автоматического поддержания в закрытых помещениях температуры и влажности. Выпускается большое количество кондиционеров, рассчитанных кондиционированию помещений площадью до 25; 30; 35 м² и более. Их производительность по воздухообмену составляет 700, 750; 1000 м³/час и более. Потребляемая мощность в наиболее совершенных кондиционерах фирмы ДЭУ от 500 Вт и более.

Мощность остальных электроприборов либо весьма мала, либо режим их работы эпизодический, т.е. они имеют малое энергопотребление в течение года, что позволяет не учитывать их при определении мощностных характеристик автономных

Глава 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

4.1. Типы и классификация малых и микро ГЭС

В настоящее время нет единой общепризнанной классификации микроГЭС. Так в общем к МГЭС относят ГЭС мощностью до 100 кВт, в то время как разработаны и используются МГЭС значительно меньшей мощности, до 1 кВт. Поэтому это усложняет анализ научно-технической литературы, и главное оценку гидроэнергетического потенциала малых рек и водотоков, а также объемов капитальных вложений. Вследствие этого иногда невозможно сопоставлять принципиально новые конструктивные и технические решения, экономические и экологические показатели, сравнивать и оптимизировать конструктивные параметры гидросилового и энергетического оборудования. В качестве показателей используются один или несколько факторов. Например, в США к малым ГЭС иногда относят гидроэлектростанции с плотиной до 20 м, мощностью до 1 МВт и водохранилищем емкостью до 18,5 млн м³. В большинстве же стран основным признаком является только мощность ГЭС. Наиболее часто встречается ограничение в 5 МВт. (Австралия, Испания, Индия, Франция, ФРГ, Китай, ряд авторов в США и другие страны.). В то же время есть страны, где к малым ГЭС относят установки мощностью до 1,0-1,5 МВт, (Италия, Норвегия, Швеция, Швейцария), а в Новой Зеландии предельная мощность малых ГЭС

Иногда малые ГЭС в свою очередь, делят на три группы: микроГЭС мощностью до 50-100 кВт, миниГЭС – от 50-100 кВт до 1 МВт и, соответственно, малые ГЭС мощностью до 1,0-5,0 МВт.

Отсутствие единого подхода к определению малых ГЭС объясняется многими факторами, в том числе и различиями в местных условиях, лицензионной процедурой для получения разрешения на строительство ГЭС и денежных средств, получаемых в виде займов и кредитов.

К настоящему времени существенно изменился подход к понятию ГЭС. Критерием, по которой принято сегодня характеризовать ГЭС, как малую, является, в основном, мощность.

До 1984 г. в СНГ к малым относили ГЭС мощностью до 10 МВт. В 1984 г. предельная мощность малой ГЭС была увеличена до 30 МВт. Естественно, что это значительно расширяет как масштабы развития малой гидроэнергетики, так и ее потенциал.

В настоящее время к малым ГЭС относятся станции мощностью до 30 МВт с мощностью единичного агрегата от 1 до 10 МВт и диаметром рабочего колеса турбины до 3 м. Эти же параметры мощности электростанции и агрегата были приняты для тепловых, дизельных и прочих электростанций. К микроГЭС относятся гидроагрегаты мощностью до 100 кВт. Это очень большой диапазон, для охвата которого необходимо использовать принципиально разные конструкции турбин: реактивно-прямоточные до мощностей 3 кВт; активные поперечно-струйные для средних мощностей и активно радиальные наклонно-струйные для больших мощностей. Различные технико-экономические показатели, существенно зависящие от мощности ГЭС, и вследствие этого различие в массо-габаритных и эксплуатационных характеристиках определяют необходимость разработки более детальной классификации микроГЭС. Так исходя из потенциальной возможности малых водотоков можно выделить:

1. Рукавные микроГЭС — до 3 кВт. Они находят применение как переносные, в основном, сезонные энергоисточники, использующие низкопотенциальную энергию свободного потока малых водотоков и ручьев (рис 4.1).

2. Деривационные микроГЭС — до 6 кВт. Эти микроГЭС также транспортабельны, а подвод воды к гидротурбине осуществляется специальным водоводом (трубопровод, канал или туннель). Используемые для них перепады водотоков более 2м. Строительства водозаборных сооружений не требуется.

3. Стационарные микроГЭС — до 100 кВт. Предназначены для электроснабжения крупных объектов и могут работать как при отсутствии, так и совместно с сетями централизованного электроснабжения.

В горных районах следует целесообразно применять деривационные МГЭС (деривация — совокупность сооружений осуществляющих подвод воды водоводом (трубопроводом, каналом и тонне-

лем) к гидротурбине. Применение деривационных схем обусловлено большими уклонами водотоков в горной местности и соответственно короткими деривационными сооружениями, не требующими крупных капиталовложений. Кроме того, паводки и селевые потоки не разрушают такие ГЭС, чем обеспечивается длительный срок их эксплуатации.

4.2. Типы гидротурбин и их расчет

В зависимости от вида энергии, используемой в рабочем колесе турбин, последние делят на два класса: реактивные и активные.

Реактивные турбины используют кинетическую и потенциальную части энергии воды. У этих турбин рабочее колесо вращается в сплошном потоке (рис.4.1). Преимущества данных турбин – сравнительно небольшая удельная масса и возможность использования простого передаточного механизма. Наилучшие их показатели достигаются в зоне малых напоров и больших расходов

Активные (свободноструйные) турбины отличаются от реактивных тем, что в них рабочее колесо вращается под воздействием свободной струи, обладающей кинетической энергией и имеющей одинаковые давление при входе на рабочее колесо и на выходе из него (рис. 4.2). Для этого в активных турбинах применяют два основных элемента: сопло, преобразующее энергию давления воды в кинетическую струю, и рабочее колесо, преобразующее кинетическую энергию воды в механическую за счет изменения моментов количества движения.

Малые гидроэлектростанции, особенно низкой мощности, часто испытывают перегрузки при включении крупных асинхронных двигателей. Активные турбины в отличие от реактивных такие перегрузки выдерживают, не останавливаясь, и только немного снижают число оборотов. Наилучшие показатели турбин этого класса достигаются в зоне малых расходов и больших напоров

Из множества типов активных и реактивных турбин наиболее эффективные их типы в условиях горных рек могут выбираться из данных, приведенных на рисунке 4.3.

Так, например, в зоне 1 с расходом воды до $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ и мощности ГЭС более 10 кВт целесообразно применять прямоточные реактивные турбины (см. рис. 4.3). Ограничение по расходу приводит к экономической нецелесообразности применения других типов тур-

бин, а по мощности – невозможность пуска крупных электродвигателей.

Прямоточная турбина представляет собой цилиндр, в котором помещен вал с крыловидными лопатками, напоминающими гребной винт корабля. Вал турбины проходит через стенку цилиндра и соединяется с генератором. Частота вращения турбины в рассматриваемом диапазоне напоров и расходов – $60 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$. При помощи редуктора скорость можно увеличить до $1000 \dots 1500$.

Прямоточная турбина относится к обратимым машинам, которые выпускаются промышленностью серийно в качестве осевых насосов, поэтому турбина не требует налаживания нового производства.

Характеристика работы турбин видна из примеров, приведенных на рисунке 4.4 и 4.5.

Из рисунка видно, что наивысший КПД турбина с заданным углом лопаток имеет на сравнительно узком участке напоров и расходов.

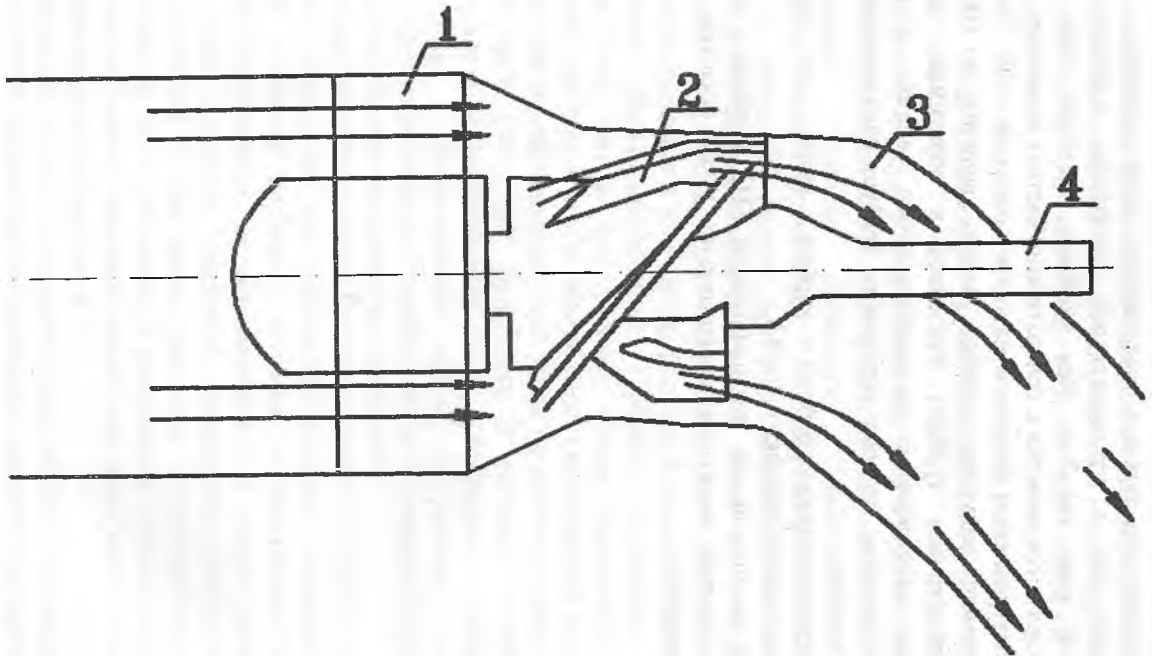


Рис. 4.1. Реактивная прямоточная турбина. 1- направляющие лопатки; 2- турбина; 3- отводящая труба; 4- вал турбины (вывод к генератору)

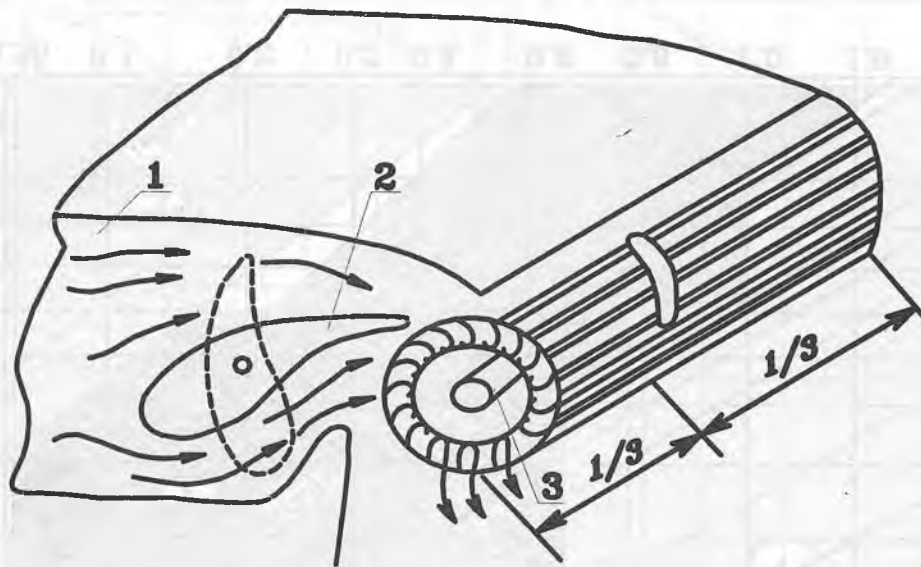


Рис. 4.2. Активная поперечно-струйная турбина. 1- напорный водовод; 2- затвор; 3- рабочее колеса.

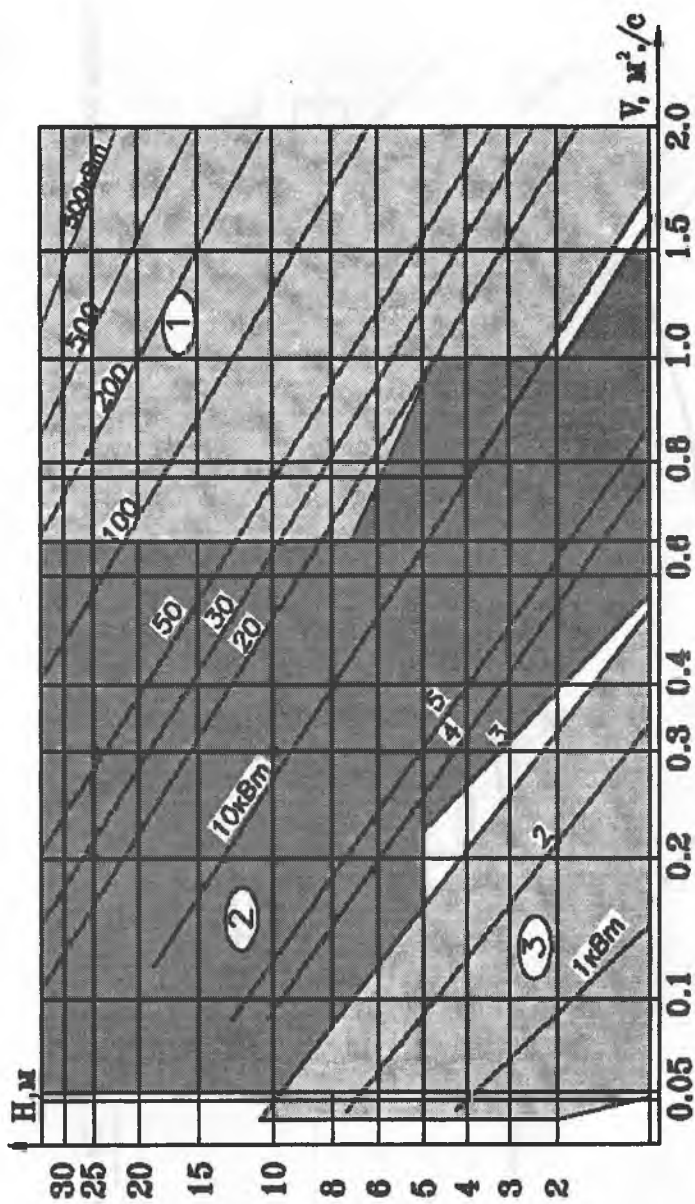
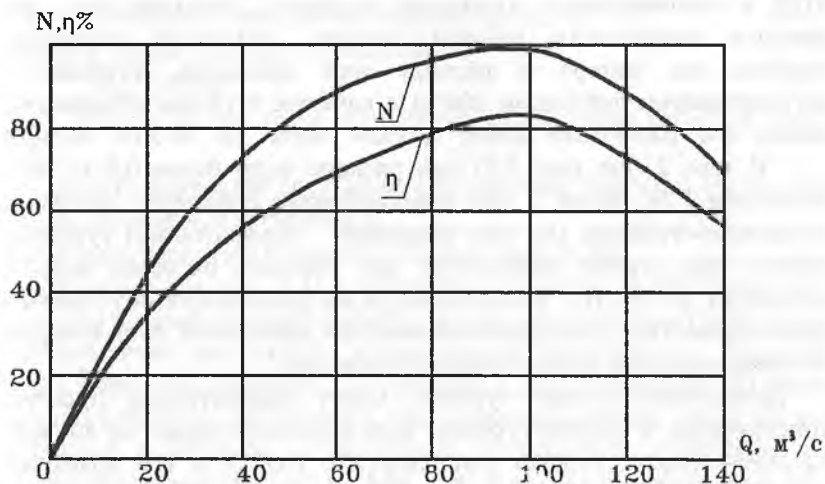
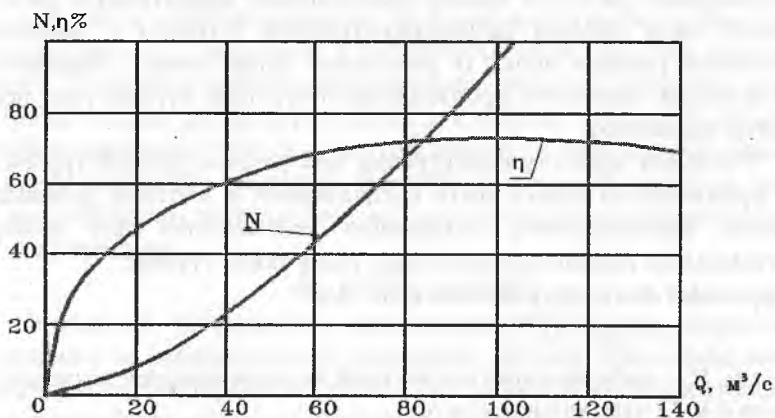


Рис. 4.3. График работы турбин для малых сельских ГЭС. 1 - зона прямоточных турбин; 2- зона поле- речно- струйных турбин; 3- зона наклонно-струйных турбин.



N – мощность турбины; Q – расход воды; η – КПД гидротурбины.
 Рис. 4.4. Характеристика работы реактивной прямоточной турбины.



N – мощность турбины; Q – расход воды; η – КПД гидротурбины.
 Рис. 4.5. Характеристика работы активной поперечно-струйной турбины.

Отклонение от этого участка приводит к резкому снижению КПД и соответственно мощности турбины. Учитывая это, для каждого конкретного объекта следует тщательно подбирать турбины по напору и расходу или применять турбины с регулируемыми лопатками. Когда в качестве турбины используют насос, его расчетный напор должен быть на 20-30% больше

В зоне 2 (см. рис. 4.3) при расходе воды более $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ и мощности ГЭС более 3 кВт целесообразно применять активные поперечно-струйные (их еще называют – двукратными) турбины. Работа этих турбин экономична при больших расходах воды и мощности до 30 кВт. Экономичность их применения обусловлена необходимостью пуска наиболее мощных двигателей, пуск которых не обеспечивается прямоточными турбинами.

Поперечно-струйная турбина имеет сравнительно простую конструкцию. У данной турбины вода дважды попадает на лопасти рабочего колеса, отдавая ему энергию. Скорость его вращения составляет $100 \dots 1000 \text{ мин}^{-1}$. При необходимости ее можно увеличить, применяя редукторы.

Турбину обычно делят на две части величиной $1/3$ и $2/3$ ширины рабочего колеса. В зависимости от дебита реки открывают на $1/3$ рабочего колеса, на $2/3$, или полностью. Такое деление и подключение рабочего колеса обеспечивает эффективную работу одного типа размера поперечно-струйной турбины в широком диапазоне расхода воды. В результате существенно облегчается организация серийного производства этого типа турбин (оно пока еще не налажено).

Учитывая простоту конструкции поперечно-струйной турбины, ее производство может быть организовано в местных условиях. Можно рекомендовать следующие соотношения для выбора оптимальных параметров основных узлов таких турбин:

Наружный диаметр рабочего колеса, м

$$D \approx \sqrt{Q / \sqrt{H_c}},$$

где H_c – действующий скоростной напор в середине выходного сопла в м; Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

ширина (м) рабочего колеса

$$B = Q / 0,42D \sqrt{H_c},$$

где B делится на две части; $1/3 B$ и $2/3 B$;
частота вращения рабочего колеса (мин^{-1})

$$n = 30 \sqrt{2gH_c} / \pi D,$$

где g – ускорение свободного падения ($g=9,81 \text{ м/с}^2$);
ширина направляющего аппарата, м

$$B_{н.а} = 0,8B$$

(она делится на две части соответственно делению рабочего колеса);

высота направляющего аппарата в чистом виде (без учета площади, занимаемой затвором), м

где ϕ – коэффициент скорости (обычно равен 0,98).

В зоне 3 (см. рис. 4.3) и мощности ГЭС менее 3 кВт (используется для кочевых условий работы) поперечно-струйные турбины уж неприемлемы из-за массы, превышающей допустимую. Для этой зоны требуются турбины, сочетающие в себе преимущества реактивных (работают все лопатки, что позволяет снизить удельный вес турбины) и активных (способность выдерживать перегрузки от пуска электродвигателей) турбин. Для этого созданы активные специальные радиальные низконапорные наклонно-скоростные струйные турбины (рис. 4.6), позволяющие получить заданную частоту вращения без промежуточного редуктора. У этих турбин вода из гибкого напорного водовода подается в центр направляющего аппарата, снабженного по всей окружности лопатками. Входная и выходная части лопатки изогнуты по дугам окружности и образуют соответственно с выходной и входной частями соседних лопаток сопла. Такое исполнение направляющего аппарата позволяет формировать скоростную струю потока для рабочего колеса на сравнительно коротком участке и соответственно создать направляющий аппарат небольших размеров. Наличие же поворота струи не приводит к большим потерям энергии, так как скорость потока относительно невелика.

$$H_{н.а} = Q / b_{н.а} \phi \sqrt{2gH_c}$$

Указанное выполнение направляющего аппарата позволяет применять на рабочем колесе наклонные лопатки, обеспечивающие заданную частоту вращения колеса без промежуточного редуктора, что нельзя было сделать в поперечно-струйной турбине.

После выбора гидротурбины и определения основных параметров приступают к выбору генератора.

4.3. Асинхронные электрогенераторы для микро ГЭС

Гидрогенераторы предназначены для преобразования механической энергии турбины в электрическую. На малых ГЭС в качестве генераторов получили распространение машины переменного тока.

Гидрогенератор является составной частью единого энергетического агрегата гидроэлектростанции, в котором узлы и детали генераторов и турбин конструктивно и технологически взаимосвязаны.

В качестве гидрогенераторов на малых ГЭС применяют синхронные машины. Из основных конструктивных узлов и электрических параметров у этих машин существенно различаются роторы, устройства возбуждения и способы достижения заданных параметров электрического тока.

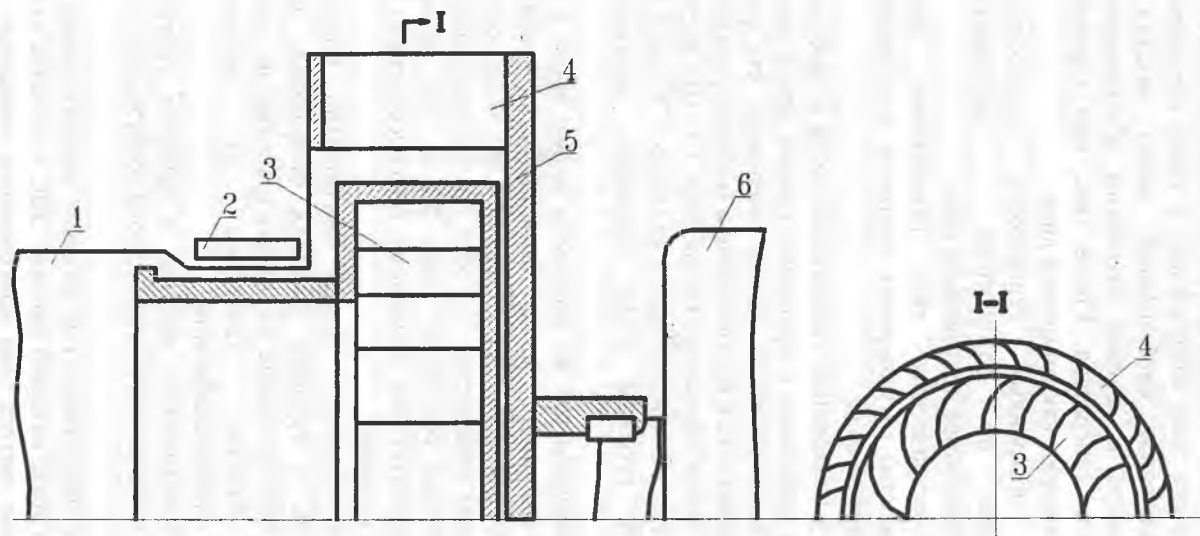


Рис. 4.6. Активная радиальная наклонно-струйная турбина.

1-гибкий напорный водовод; 2- соединительный хомут; 3- лопатки направляющего аппарата; 4-лопатки рабочего колеса; 5-рабочее колесо; 6- генератор.

В работе синхронного генератора ротор является индуктором, образующим магнитное поле возбуждения, а также одновременно вентилятором создающим необходимый напор воздуха для охлаждения генератора, и, наконец маховиком, обеспечивающим устойчивость работы генератора. Кроме того, при торможении агрегата ротор используют как тормозной диск.

Возбуждение синхронных генераторов осуществляется постоянным током от возбудителя — дополнительно устанавливаемого генератора постоянного тока.

Параметры электрического тока (напряжение, частота, коэффициент мощности) регулируются системой возбуждения и количеством подаваемой воды.

В то же время у синхронных генераторов ротор и возбудитель являются наиболее сложными и крупными узлами, масса которых достигает 50% и более от общей массы генератора, что создает значительную трудоемкость в изготовлении и монтаже синхронных машин. Например, масса генератора мощностью 100 кВт достигает 1400 кг. Учитывая это, в последнее время на малых ГЭС как у нас в стране, так и за рубежом стали применять асинхронные генераторы.

Асинхронные машины той же мощности имеют массу в 2-2,5 раза меньшую. Например, масса асинхронного генератора мощностью 100кВт достигает всего 420 кг. При использовании асинхронной машины мощностью 1,5 кВт на транспортабельной ГЭС масса энергоблока составляет всего 50 кг. Это позволяет устанавливать ее вручную (без подъемных приспособлений) двум рабочим в кочевых условиях.

Применение асинхронных машин значительно упростило монтаж малых ГЭС в трудных условиях бездорожья горной местности и стало способствовать их распространению на сельскохозяйственных объектах, удаленных от источников централизованного электроснабжения.

Использовать асинхронную машину в качестве генератора позволило наличие специального конденсатора возбуждения 3 (рис. 4.6).

Конденсаторы с индуктивностью создают колебательный контур электрического тока, который наводит ЭДС в обмотке статора машины. Получаемая частота тока асинхронного генератора зависит от емкости конденсаторов, частоты вращения ротора и мощ-

ности асинхронной машины. Реактивную мощность конденсаторных батарей можно приближенно принять равной 55% расчетной активной мощности электрического генератора. Более точно емкость конденсатора для каждого типа машин находят экспериментальным путем.

Помимо сравнительно небольшой массы, другим преимуществом асинхронных генераторов является, резкое снижение или отсутствие напряжения при перегрузках и коротких замыканиях, то есть асинхронным машинам не требуется установка защитной аппаратуры.

По эксплуатационным показателям асинхронные генераторы надежнее в работе, требуют меньшего объема ремонтных и профилактических работ.

Техническое обслуживание асинхронных генераторов может проводить персонал сельскохозяйственных объектов.

Основные параметры малых ГЭС, подлежащие регулированию при изменениях нагрузки потребителей это – напряжение и частота электрического тока. Способ регулирования параметров зависит от типа генератора ГЭС и условий его работы, так они могут работать автономно или совместно (параллельно) с энергосистемой.

При параллельной работе малой ГЭС с энергосистемой отпадает необходимость в регулирующей аппаратуре по частоте и напряжению для асинхронного генератора. Эти параметры автоматически регулируются электрическим током энергосистемы.

У автономных ГЭС процесс регулирования частоты тока и напряжения несколько сложнее, так как они существенно зависят как от скорости вращения ротора, так и от активной нагрузки, при изменении которой изменятся реактивная мощность и резонанс колебательного контура. Чтобы уменьшить влияние этих факторов и исключить регулировку, стабилизируют общую нагрузку генератора. Для этого к электрической сети подключают полезную и балластную нагрузки, общая величина которых постоянна. При увеличении полезной нагрузки соответственно уменьшается доля балластной. Балластная нагрузка может быть использована для различных производственных целей, например аккумуляции теплоты, используемой в дальнейшем и для отопления и горячего водоснабжения.

4.4. Регулирование параметров электрического тока

В качестве распределительного органа между рабочей и балластной нагрузками служит устройство стабилизации напряжения (рис. 4.8), обеспечивающее высокую надежность регуляторов и простоту их конструкции. Схема устройства стабилизации напряжения включает в себя встречно-параллельно включенные тиристоры $VS1$, $VS2$, соединенные последовательно с балластной нагрузкой $R1$. управляющие электроды тиристоров через токоограничивающие и защитные цепи $VD1$, $R2$, $VD2$, $R3$ подключены к фазосдвигающему устройству с PC - цепью, выполненному на трансформаторе 77 , конденсаторах $C1$, $C2$ и транзисторе $VT1$, $KГ2$; последний применяется в качестве управляющего резистора. Напряжение со вторичной обмотки трансформатора 77 выпрямляется диодом $VD1$, $VD2$, сглаживается конденсаторами $C3$, $C4$ и сравнивается с установкой, задаваемой потенциометром $RP1$, $RP2$. При превышении напряжения от заданного значения ток поступает на транзистор $VT1$, $VT2$, изменяя его проводимость, а следовательно, и угол сдвига входного и выходного напряжений фазосдвигающего устройства.

При работе генератора с полезной нагрузкой номинальной мощности или во время пуска, когда напряжение генератора не превышает расчетной величины, тиристор $VS2$ закрыт, так как напряжение на управляющем электроде сдвинуто по фазе на 180° по отношению к приложенному. При сборе части полезной нагрузки напряжение генератора несколько повышается, что приводит к уменьшению угла выходного напряжения фазосдвигающего устройства и открытию тиристора. Ток начинает протекать через балластную нагрузку $R1$, компенсируя уменьшение тока через полезную нагрузку. Управление тиристором $VS1$ аналогично. Таким образом, устройство стабилизации напряжения поддерживает на заданном уровне общую нагрузку генератора, обеспечивая заданные напряжение и частоту тока генератора.

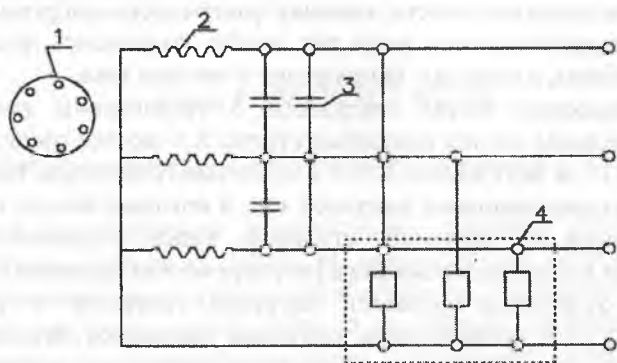


Рис. 4.7. Электрическая схема асинхронного генератора с устройством стабилизации: 1- статор генератора; 2- короткозамкнутый ротор; 3- конденсаторы возбуждения; 4- устройство стабилизации.

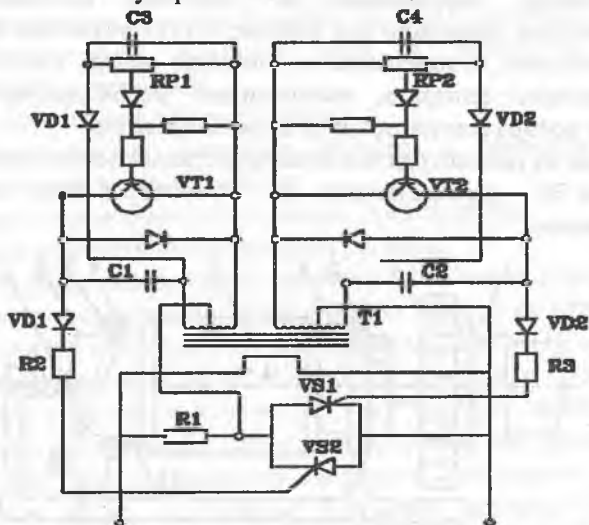


Рис. 4.8. Электрическая схема устройства стабилизации напряжения.

На микроГЭС предпочитают использовать сравнительно простые и надежные механические регуляторы напряжения (рис. 4.9). В основу этого устройства положена зависимость мощности ГЭС и соответственно напряжения и частоты тока от расхода воды, посту-

пающей на лопатки, то есть, изменяя фактическую нагрузку потребителя, изменяют расход воды так, чтобы сохранялось число оборотов турбины, а отсюда – напряжение и частота тока.

На торцевых частях генератора 5 установлены кольцевые втулочные пары, из них наружные втулки 3, 6 жестко соединены со станиной 10, а внутренние 4, 8 – с корпусом генератора. На втулке 8 одной из пар выполнен винтовой паз, в который входит палец 7, закрепленный на наружной втулке 6, между торцевой частью генератора и станиной помещена регулировочная пружина 9.

При отсутствии полезной нагрузки генератор с рабочим колесом 2 под воздействием пружины смещается относительно направляющего аппарата 1, отчего не полностью используется энергия потока воды. При возникновении полезной нагрузки создается реактивный момент статора. Последний, преодолевая сопротивление пружины, поворачивается на некоторый угол, отчего палец, перемещаясь по винтовой канавке, создает поступательное движение (по стрелке «А») генератора и рабочего колеса, которое, совмещаясь с потоком воды, выходящим из направляющего аппарата, обеспечивает необходимую скорость вращения ротора генератора и нужное напряжение.

Исходя из рассмотренных конструктивных особенностей малых и микроГЭС, осуществляют их проектирование, монтаж и эксплуатацию.

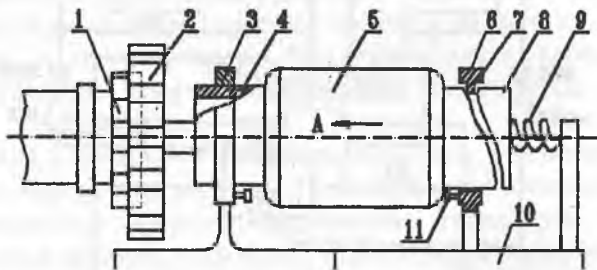


Рис. 4.9. Схема механического регулятора напряжения микро ГЭС.

- 1- направляющая аппарат; 2- рабочее колесо; 3- втулка без пальца; 4- втулка без паза; 5- корпус генератора; 6- наружная втулка с пальчиком; 7- палец; 8- внутренняя втулка; 9- регулировочная пружина; 10- станина; 11- ограничитель хода.

Глава 5. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

5.1. Особенности применения ветроустановок в Узбекистане

Для систематизации характеристик ветровой обстановки в конкретном регионе с целью её эффективного энергетического использования, как правило, разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также целесообразные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- максимальная скорость ветра;
- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.

Карты ветровых ресурсов получают с помощью статистической обработки метеоданных о среднегодовых скоростях ветра, а также приведения их к стандартной высоте анемометров (10 м над уровнем земли), причем в расчет берутся метеостанции с наилучшими условиями открытости местности. Учет местных эффектов о распределении ветра по направлениям, как правило, не проводится.

Поэтому для определения ветрового потенциала в каждом конкретном месте, необходимо учитывать местные эффекты — орографию, шероховатость местности, ее открытость, высоту над уровнем моря и т.д., влияющих на силу и направление ветра.

Учитывая, что энергии ветра присуща неравномерность пространственного распределения и значительная временная неустойчивость, становится очевидной необходимость проведения специальных работ для оценки реального ветропотенциала при выборе перспективных площадок для монтажа ветроэлектростанций.

Анализ ветроэнергетического потенциала республики показал, что там, где имеется большое количество малых потребителей, практически отсутствуют хорошие ветры. Скорость ветра в этих местах не превышает 3-4 м/с. Там, где есть ветровой потенциал, отсутствуют потребители. Места с ветровым потенциалом 10-12 м/с и более имеются в основном на перевалах гор, ущельях и труднодоступных местах. Практически на всей территории республики ветровой потенциал невысок и её средние значения находятся в пределах 2-5 м/с.

Использование энергии ветра в Узбекистане представляется перспективным при использовании небольших ветроэнергетических установок малой мощности (1-5 кВт).

Специфические особенности ветровой энергии — неравномерность ее проявления во времени, влияние на выработку энергии выбора места установки ветроагрегатов, приводят к тому, что наиболее просто и экономично использовать ветроустановки в тех случаях, когда требования к равномерности выработки и стабильности электрических параметров энергии невысоки.

В связи с этим автономное использование энергии ветра перспективно, если в результате работы ветроагрегата может быть получен продукт, который может быть запасем впрок. Выгодно применять ветроагрегаты для подъема воды, производства тепла и холода, опреснения минерализованных вод.

Причем ветроустановки для подъема воды, должны иметь резервуары с емкостью, достаточной для обеспечения нормального водоснабжения в безветренные периоды, в течение трех-пяти суток. При правильном выборе емкости резервуара за счет энергии ветра можно гарантировать 80-90% обеспеченность водоснабжения. С помощью ветра можно откачивать воду из скважин мелиоративных систем, предназначенных для понижения уровня грунтовых вод и пр.

Энергию ветра можно использовать для опреснения засоленной воды. Промышленность выпускает ветроэнергетическую опреснительную установку УВЭ - 0,5. Она работает следующим образом. Один (водоподъемный) насос подает через фильтр засоленную воду в резервуар, а другой перекачивает ее через опреснительный аппарат. Установка рассчитана на работу в широком диапазоне изменения напряжения и частоты тока генераторов.

Примером механического использования энергии ветра для тепловых процессов может служить установка, построенная на одной из ферм штата Айова (США, 42° с. ш), предназначенная для дополнительного обогрева животноводческого помещения.

Она заставляет вращаться лопасти прибора, размещенного в большом резервуаре. Вода в резервуаре в результате вращения лопастей нагревается до 45°C. Общая емкость системы водяного отопления составляет 2270 л. ВЭУ обеспечивает 32 % мощности нагревателей, остальное приходится на теплообменник типа «вода-воздух».

Энергию ветра можно использовать для поддержания требуемых параметров микроклимата в холодильных камерах, хранилищах сельскохозяйственной продукции, для охлаждения молочных танков, namыва почвы на горные каменистые террасы, подача на террасы удобрений и т.п.

С помощью ветроустановки (рис. 5.1.) можно получать из влажного воздуха, питьевую воду. Производительность ее небольшая (15...21 л в сутки).

Но в безводных низинных районах (например, в зоне Приаралья) такие установки могли бы служить аварийным источником питьевой воды. Двигатель установки – ветровая турбина. Она засасывает атмосферный воздух в стояк с обеспыливающим фильтром. Затем воздух поступает в подземный теплообменник, где влага конденсируется. Теплообменник представляет собой систему алюминиевых воздухопроводов диаметром 37 мм. Длина каждой трубы 6 м.

Для этих целей наиболее пригодны механические тихоходные многопластные водоподъемные ветроустановки, которые могут устанавливаться практически везде, где среднегодовая скорость ветра не менее 3 м/с.

Для электропитания изолированных потребителей, расположенных, как правило в сельской местности, целесообразно использовать ветроэлектрические агрегаты небольшой мощности (до 5 кВт), которые могут работать при среднегодовой скорости ветра менее 4-5 м/с.

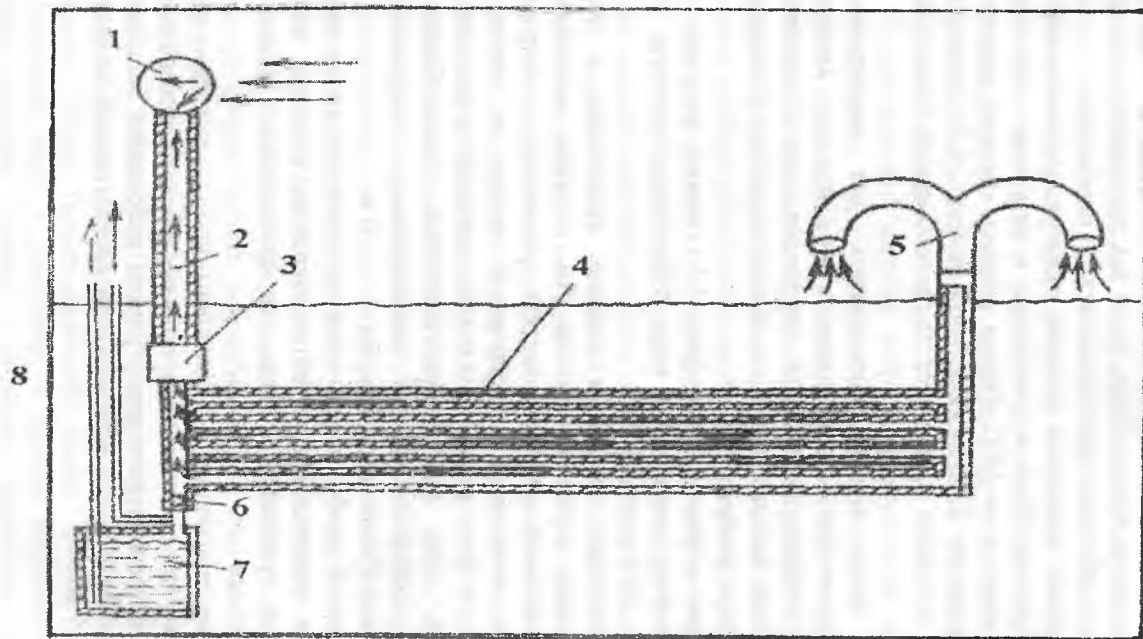


Рис. 5.1. Схема ветроустановки для конденсации влаги из воздуха
 1-ветровая турбина; 2- шахта для удаления осушенного воздуха; 3- прибор для определения степени извлечения влаги из воздуха; 4-воздуховоды-теплообменники; 5-воздухаобразный стояк с фильтром для обеспыливания воздуха; 6-клапан; 7-резервуар для сбора воды.

В этих случаях неизбежно одновременное применение резервных источников энергии – аккумуляторов или дизель-электрических агрегатов, что снижает выгоду использования энергии ветра.

Если в состав ветроустановки введен аккумулятор энергии, то он запасает энергию при достаточно больших скоростях ветра и отдает потребителю при спадах ветра. Однако электрохимические аккумуляторы обладают относительно небольшой энергоемкостью (920-930 Вт.ч/кг). Поэтому ветроэнергетические системы с аккумуляторами чаще всего находят применение в установках мощностью менее 1 кВт. При больших мощностях более выгодны комбинированные системы энергоснабжения, состоящие из ветроэлектрического агрегата, и двигателя внутреннего сгорания. Весьма перспективным путем повышения надежности энергоснабжения является также объединение в единый энергокомплекс ветроагрегатов с солнечными фотоэлектрическими станциями, малыми и микро ГЭС или биогазовыми установками.

Ветроагрегаты мощностью более 10 кВт, средней мощности (до 500 кВт) и мегаватного класса имеют быстроходные ветроколеса обычно с 2-3 лопастями и работоспособны при наличии ветровых потенциалов до 20 м/с.

Вследствие этого строительство крупных ветростанций, работающих на общую электросеть или же для электроснабжения отдельных крупных поселков и кишлаков, может иметь место лишь в единичных случаях, так как существующая роза ветров и ее энергетический потенциал не так высок.

5.2. Конструкции и характеристики ВЭУ

Существует много типов ветроприемных устройств:

- с горизонтальной осью вращения, параллельной направлению ветрового потока (типа ветряных мельниц) (рис. 5.2., а);
- с горизонтальной осью вращения, перпендикулярной направлению ветра (типа водяного колеса);
- с вертикальной осью вращения, перпендикулярной направлению ветрового потока (Ротор Дарье) (рис. 5.2., б).

Здесь мы рассмотрим получивший наиболее широкое распространение первый вариант ветроприемного устройства.

На рис. 5.2.а изображена ветромеханическая установка УВМ - 2, предназначенная для механизации подъема воды из водоисточников на объектах сельскохозяйственного производства.

Основные узлы: ветроколесо, головка, опора, водоподъемное оборудование. Многолопастное и, следовательно, тихоходное ветроколесо с большим крутящимся моментом обладает способностью трогаться при малых скоростях ветра и устанавливается по направлению ветра самостоятельно без дополнительных устройств ориентации.

Головка посредством кулачка и рычажной системы обеспечивает преобразование вращательного движения вала ветроколеса в возвратно-поступательное движение тяги привода насоса. Опора состоит из трех трубчатых стоек. На верхней части ее имеется фланец для крепления головки с ветроколесом. Основания стоек выполнены в виде подпятников, заглубленных в грунт при монтаже установки. Водоподъемное оборудование состоит из погружного насоса объемного действия, комплекта водонапорных труб и тяги привода насоса. Защита ветроустановки от перегрузок при скоростях ветра более 7 м/с осуществляется за счет отклонения ветроколеса.

Монтаж ветроустановки и пусконаладочные работы производит бригада из трех человек без применения грузоподъемных механизмов. Эксплуатация установки не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

На рис 5.3. представлен характерный ход графика зависимости производительности (в л/час) от скорости ветра, м/с.

Различные модификации ветромеханических агрегатов обладают своими конструктивными особенностями и эксплуатационными характеристиками (табл. 5.1.).

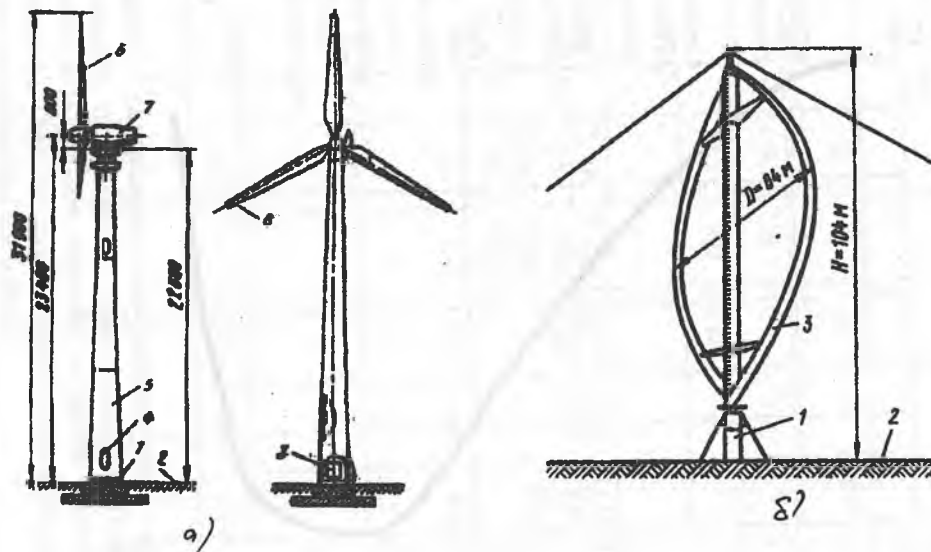


Рис. 5.2. Ветроэнергетическая установка: а) с горизонтальной осью вращения; б) с вертикальной осью вращения.

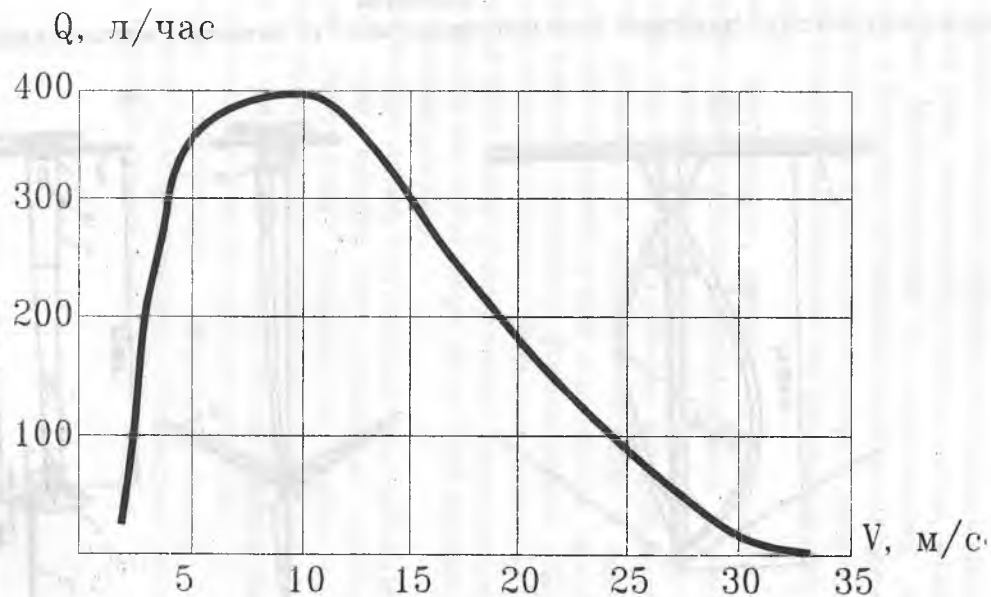


Рис. 5.3. Характерный ход зависимости производительности Q (л/час) от скорости ветра V (м/с) для ветроводоподъемной установки УВМ-2.

Характеристика ветроводоподъемных установок

Таблица 5.1.

Основные показатели	УВЭ В-1	УВМ-2	УВМ-3	УВМ-4	ВЦВ6-4-40	УВЭВ-6 с насосом	
						В Э20/3	К М8/18
Диаметр ветроколеса, м	2	2	3	4	6,6	6,6	6,6
Высота опоры, м	5	4	4	5,5	9	9	9
Среднегодовая скорость ветра, м/с, не менее	3,5	4,0	3,0	4,0	5,5	5,5	5,0
Номинальная производительность при высоте подъема Н, м ³ /ч	0,36Н=15м 0,8Н=10м	0,25Н=20м 0,5Н=10м	1,0Н=20м	2,0Н=30м	4,0Н=25-30м	6,0Н=10+30м	8Н=5+10м
Скорость ветра, при которой обеспечивается номинальная производительность, м/с	8,0	7,0	5,0	6,0	8,0	7,0	7,0
Масса, т	0,2	0,2	0,25	0,75	2,0	2,0	2,0

Лопастей тихоходных многолопастных ветродвигателей изготавливают из древесины либо металла. Полезную работу выполняют только часть лопасти, а другая часть оказывает ей сопротивление. Это вынуждает делать колеса большого размера. КПД таких ветродвигателей 0,08-0,1.

Быстроходные ветродвигатели, как правило, имеют от одного до трех лопастей. Они выполняют легкими, прочными и стойкими к любой погоде из стали, алюминия, пластмассовых материалов или специальных сортов дерева. Такие ветродвигатели используются в основном для получения электрической энергии. Во время сильных

ветров, ураганов и штормов центробежные силы могут разрушить лопасти ветродвигателя, поэтому в состав ВЭУ включают специальные устройства для одновременного перевода лопастей во флюгерное положение. Их КПД (доля использования энергии ветра) достаточно высокий от 0,3 до 0,46, окружная скорость двигателей не превышает скорости ветра, масса на единицу мощности небольшая. Их используют для установок с малым крутящим моментом там, где можно начинать вращение без нагрузки, т.е., практически на холостом ходу. Это достигается с помощью специальной центробежной муфты, которая разъединяет трансмиссию для свободного трогания и разбега ветроколеса с последующим автоматическим подключением нагрузки при достижении заданной частоты вращения.

Большая скорость вращения способствует их работе совместно с центробежными насосами и электрогенераторами.

При изменении направления ветра головка ветроагрегата автоматически ориентируется боковыми ветроколесами – виндрозами. Частота вращения ветроколеса 360 ± 36 об/мин может регулироваться в диапазоне скоростей ветра 6 - 40 м/с.

Характеристики некоторых ветроэлектрических агрегатов этого типа представлены в табл. 5.2 и рис. 5.4.

Характеристика ветроэлектрических агрегатов

Таблица 5.2.

Основные показатели	Тип ветроагрегата			
	АВЭУ-6-4М	АВЭ-16	АВЭ-18-30	АВЭ-25-100/250
Диаметр ветроколеса, м	6,6	12,0	18,0	25,0
Высота опоры, м	9,0	12,0	18,0	25,0
Количество лопастей	2	3	3	3
Среднегодовая скорость ветра в районах ветроиспользования, м/с, не менее	5,0	5,0	5,0	5,0

Расчетная скорость ветра, при которой достигается номинальная мощность, м/с	9,5	10,5	10,0	9/14
Диапазон рабочих скоростей, м/с	4,5-40	4,5-25,0	5,0-25,0	5,0-30
Номинальная мощность кВт	4	16	30	100/250
Срок окупаемости, лет	3-4	4-5	4-6	4-6
Годовая экономия топлива	4,4	16,3	28	84
Масса, кг	1210	3300/440 0	5000	18000

Частота вращения генератора должна в 4 и более раз превышать частоту вращения ротора ветродвигателя. Достичь этого можно правильным выбором типа генератора либо передаточного устройства. Различают генераторы постоянного и переменного тока. Генераторы переменного тока получили широкое распространение, так как они дешевле, проще и можно получить электроэнергию при более низкой частоте вращения ротора.

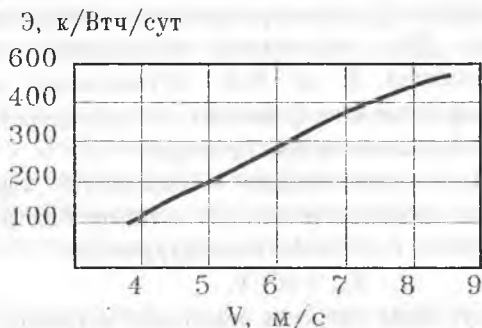


Рис. 5.4. График зависимости выработки электроэнергии от скорости ветра. Э – выработка электроэнергии; V – скорость ветра.

5.3. Расчет ветродвигателя

Принцип использования ветровой энергии прост. Движущийся поток воздуха, так же как и поток воды, действуют на подвижную

часть двигателя, заставляя его вращаться и передавать полученную энергию ротору генератора.

Энергия \mathcal{E} воздушного потока массой m и скоростью V , Дж

$$\mathcal{E} = mV^2/2. \quad (1)$$

Если m представляет секундный расход воздуха m , протекающей через сечение F , то при его плотности ρ , кг/м³ (при нормальных условиях $t = 16$ °С, $p = 760$ мм рт.ст или 101,3 кПа $\rho = 1.23$ кг/м³) и скорости V , м/с

$$m = \rho * V * F, \quad (2)$$

подставляя (2) в уравнение энергии (1) получаем мощность N , Вт, которую имеет поток воздуха, протекающий через сечение F .

$$N = (1/2)\rho * V^3 * F. \quad (3)$$

Мощность, развиваемая ветроэнергетической установкой (ВЭУ), отличается от мощности, развиваемой воздушным потоком, что связано с потерями, при преобразовании энергии ветра в механическую энергию и далее преобразования механической энергии в электрическую (в редукторе генератора).

Потери энергии ветра при преобразовании его в механическую энергию являются основными. В виду сложности процессов взаимодействия ветра с лопастями эти потери выражают в виде коэффициента ξ , характеризующего степень использования энергии ветра. Для идеального ветроколеса максимально достижимая величина ξ по Н.Е. Жуковскому равна 0,593. Коэффициент использования ξ зависит от типа ветроколеса, числа и формы лопастей, а также скорости ветра.

В связи с этим вводят обобщенную характеристику ветроколеса Z – быстроходность (различают быстроходность в номинальном режиме и на холостом ходу) равную

$$Z_{xx} = \omega R / V, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения ветроколеса, 1/с, R – радиус ветроколеса, м, и V – скорость ветра.

При неизменных аэродинамических показателях ветроколеса угловая скорость или частота его вращения n (обычно размерность обороты в мин.) пропорциональна быстроходности и скорости ветра и обратно пропорциональна диаметру, напомним связь между ω и n

$$\omega = 2\pi n / 60. \quad (5)$$

Зависимость коэффициента использования энергии ветра для ветроколес различных типов в зависимости от быстроходности приведена на рис. 5.5.

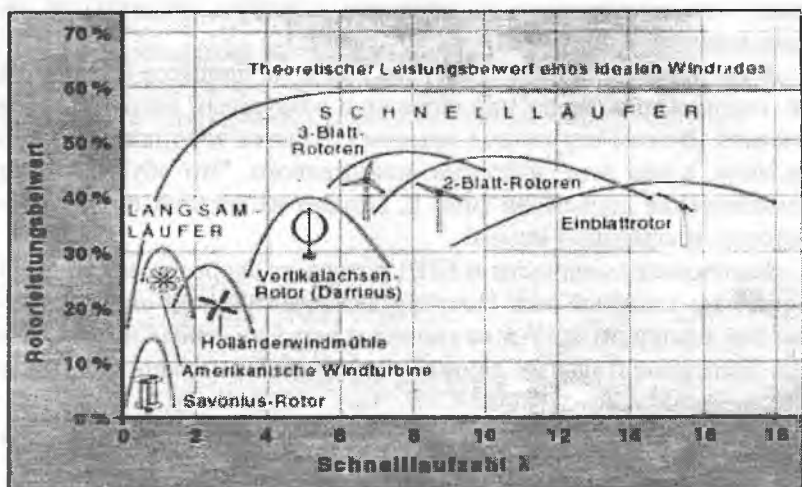


Рис. 5.5. Зависимость коэффициента использования ветра ξ от быстроходности Z ветроколес различных типов.

Как видно из рис. 5.6. для каждого типа ветроколеса (ротора) имеются свои, предельные коэффициенты использования энергии ветра и в общем свои оптимальные диапазоны скоростей ветра. Так для ВЭУ с трехлопастным колесом при работе ее в нормальном (расчетном) режиме ξ не превышает 45-48%.

Или в общем случае выходная мощность ВЭУ $N_{ВЭУ}$ равна:

$$N_{ВЭУ} = \xi * \eta_p * \eta_g * N, \quad (6)$$

где η_p , η_g — соответственно, КПД редуктора и генератора. При этом мощность на валу ветроколеса равна:

$$P = \xi * (1/2) * \pi * R^2 * \rho * V^3. \quad (7)$$

А движущий момент на валу ветроколеса М:

$$M = P/\omega = \xi * (\pi/2Z) * \rho * R^3 * V^2. \quad (8)$$

Рабочий момент на ветроколесе создается за счет аэродинамических сил, возникающих на лопастях, имеющих специальный аэродинамический профиль.

Физическая суть происходящего при этом процессе аналогична той, которая происходит при обтекании воздушным потоком крыла самолета. В этом случае под крылом создается зона повышенного давления, а над ним, напротив, пониженного. Это обуславливает возникновение подъемной силы Р, которая на ветроколесе преломляется во вращающий момент.

Зависимость мощности и КПД ротора от скорости ветра имеет достаточно сложный вид. Поэтому для практической оценки зависимости мощности ВЭУ и от скорости ветра на основе имеющихся ряда экспериментальных данных её формально можно записать в виде:

$$N^{ВЭУ} = N_H^{ВЭУ} * f_V, \quad (9)$$

где $N_H^{ВЭУ}$ – номинальная мощность ВЭУ, равная

$$N_H^{ВЭУ} = \xi_H * \rho * S^{ВЭУ} * V_H^3 / (2 * 1000), \text{ [кВт]} \quad (10)$$

где ρ – плотность воздуха, и 1000 коэффициент перевода Вт в кВт; $S^{ВЭУ}$ – площадь ометаемая ветроколесом ($S^{ВЭУ} = \pi R^2$); f_V – безразмерная функция, учитывающая изменение мощности ВЭУ и КПД ротора в зависимости от скорости и зависящая от типа ротора. Для трехлопастных роторов в диапазоне скоростей ветра $0 < V \leq V_H$ она может быть представлена в виде (см. рис.5.6.)

$$f_V = 0,67352(V/V_H) - 4,297(V/V_H)^2 + 10,561 (V/V_H)^3 - 5,936 (V/V_H)^4 \quad (11)$$

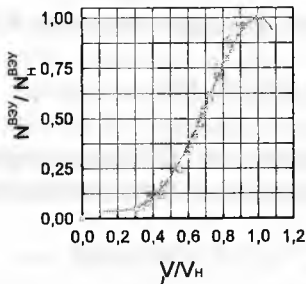


Рис. 5.6. Зависимость мощности трехлопастной ВЭУ от скорости ветра.

Можно отметить, что как известно скорость ветра в околосземном пограничном слое не является постоянной и увеличивается по мере возрастания высоты относительно поверхности Земли. Это изменение обычно определяется степенной зависимостью вида.

$$V = V_0^*(h/h_0)^a, \quad (8)$$

где a – безразмерный показатель степени, значение которого зависит от скорости ветра, устойчивости атмосферы и шероховатости поверхности (принимается в среднем равным 1/5).

Глава 6. ЭНЕРГИЯ БИОГАЗА

6.1. Использование энергии биомассы

Использование энергии биомассы осуществляется по нескольким направлениям: производство биогаза, энергетическое использование древесного топлива и торфа, причем продуктом таких установок также являются удобрения.

Можно выделить следующие типы биогазовых установок:

- малые установки по переработке сельскохозяйственных и бытовых отходов индивидуальных крестьянских фермерских хозяйств, общее количество которых превысило 6 млн. штук (это направление особенно развито в Китае и Индии);

- большие установки по переработке городских сточных вод (более 10000 установок) и комбинированные установки по сбраживанию городских и промышленных сточных вод (более 100 новейших установок);

- мощные комбинированные установки (фабрики) по переработке отходов продукции сельского хозяйства, животноводства и фермерских хозяйств (фабрики получили большое распространение в Дании, где находится 18 из 50 фабрик Европы).

После второй мировой войны, в связи с энергетическим кризисом, во многих странах Европы для покрытия недостатка жидкого топлива обратили серьезное внимание на возможность получения биогаза из отходов животноводства, в частности, из навоза сельскохозяйственных животных.

Однако впоследствии, в связи с заполнением рынка относительно дешевыми видами топлива, отношение к ним принципиально изменилось. Острый дефицит энергии после первого энергетического кризиса в 70-ых годах обусловил ускоренное осуществление НИР, направленных на практическое использование дополнительных местных ресурсов топлива. При таких обстоятельствах проблема переработки биомассы в биогаз, снова выдвинулась на передний план. Причины, ведущие к обновлению интереса к анаэробному сбраживанию, выходят за рамки, ограниченные исключительно энергетическим обоснованием, но и тем фактом, что в по-

следние годы особый приоритет получают разработки, направленные на создание в сельскохозяйственном производстве энергосберегающих, безотходных и экологически чистых технологий. Практически только метод анаэробного сбраживания полностью удовлетворяет этим требованиям.

Производство биогаза основано на использовании процесса анаэробного сбраживания навоза в специальных герметических емкостях – метатанках. Во время сбраживания в навозе развивается микрофлора, которая последовательно разрушает органические вещества до кислот, а последние под действием метанобразующих бактерий превращаются в газообразные продукты – метан и углекислоту. Одновременно при сбраживании биомассы обеспечивается его дезодорация, дегельминтизация, уничтожение способности семян сорных растений к всхожести и перевод удобрительных веществ в минеральную форму, более доступную для растений.

Процесс переработки биомассы включают следующие основные операции. Исходный продукт доставляется в приемный резервуар, в котором происходит его накопление. Далее он подается в смеситель, где разжижается примерно до 90% влажности и подогревается до 33°C.

В качестве разжижающей жидкости используется фугат (часть жидкой фракции) или техническая вода при температуре 90-92°C. Полученный субстрат поступает в метатанк, где он подвергается сбраживанию и гомогенизации гидравлическими и механическими способами.

Сбраживание осуществляется с применением разовой сепарации в мезофильном режиме.

На первом этапе анаэробного брожения происходит гидролиз высокомолекулярных соединений (углеводов, жиров, белковых веществ).

Второй этап связан с деятельностью кислотообразующих микроорганизмов, при участии которых происходит дальнейшее разложение с образованием органических кислот, их солей и спиртов.

На третьем этапе происходит образование метана при активном участии специфических метаногенных микроорганизмов.

Сами биоустановки отличаются простотой в техническом исполнении и эксплуатации (рис. 6.1.).

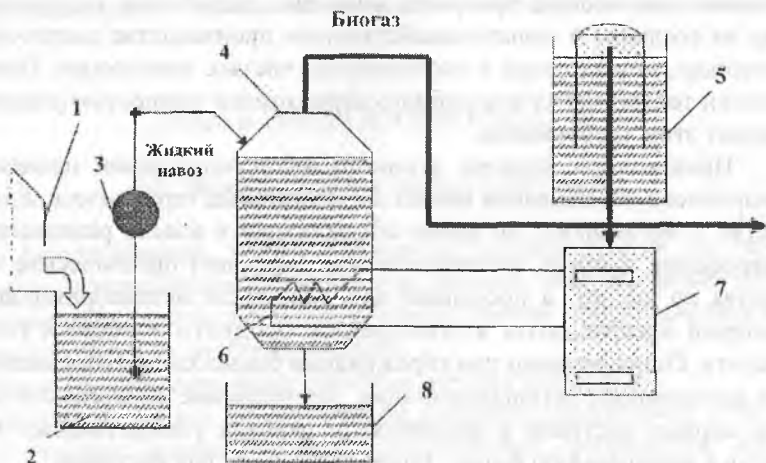


Рис. 6.1. Технологическая схема производства биогаза.
 1-ферма; 2-навозоприемник; 3-насос; 4-метатанк; 5-газгольдер;
 6-теплообменник; 7-котел; 8-навозохранилище.

В состав установки входят приемный резервуар, биореактор-метатанк вертикального типа, смеситель, газгольдер «мокрого типа», загрузочный механизм, приемник жидких удобрений, фекальные насосы, центрифуга, электронагреватели и т.п.

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Навоз из животноводческого помещения поступает в накопительную емкость, далее фекальным насосом его загружают в метатанк, где и осуществляется сбраживание.

Процесс сбраживания с образованием метана вызывает сплошное разделение навозной массы в метатанке: сверху до пенообразующей слой, ниже иловая вода и сбраживаемая масса, у дна до остаточный шлам (ил). Биогаз собирается под колпаком (колоколом) метатанка.

Получаемый в результате сбраживания биогаз подвергается очистке в насадочном скруббере и угольном абсорбере, накапливается в газгольдере и используется затем в качестве топлива. Особенно трудоемким и продолжительным в установке является процесс удаления остаточного шлама. Чтобы облегчить этот процесс, дно метатанка выполняют конусообразным либо на днище устанавливают винтообразный конвейер или другие механизмы.

Эта масса поступает в приемник жидких удобрений, а затем с помощью осадительных центрифуг её влажность доводится до 50-70%. Такая «твердая» фракция используется для получения компостов, применяемых для выращивания шампиньонов, для получения сухих удобрений с влажностью 15-20% либо хранится в специальных накопителях.

Часть жидкой фракции (фугата), не используемая в качестве теплоносителя и рециркулирующей жидкости сбрасывается в пруд-накопитель, а в предвегетационный период эта перебродившая полужидкая масса используется в качестве ценного органического удобрения, процесс внесения которого в почву легко механизмуется. Годовой выход экологически чистых органических удобрений, не содержащих нитритов, нитратов, семян сорняков, патогенной микрофлоры и яиц гельминтов составляет 72-90 т. на одно дехканское хозяйство, имеющее 10-15 коров. Норма внесения подобных удобрений составляет 1-3 т на 1 га в гсч, что позволяет обеспечить удобрениями 30-50 и более гектаров посевных площадей.

Физические свойства биогаза, приведены в табл. 6.1. Они позволяют судить о возможностях его использования. Объемная теплота сгорания, температура воспламенения и предел воспламеняемости определяются в основном содержанием метана CH_4 , поскольку незначительное количество водорода H_2 и сероводорода H_2S на этот показатель почти не оказывает влияния.

Физические свойства биогаза

Таблица 6.1.

Показатели	Компаненты				Смесь 60% 40% CO_2
	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	
Объемная доля, %	55-70	27-44	1	3	100
Объемная теплота сгорания, МДж/м ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Температура воспламенения С ⁰	650-750	-	585	-	650-750
Плотность: нормальная, г/л Критическая, г/л	0,72 102	1,98 408	0,09 31	1,54 349	1,2 320

Биогаз успешно применяется как топливо. Его можно сжигать в горелках низкого давления отопительных установок, водогрейных котлах, газовых плитах, использовать в холодильных установках абсорбционного типа, в инфракрасных излучателях и в автотракторных двигателях.

Объемная теплота сгорания его составляет примерно 22-27 МДж/м³ (для метана 35,2 МДж/м³). Годовой выход биогаза для одного фермерского хозяйства, содержащего 5-10 голов крупного рогатого скота составляет 3600-4000 м³, что эквивалентно замещению 2,5-3,0 т мазута.

Для примера укажем, что для бытовых нужд (приготовление пищи, горячей воды и кормов для животных) на одну семью из 5-6 человек в сутки требуется не более 4-5 м³ биогаза. От одной условной коровы можно получить 1,7 м³ биогаза с 60% содержанием метана. Оставшиеся 5-12 м³ биогаза могут быть использованы для получения электроэнергии с помощью серийно выпускаемых бензоэлектрогенераторов, например, типа АБ-4Т/400-М2. Это количество биогаза при объемной теплоте сгорания метана 35,8 МДж/м³ составляет реально 8-18 кВтчас, что достаточно для работы электробытовых приборов периодического пользования в течении суток. Как видим, биогазовая установка позволяет автономно обеспечить дехканскую семью всеми видами энергии – тепловой и электрической.

При анаэробной переработке навоза и помета можно получить следующее количество биогаза:

- 300 м³ при переработке 1т сухого вещества навоза крупнорогатого скота;
- 500 м³ при переработке 1т сухого вещества навоза свиней;
- 600 м³ при переработке 1т сухого вещества помета птиц.

В пересчете на одну голову показатели выхода приведены в таблице 6.2.

Вид скота и птицы живой массы

Таблица 6.2.

Показатели	Молочные коровы (454 кг)	Птица (2,5 кг)	Свиньи (45,5 кг)
Выход навоза, кг/гол/сутки	55,0	0,3	3,5
Выход биогаза, м ³ /гол/сутки	1,62	0,02	0,32

Количество вырабатываемого биогаза и качество остаточных удобрений зависит не только от температуры, но и от продолжительности сбраживания сырья в метатанках. В частности, при продолжительности сбраживания навоза 5 суток количество вырабатываемого биогаза составляет 50%. 10 суток – 90% и 20 суток – 98% от максимально возможного его количества.

6.2. Особенности использования биогаза

Биогаз – это смесь газов, содержащая метан (CH_4), углекислый газ (CO_2), сероводород (H_2S) и некоторые другие компоненты. Благодаря высокому содержанию метана (до 70%) она может гореть.

При эксплуатации биогазовых и электро биогазовых установок необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, так как метан взрывоопасен. К мероприятиям по технике безопасности относят: продувание газа по трубам перед вводом биогазовой установки в эксплуатацию; установка пламегасителей на газопроводных линиях, проходящих вблизи газосжигающих устройств; вентиляция зоны газопроводных линий; соблюдение уклона газопроводных линий; устройство на нижнем конце линии водоотделителя (биогаз содержит водяной пар), защиту газопроводных линий, водоотделителей и пламегасителей от замерзания; удаление всех потенциальных источников искрообразования; установка огнетушителей в местах хранения газа. Резервуары для хранения газа, предназначенные для зарядки баллонов, рассчитывают на максимальное давление.

Использованию биогаза в качестве топлива мешают примеси (двуокись углерода и сероводород). Они вызывают коррозию оборудования. Очищают биогаз от примесей различными методами: «мокрой» и щелочной очисткой, жидкостной абсорбцией, сухой очисткой в скруббере и напорной сепарацией. Двуокись углерода удаляют биологическим или химическим путем. Очищенный биогаз под высоким давлением направляют в газгольдеры.

Применение анаэробных методов конверсии органических отходов в Узбекистане имеет большие перспективы, так как он является крупным сельскохозяйственным регионом, не говоря о других видах органических отходов сельского хозяйства и перерабатывающих предприятий.

Ежегодно возобновляемые ресурсы биомассы по Узбекистану измеряются сотнями тысяч тонн. Не используются огромные ресурсы растительных остатков – солома, твердые листья, ботвы овощной, картофельной и бахчевой, стебли кукурузы, солома, твердые бытовые отходы, не говоря об отходах органической природы и стоков промышленных предприятий – мясокомбинатов, птицефабрик, кожзаводов, микробиологических, пищевых и спиртовых производств.

На основе переработки биомассы в среднем в Узбекистане можно получить десятки миллиардов кубических метров горячего газа метана. Основным препятствием на пути к достижению этой цели является отсутствие соответствующих технологических работ и необходимого оборудования.

Это объясняется тем, что широкое распространение рыночных отношений в сельскохозяйственном производстве сопровождается резким увеличением количества дехканских хозяйств, фермеров и других мелкотоварных производителей. В таких хозяйствах, как правило, находится не более нескольких десятков единиц крупного рогатого скота, что делает невозможным применение промышленно выпускавшихся ранее биогазовых установок, предназначавшихся для крупных животноводческих ферм и комплексов.

В связи с этим становится актуальной проблема разработки и создания биогазовых установок, малой мощности и стоимости, и их использования в дехканских хозяйствах.

Производство биотоплива дешево, так как сырьем здесь могут служить также возобновляемые отходы растениеводства и животноводства: отходы крупного и мелкого рогатого скота, птицы, лошадей, верблюдов, пушных зверей, фекалии, растительные остатки, древесная листва, ботва картофельная, огородная и бахчевая, стебли кукурузы, солома, твердые бытовые отходы, гузапая и др.

Окупаемость подобных установок по рыночной стоимости годового производства удобрений как правило, не превышает 1 года.

Кроме того, теплый климат Узбекистана позволяет с наименьшими энергетическими затратами поддерживать температурные режимы сбраживания как в мезофильном при температурах около 33°C, так и термофильном – около 54 °C режимах, при которых развивается наивысшая активность микроорганизмов, и, следовательно, максимальная эффективность работы биогазовых установок.

Для практического использования биогазовых установок в небольших фермерских или даже частных хозяйствах необходимо:

- решить проблему энергоснабжения удаленных потребителей, маломощных по абсолютной величине энергопотребления, но весьма эффективных по результатам производства;

- обеспечить интерес к экономии ископаемого органического топлива (в пересчете на мазут до 2,5-3,0 т в год от 1 установки), так как биогаз можно использовать в горелках отопительных установок, водогрейных котлах, газовых плитах, в холодильных беспламенных горелках и излучателях, в холодильных установках абсорбционного типа, в автотракторных двигателях;

- создать энергоустановки для производства электроэнергии (3000-4000 кВт в год), работающие на биогазе;

- обеспечить привлекательность производства экологически чистых органических удобрений (72-90т в год), не содержащих нитратов, нитритов, семян сорняков, патогенной флоры и гельминтов и, которые являются достаточно дорогой товарной продукцией, при этом обеспечиваются:

- дезодорация навоза (устранение неприятных запахов);

- дегельминтизация (уничтожение яиц, личинок паразитических червей, вызывающих болезни людей, животных и растений).

Следует отметить, что у зараженных гельминтами животных увеличивается потребление кормов, примерно на 11%, снижается на 10-15% живой вес коров, уменьшаются надои молока на 3% и др.

- нейтрализация способности семян сорных растений к всхожести;

- перевод удобрительных веществ навоза в легко усвояемую растениями минеральную форму, что позволит каждому дехканину получить быстро (в течении нескольких месяцев против 3-5 лет при обычной утилизации навоза) высококачественное удобрение для своих плантаций, что является важным обстоятельством учитывая сравнительно малую величину плодородного слоя, характерного для многих регионов Узбекистана;

- улучшаются удобрительные свойства навоза, так как при хранении его в компстных кучах теряется 40-50% азота, а после его сбраживания в биогазовых установках азот сохраняется до 97%, то есть теряется только 3%, причем часть азота переходит в аммонийную форму;

- увеличивается урожайность за счет использования высококачественного удобрения по разным сельхозкультурам (от клубники до картофеля) до 4-х раз;

- повышается эффективность животноводческих ферм по производству мяса и молока, которое во многом зависит от системы удаления и утилизации навоза. При использовании биогазовых установок создаются условия для круглосуточного поддержания требуемых зооигиенических условий и, следовательно, достижения максимальной продуктивности животных;

- способствует распространению малых форм хозяйствования, повышению комфортности проживания сельского населения;

- устраняет загрязнение почвы, грунтовых вод, атмосферы токсичными химическими соединениями, а также бактериальное заражение почвы;

- повышает санитарную безопасность людей и животных вследствие отсутствия в конечной продукции вредоносной микрофлоры.

Следует отметить, что в летний период в Узбекистане наблюдается рост различных заболеваний, значительная доля которых приходится на кишечные. Одной из причин является антисанитарное состояние поселков и отдельных жилищ. Это связано с тем, что основная доля жилищ как правило, все жители содержат скот (от 3-5 до 10-15 коров, до 10 баранов, кур, лошадей и др. животных), фекалии от которых не утилизируются. Наличие вокруг жилища большого количества отходов животных вызывает появление огромного количества мух, являющихся разносчиками различных инфекционных заболеваний.

Использование биогазовых установок в малых дехканских хозяйствах позволит значительно улучшить санитарное состояние подворья и сократить количество заболеваний людей.

Производства биогаза в мире получило широкое распространение. В КНР число биогазовых установок превышает 7 млн., обеспечивая энергетические потребности более 50 млн. сельских жителей. Практически каждая сельская семья имеет простейшую биогазовую установку, которая обслуживает 3-4 коровы и получаемый от них достаточен для обеспечения нужд семьи из 7 человек.

В Индии имеется несколько миллионов небольших биогазовых установок. Широкое распространение биогазовых установок получили в Швейцарии, ФРГ, Франции, Италии, Нидерландах, США и даже в таких северных странах, как Швеция и Финляндия.

Глава 7. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ

Утилизация тепловой энергии земных недр наиболее целесообразна посредством откачки из скважин глубинных вод. Запасы термальных вод нашей планеты оцениваются в 700 млн. км³, что составляет примерно половину количества воды, содержащейся во всех океанах и морях. Термальные воды аккумулируют колоссальные количества тепловой энергии, однако, при современном состоянии технологии можно использовать термальные воды, находящиеся на глубинах не более 1-2 км.

Геотермальные станции (ГеоТЭС) небольшой мощности эксплуатируются различных странах мира. По мнению американских специалистов, геотермальная энергия может стать существенной частью энергетического баланса США; суммарная мощность геотермальных электростанций в этой стране составляет 1 млн. кВт. Мощность геотермальных станций в Японии в 1981 г. составляла 162 тыс. кВт, однако в ближайшие годы ожидается увеличение этой мощности до 20 млн. кВт. Страны СНГ обладают весьма большими запасами термальных вод – разведано более 60 крупных подземных бассейнов горячих и подогретых вод в Западной Сибири, Средней Азии, на Крайнем Севере, в Крыму и на Кавказе. Около половины этих вод имеет энергетический потенциал, эквивалентный 20 млн. т условного топлива в год. Тюменское подземное «море» термальных вод превосходит по своей площади Черное море, температура воды в нем колеблется от 60 до 300 °С. Наиболее перспективной для использования тепловой энергии недр является Камчатка, ее электроэнергетический потенциал оценивается в 300 тыс. кВт. В районах БАМа обнаружены месторождения термальных (относительно низкотемпературных) вод, пригодных, однако, для теплофикации строящихся поселений и предприятий.

Теплота термальных вод должна использоваться комплексно для получения электроэнергии, теплофикации и интенсификации сельскохозяйственного производства.

Территория Узбекистана богата месторождениями термальных вод. Хорошо разведан приташкентский артезианский бассейн с несколькими водоносными комплексами различной степени минера-

лизации и химического состава. Слабоминерализованные (до 1 г/л) термальные воды имеют температуру 75-80 °С и могут быть получены с глубин 2-2,5 тыс.м. их дебит составляет более 500 л/сек.

В Ферганском артезианском бассейне имеется несколько водоносных комплексов термальных вод с различной минерализацией, химическим составом и температурой 70-90°С с большим дебитом и давлением. Отдельные скважины дают до 30 л/сек.

Южная часть Узбекистана (Сурхандарьинская котловина) также богата месторождениями термальных вод с температурой до 65 °С и дебитом отдельных скважин до 3 тыс.м³/сутки. Эти воды содержат йод и бром. Их можно использовать комплексно – для теплоснабжения и извлечения ценных химических элементов.

Для получения геотермальной электроэнергии желательны теплоносители в виде пароводяных смесей с температурой до 300 °С и выше, встречающиеся, как правило, в районах современного вулканизма в Исландии, Японии, Камчатке, Курилах и т.п.

Для отопления и горячего водоснабжения достаточны термальные воды с температурой 50-100 °С, широко распространенные в Узбекистане.

Если термальная вода имеет минерализацию до 10 г/л, а содержание в ней вредных компонентов не превышает норм, установленных для водопроводной воды, то она может применяться в горячем водоснабжении (ванны, души и т.д.). Если температура термальной воды не менее 50°С, использование её в установках горячего водоснабжения осуществляется по очень простой схеме (рис. 7.1.). Вода из скважины самоизливом поступает в сборную емкость (бак - аккумулятор), откуда по трубопроводам транспортируется к потребителям с помощью насоса. Установки горячего водоснабжения являются одним из наиболее эффективных потребителей термальной воды. Одна скважина с дебитом 1500 м³/сутки при температуре воды 60-65°С, может обеспечить горячее водоснабжение жилого микрорайона или поселка городского типа с населением около 14 тыс. человек.

Термальные воды с температурами ниже 50°С также могут найти применение в горячем водоснабжении, однако перед подачей потребителям их необходимо догреть в котельных или с помощью теплоносных агрегатов.

Огромные перспективы использования глубинного тепла Земли открываются в сельском хозяйстве – отопление теплиц и парников

для выращивания овощей, фруктов, цветов. Для этой цели достаточна вода с температурой от 25 до 100°C.

Так для обогрева 1 га теплиц в течение года требуется в среднем 160-170 т условного топлива. В то же время, скважина с дебитом 2000-2500 м³/сутки и температурой термальной воды 65-70°C позволит отопить около 2 га теплиц, которые могут дать до 300-350 т свежих овощей в год. Экономические преимущества использования природного тепла для обогрева защищенного грунта очевидны.

Природные глубинные воды в большей или меньшей степени минерализованы и газонасыщены. Находясь в контакте с горными породами, они растворяют некоторые минеральные вещества. Из солей, растворенных в воде, часто можно встретить хлористый натрий (поваренная соль), хлористый калий, углекислый кальций (известняк), сульфат кальция (гипс), нитраты и т.д.

В газовый состав термальных вод входят азот, углекислый газ, сероводород, аммиак, водород, метан и другие углеводороды. Они неодинаково влияют на интенсивность коррозии. Самыми агрессивными термальными водами являются такие, в которых присутствуют сероводород и углекислый газ.

Для того, чтобы использовать тепло Земли, каждое отдельное месторождение должно тщательно исследоваться. Некоторые месторождения термальных вод содержат в большом количестве минеральные соли, дающие интенсивную накипь в зоне парообразования не только в скважинах, но и в оголовке, задвижках и боковых трубах.

Борьба с зарастанием скважин ведется многими способами: новым разбуриванием скважин до зоны парообразования; растворением накипи серной, соляной и борной кислотами; заливкой в скважину известкового раствора, создающего искусственный защитный слой, и т.д. Возможности удаления осадков надо исследовать в каждом отдельном случае, с учетом конкретных гидрохимических и эксплуатационных факторов.

Разбуривание скважин наиболее простой и не слишком трудоемкий способ, но не решает вопросов борьбы с зарастанием наземных трубопроводов и оборудования.

Второй способ борьбы с накипью – применение серной кислоты. В Венгрии для борьбы с зарастанием скважин солями успешно применяют способ обработки их 10%-ным раствором соляной кислоты.

Существует и другой способ использования высокоминерализованных вод. Так обычно, применяют схему с промежуточным теплообменником. Минерализованную воду из скважины подают в резервуар со змеевиками, по которым поступает пресная речная вода. Нагретая в змеевиках пресная вода идет к потребителю. Недостатком схемы является дополнительный срабатываемый потенциал термальной воды – разность температур между термальной и пресной водой.

Наибольшую опасность при использовании термальных вод, особенно содержащих растворенный кислород, который вызывает коррозию металлических трубопроводов и оборудования. Существует целый ряд способов устранения коррозии.

В Италии на геотермальной электростанции Серраццано-2 работает специальная установка, с помощью которой пар перед поступлением в турбину очищается от борной кислоты. Это дает, во-первых, экономический эффект, так как борная кислота является ценным продуктом, и, во-вторых, предотвращает коррозию.

Для снижения коррозии и образования накипи, производят удаление агрессивных газов (O_2 , CO_2) вводят различные ингибиторы коррозии и антинакипные реагенты (например, силикат натрия, гексаметан, фосфат натрия и др.).

Во многих термальных водах наблюдается повышенное содержание мышьяка (0,5-0,6 м/л), что не позволяет использовать эти воды для горячего водоснабжения. Это требует разработки специальных схем очистки термальных вод от мышьяка путем применения ионообменных смол и неорганических ионитов, что часто делает нерентабельным использование термальных вод.

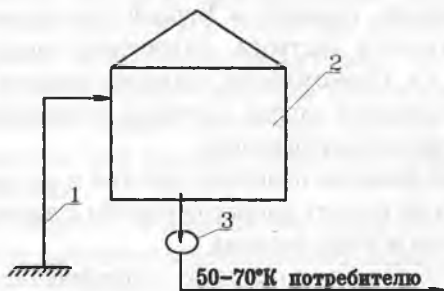


Рис. 7.1. Схема непосредственного использования термальных вод.

1- скважина; 2- бак-аккумулятор; 3- насос горячего водоснабжения.

Справедливости ради, однако, нужно сказать, что далеко не все проблемы практического использования термальных вод решены. Не ясно, как закачивать обратно термальную воду, отсутствует комплекс арматуры и измерительной аппаратуры, не ясно, как избавиться от токсичных соединений – фенолов, сброс которых в водные бассейны категорически запрещен. Имеющееся стандартное теплоэнергетическое оборудование, как видим, для всех ГеоТЭС не подходит. Создать машины и агрегаты, способные длительно выдерживать воздействие геотермального теплоносителя, нелегко.

Природный пар содержит ионы хлора, сероводорода, углекислого газа, карбонатов и т.д. Присутствие этих примесей в теплоносителе вызывает ускоренную коррозию важнейших узлов электростанции, уменьшает прочность. Кроме того, природный пар насыщен множеством пылевидных твердых частиц, которые слабо поддаются сепарации и вместе с паром поступают на лопатки турбин, истирая их и снижая долговечность. Для устранения коррозии и образования накипи производят удаление агрессивных газов и солей (CaCO_3 , CaSO_4 и др.) или вводят различные ингибиторы коррозии и антинакипные реагенты (например, силикат натрия, гексаметан фосфат натрия и др.).

Термальные воды Узбекистана уже начали использоваться для отопления некоторых курортных зданий, теплиц и парников.

Мировой опыт показывает, что ряд стран и регионов успешно решают проблемы энергообеспечения на основе использования геотермального тепла Земли. Так, Исландия практически полностью обеспечивает себя электрической и тепловой энергией за счет геотермальной и гидравлической энергии.

Установленная мощность геотермальных электростанций (ГеоЭС) в мире возросла с 678 МВт в 1970 г. до 8000 МВт в 2000 г. Страны-лидеры: США – 228 МВт, Филиппины – 1909, Италия – 785, Мексика – 755, Индонезия – 589 МВт, (Россия – 23 МВт). Среднегодовой рост мощности ГеоЭС в последние 30 лет составил 8,6%. Установленная мощность геотермальных тепловых установок за последние 20 лет возросла с 1950 до 17175 МВт.

Глава 8. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

8.1. Характеристика солнечной радиации

Солнечную энергию люди используют с древнейших времен. Еще в 212 г. до н.э. с помощью концентрированных солнечных лучей зажигали священный огонь у храмов. Согласно легенде приблизительно в то же время греческий ученый Архимед при защите родного города Сиракузы поджег паруса кораблей римского флота.

Мощность потока солнечного излучения у верхней границы атмосферы Земли равна $1,78 \cdot 10^{17}$ Вт, а на поверхности Земли $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт.

Распределение глобального потока солнечной радиации на поверхности земного шара крайне неравномерно. Количество солнечной радиации приблизительно составляет от 3000 МДж/м² в год на севере, до 8000 МДж/м² в наиболее жарких пустынных местах.

Средняя плотность потока солнечной энергии E_0 у верхней границы атмосферы, на перпендикулярной солнечным лучам поверхности (солнечная постоянная) составляет около 1350 Вт/м² и соответственно среднее количество энергии Q_0 поступающее за 1 ч. на 1 м² этой поверхности, равно 4860 кДж/(ч·м²).

Среднегодовая плотность потока солнечного излучения составляет 210-250 Вт/м² в субтропических областях и пустынях и 130-210 Вт/м в центральной России. Максимальная плотность солнечной энергии на поверхности Земли может достигать 1000 Вт/м².

На рис 8.1. показано спектральное распределение интенсивности прямого солнечного излучения у верхней границы атмосферы и на уровне моря.

Спектр солнечного излучения у верхней границы земной атмосферы приблизительно соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой 5900 К и включает ультрафиолетовое излучение (длина волн от 0,2 до 0,4 мкм), видимый свет (от 0,4 до 0,78 мкм) и инфракрасное излучение, которое сильно рассеивается и поглощается молекулами озона, воздуха и водяного пара, а также частицами пыли – это приводит к ослаблению прямого солнечного излучения и появлению диффузного (рассеянного) излучения.

Часть энергии, поглощенной и рассеянной газовыми частицами, возвращается обратно в космическое пространство, а основной ее поток достигает поверхности Земли в виде рассеянного (диффузного) излучения. Доля рассеянного (диффузного) излучения в общем потоке поступающей солнечной радиации зависит от географических и климатических факторов и изменяется в течение года. Так, в Киеве она изменяется от 0,39% в июле до 0,75% в декабре, в Москве – соответственно от 0,54% до 0,8%, в Ташкенте – от 0,19% до 0,5% а в Ашхабаде – от 0,3% до 0,5%.

Потенциал солнечной энергии можно охарактеризовать среднегодовым значением прихода солнечной радиации на 1 м^2 горизонтальной поверхности.

Годовой поток солнечного излучения на территории СНГ изменяется в широких пределах, 550-830 кВт.ч/год на северных островах и северо-восточной оконечности Сибири за год поступает всего – 1600 кВт.ч/год, в южных районах Украины, Молдавии, Поволжья, Сибири – 2000 кВт.ч/год и более в пустынных районах Узбекистана.

$E_{0\lambda}$, Вт/м²мкм

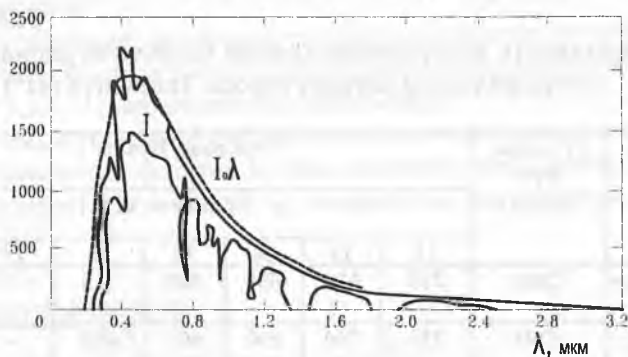


Рис. 8.1. Спектральные плотности прямого солнечного излучения за атмосферой Земли (I_0) на уровне моря (I) и излучения абсолютно черного тела при температуре 5900 К ($I_{0\lambda}$) в зависимости от длины волны λ .

Годовое число часов солнечного сияния равно: в Туркмении – 3100, в Узбекистан и Таджикистане – 2815-2880, Казахстане и Киргизии – 2575-2005-2080.

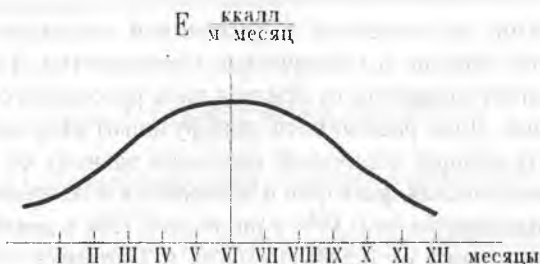


Рис. 8.2. Среднемесячный приход солнечной энергии.

В Центральной Азии продолжительность светового дня в июне достигает 16 ч, в декабре — 8-10 ч, число солнечных дней в году до 300, а продолжительность солнечного сияния 2500-3100 ч в год, а летом — 320-400 ч в месяц.

Среднемесячный приход солнечной радиации приведён на (рис. 8.2).

Через час после восхода солнца оно уже достигает 464 Втч/м^2 , а в полдень примерно 800 Втч/м^2 (табл. 8.1.).

Таблица 8.1.

Интенсивность поступления прямой солнечной радиации на географической широте города Ташкента (41°)

Месяцы года	Суточная, Втч/ ($\text{м}^2\text{сут}$)	Часовая, Втч/ (м^2)						
		Время, ч						
		12	13	14	15	16	17	18
Январь, декабрь	2860	710	670	630	540	310	-	-
Февраль, ноябрь	3245	750	740	690	605	460	-	-
Март, октябрь	3920	780	770	730	670	650	320	-
Апрель, сентябрь	4411	800	790	765	730	640	546	170
Май, август	4640	800	790	765	730	670	545	340
Июнь, июль	4760	785	780	770	730	670	585	440

8.2. Солнечные фотоэлектрические элементы

Фотоэлектрические элементы осуществляют прямое преобразование световой энергии в электрическую и используют фотоэлектрический (фотовольтаический, фотогальванический) эффект в полупроводниках, имеющих р-п переходы, или, по другому говоря, тонкие слои полупроводников, электропроводность в которых определяется электронами (п - область) либо положительными зарядами – дырками (р - область).

При освещении солнечного элемента, излучение (фотоны) поглощенное в тонком поверхностном слое возбуждают атомы полупроводника и генерируют пары электрон-дырка. Возбужденные носители диффундируют к р-п переходу и разделяются его электрическим полем в зависимости от знака заряда. В п - области накапливаются избыточные дырки. В результате обе области заряжаются: п - область отрицательно, а р-область – положительно. Это приводит к появлению контактной разности потенциалов, и появлению на контактах р-п областей фотоэлектродвижущей силы (фото э.д.с).

На рис. 8.3. приведена структура солнечного фотоэлектрического элемента.

Если к выводам элемента не подключена внешняя нагрузка, то напряжение на выводах будет соответствовать максимальной величине фото э.д.с. U (напряжение холостого хода).

При замкнутом накоротко фотоэлементе через р-п переход потечет максимальный фототок I_K (ток короткого замыкания), а при нагрузке потечет ток меньше I_K , напряжение на нагрузке будет меньше $U_{ХХ}$.

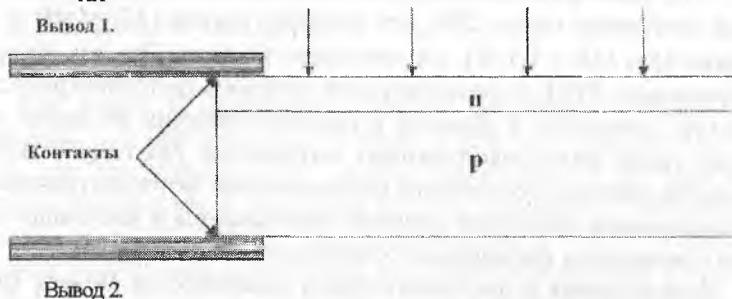


Рис. 8.3. Структура полупроводников солнечного фотоэлектрического элемента.

Зная динамическую линию нагрузки, с помощью вольт-амперной характеристики можно определить оптимальную нагрузку, при котором происходит максимальный отбор мощности $P_{\text{макс}}$ от элемента. Для кремниевых фотоэлементов плотность тока короткого замыкания достигает 200-250 А/м², а при оптимальной нагрузке 150-200А/м². Напряжение при оптимальной нагрузке $U_{\text{п}}=0,35-0,45$ В и значительно ниже напряжения холостого хода $U_{\text{хх}}=0,5-0,55$ В.

Эффективность генерации фототока зависит от близости р-п перехода к освещаемой поверхности полупроводника, для того чтобы большинство носителей заряда успело продиффундировать от места генерации к переходу.

В настоящее время теория фотовольтаического эффекта в полупроводниках с р-п переходом позволяет описать характеристики фотопреобразователей (ФЭП, или солнечные элементы СЭ), объяснить реально получаемые значения КПД и указать пути их повышения. Потери мощности в ФЭП, связаны с действием фундаментальных законов физики, в частности они определяют и «предельное теоретическое КПД фотоэлектрического преобразования солнечного излучения». Это позволяет определить возможности фотоэлектрического способа преобразования энергии и сделать выбор наиболее перспективно типа полупроводника. Основные физические ограничения КПД связаны с величиной «запрещенной зоны полупроводника», или уровнем энергии ΔE , которую должен иметь фотон, чтобы преодолеть этот энергетический барьер, эту границу называют «красной» границей фотоэффекта. Максимально возможный КПД преобразователя солнечного излучения у поверхности Земли составляет около 28% для арсенида галлия ($\Delta E = 1,9$ В) и для кремния 26% ($\Delta E = 1,1$ В), т.е. несколько меньше. Однако, по средним реальным КПД, технологичности создания фотоэлектрических структур, стоимости и запасам в природе кремния не имеет себе равных среди полупроводниковых материалов. Поэтому основная идеология широкомасштабного использования фотоэлектрического преобразования солнечной энергии основывается в настоящее время на применении кремниевых солнечных фотоэлементов.

Используемая в настоящее время классическая модель фотопреобразователя с р-п переходом дает следующую зависимость для вольт-амперной характеристики (зависимость напряжения U от тока I , А/см²):

$$U = \frac{AkT}{q} \ln \left[\frac{(I_{\Phi} - I)}{I_0} + 1 \right] - IR \quad (8.1)$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T – рабочая температура фотопреобразователя, К; q – заряд электрона ($q = 1.602 \cdot 10^{-19}$ а*сек); I_{Φ} – фототок, генерируемый фотозлементом и пропорциональный интенсивности солнечного излучения, А/см²; I_0 – обратный ток насыщения, определяемый свойствами исходного полупроводника и технологией изготовления фотопреобразователя; R – внутреннее электрическое сопротивление, препятствующее протеканию тока в структуре фотопреобразователя и через контакты с токоотводами. Безразмерный параметр кривизны вольт-амперной характеристики A определяется свойствами р-п перехода и обычно имеет значение от 1 (для идеального перехода) до 2.

Выходная мощность P , снимаемая с 1 см² солнечного элемента, может быть оценена из соотношений

$$P = (I_H \cdot U_H)_{max} = \xi I_{K3} \cdot U_{Xx} \quad (8.2)$$

где U_{Xx} определяется из выражения $U_{Xx} = \ln(I_{\Phi}/I_0 + 1)kT/q$,

а ξ величина, называемая коэффициентом заполнения вольт-амперной характеристики, показывает степень приближения формы вольт-амперной характеристики к прямоугольной: $\xi = 0,8$ — $0,9$ означает получение элементов с высокой выходной мощностью. У современных кремниевых солнечных элементов коэффициент ξ обычно составляет 0,75-0,8.

Коэффициент полезного действия фотопреобразователя определяется как отношение максимальной мощности, снимаемой с единицы площади к интенсивности падающего излучения:

$$\eta = \frac{P}{I} \approx \frac{U_{Xx} I_{\Phi}}{I} \approx \frac{AkT}{q} \cdot \frac{I_{\Phi}}{I} \cdot \xi \cdot \ln \left(\frac{I_{\Phi}}{I_0} \right) \quad (8.3)$$

Как видно, КПД является сложной функцией интенсивности излучения, его спектрального состава и рабочей температуры. Поэтому для унифицированной оценки эффективности фотопреобразователя используются измерения КПД в стандартных условиях освещения ($E = 1000$ Вт/м²) и при температуре $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$. Типичные значения параметров кремниевых фотопреобразователей в этих условиях: $U_{Xx} = 550$ мВ, $I_{\Phi} = 35$ мА/см², $\xi = 0,7$, $P = 13,5$ мВт/см², так что КПД в этих условиях, обозначаемый как η имеет значение $\eta = 13,5\%$.

КПД современных экспериментальных образцов фотопреобразователей с просветляющим покрытием для стандартных условий достигает 22,0-23,5% , а в массовом производстве, также просветленных 12-15%.

В настоящее время срок службы фотоэлектрических модулей оценивается в 20 лет, в перспективе до 30 лет, при устойчивой тенденции снижения стоимости вырабатываемой ими энергии до последнего времени, однако сейчас имеет место тенденция повышения стоимости СЭ.

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии является одним из наиболее быстро развивающихся в мире направлением практического использования возобновляемых источников энергии. В настоящее время общая установленная мощность солнечных фотоэлектрических систем составляет свыше 938 МВт. Ведущие предприятия России и СНГ, выпускают оборудования для солнечной фотоэлектрической энергетики. В частности, небольшие лабораторные партии СЭ производятся и в Узбекистане. В заключение можно сказать, что установки для использования солнечной энергии не только могут быть экологически чистыми, но и иметь положительное влияние на другие сферы жизни. Например, использование солнечных батарей в жарких пустынных районах в качестве «солнечного зонтика» обеспечивает благоприятные условия для выращивания под ним бахчевых и цитрусовых культур, для которых целесообразно использовать не слишком интенсивных солнечных батарей или солнечное излучение. Другим подобным примером является использование солнечных батарей или солнечных коллекторов как строительных элементов в качестве облицовочных панелей стен зданий.

8.3. Автономные солнечные источники электропитания маломощных потребителей

В настоящее время энергия солнечных фотоэлектрических преобразователей по экономическим показателям не может конкурировать с традиционными методами получения энергии. Поэтому, область их возможного практического применения являются малые автономные установки, располагаемые в местах, куда подвод электроэнергии от централизованных линий электропередач сло-

жен, а завоз топлива для автономных дизель-генераторов экономически нецелесообразен.

Типичные примеры – энергообеспечение чабанских домов на отгонных пастбищах, пасечного электрооборудования в кочевом пчеловодстве, обеспечение радио-телефонной и телевизионной связи, электроснабжение аппаратуры гидрометеорологических и радиогеодезических станций в труднодоступных горных и пустынных местах, мини холодильников для хранения и транспортирования вакцин, сывороток и других медицинских препаратов в сельской местности и в полевых госпиталях, навигационных знаков на воде и даже на суше, зарядка

В этих случаях на первый план выступают не только стоимость, но и другие уникальные свойства солнечных элементов – надежность, автономность, мобильность, бесшумность, экологическая чистота, отсутствие необходимости в текущем обслуживании, длительный гарантийный срок службы, компактность при транспортировке и т.п.

Одна из наиболее перспективных технологий солнечной энергетики для указанных целей это создание переносных или мобильных (передвижных) фотоэлектрических установок – солнечных батарей (СБ) на мощности от 2 до 100Вт, состоящие из солнечных панелей (модули с собранными в заводских условиях солнечными элементами).

Нижний предел мощности обусловлен возможностью состыковки широко доступных автомобильных аккумуляторов с СБ для аккумуляции энергии, которое может быть использовано в ночное время. Верхний предел ограничивается весом СБ при транспортировке с помощью легковых автомобилей или животных например, лошадей в условиях отсутствия дорог.

Достаточно полно эти уникальные качества солнечных фотоэлектрических преобразователей учтены в разработанном в Ташкентском филиале УзНИИМЭ совместно с Физико-техническим институтом НПО «Физика-Солнце» АН РУз автономном солнечном источнике электропитания (АСИЭ).

АСИЭ представляет собой устройство, состоящее из складной панели с солнечными элементами. В дневное время суток с помощью электронного блока управления осуществляется зарядка аккумулятора. Электронный блок преобразования позволяет получить на его выходе переменное напряжение 220 В и мощность до 20 Вт.

Корпус устройства снабжен наплечным ремнем. Структурная схема автономного солнечного источника электропитания представлена на рис. 8.4.

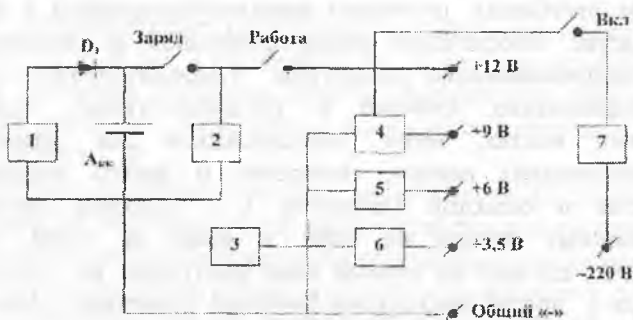


Рис. 8.4. Структурная схема автономного солнечного источника электропитания: 1-солнечная батарея, 2-устройство для контроля заряда и разряда аккумулятора, 3- устройство для защиты от перегрузки по току, 4,5,6-стабилизаторы напряжения, 7-преобразователь напряжения (инвертор) постоянного тока 12 В в переменный 220 В.

Источник электропитания маломощных потребителей, благодаря усиленной металлической защите фотоэлектрических батарей и аккумулятора АСИЭ обладает надежностью и вибрационной стойкостью, что позволяет использовать его в самых разнообразных и тяжелых условиях транспортировки и частой передислокации.

Фотоэлектрический блок собран из солнечных кремниевых элементов (СЭ) с р-п- переходом размеров 60x60 мм. Несущая конструкция блока складная, состоит из четырех панелей.

На рис. 8.5. показана нагрузочная вольт-амперная характеристика /1/ солнечной батареи, измеренная в условиях г. Ташкента при $E_{\text{пад}}=810 \text{ Вт/м}^2$, $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, и зависимость мощности СБ от напряжения на нагрузке.

Как видно из вольт-амперной характеристики, в точке оптимальной нагрузки ($U = 14,5 \text{ В}$ и $I=1,3 \text{ А}$) мощность солнечной батареи составляет 9 Вт. Испытания СБ показали, что среднедневная накапливаемая энергия в аккумуляторной батарее (АБ) для ноября 12-13 А.ч. и декабря – около 10 А.ч.

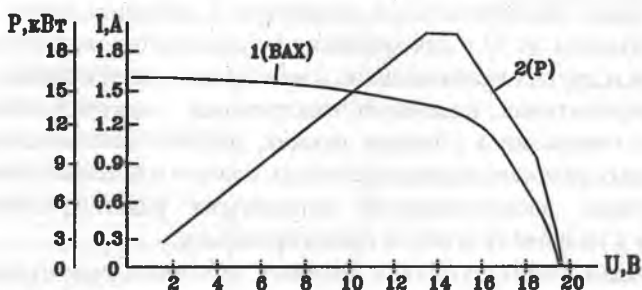


Рис. 8.5. Нагрузочная вольт-амперная характеристика (ВАХ) солнечной фотоэлектрической батареи (1) и зависимость ее мощности P от напряжения на нагрузке (2) при $E_0 = 810 \text{ Вт/м}^2$ и $t =$

При разворачивании солнечной батареи и ориентировании ее на солнце происходит зарядка аккумулятора включается устройство контроля заряда-разряда, которое следит за величиной зарядного тока и напряжения, предотвращая вредный для аккумулятора режим перезаряда, а также информирует с помощью табло из светодиодов, выведенных на переднюю панель, о степени заряженности аккумулятора.

Автономный переносной источник электропитания имеет следующие технические характеристики:

Постоянное напряжение, В	3,5; 6; 9 и 12
Переменное напряжение, В	220
Электрическая емкость, А.ч	28
Рабочий ток солнечной батареи, А	1,2
Габаритные размеры, мм	350x250x150
Вес, кг	15

Области применения разработанного автономного солнечного переносного источника электропитания разнообразны, в частности:

- обеспечение электропитанием электробритв, светильных фонарей, портативных радиоприемников, кофемолок, миксеров и другой бытовой техники;
- источник электропитания полевых радиостанций и радиотелефонов типа «Алтай», электронасосов типа «Малютка», внутреннего и наружного освещения полевых станов, в пастбищном и отгонном животноводстве;

- источник электропитания совместно с холодильником с полезным объемом до 12 л для хранения и транспортирования вакцин, сывороток и других медикаментов в медицине и ветеринарии;

- электропитание пасечного электроножа, электродрели для сверления отверстий в ульевых рамках, работы электронаващивателя ульевых рамок в полевых условиях кочевого пчеловодства;

- источник электропитания аппаратуры радиопереговорных устройств в гидрометслужбе и геологоразведке;

- зарядка аккумуляторов в полевых условиях, ремонт автомобильных камер с помощью электровулканизатора, а при необходимости и запуск двигателей непосредственно от источника электропитания (например, для автотуриста).

Наконец, АСИЭ-3 незаменим в туристических походах, на природе, в дачных условиях, на рыбалке и охоте.

Кроме того, применение АСИЭ выгодно экономически. Так, за 1 сезон работы в весеннее-летнее время (8-9 месяцев) АСИЭ вырабатывает столько электроэнергии, сколько можно получить от 3,0 ... 5,0 тыс. гальванических элементов типа ОРИОН.

При цене 300 сум за 1 гальванический элемент экономия составляет 90,0-150,0 тыс. сум ежегодно. Учитывая, что срок службы АСИЭ практически неограничен (при условии периодической замены аккумуляторов батареи), то экономическая целесообразность использования АСИЭ окупается практически за

АСИЭ обеспечивает работоспособность различных устройств, примерный перечень которых приведен в таблице 8.2.

Таблица 8.2.

Потребитель	Напряжение питания, В	Непрерывность работы, ч
Радиоприемник, магнитофон	6,9	Круглосуточно
Полевая радиостанция типа «Алтай»	220	круглосуточно
Электронасос «Малютка»	12	8
Светильник дневного света «Турист-авто»	12	15
Телевизор «Семург»	12	11

продолжение таб.8.2.

Телевизор «Электроника»	12	15
Трехрамочная радиальная медогонка с электроприводом	12	4,2
Пасечный электронож	12	1,0
Электронаващиватель пчелиных рамок	12	1,5
Аудиоплеер	3,5	круглосуточно
Осветительный фонарь (100 Вт)	3,5; 6,9; 1,2	12
Мини-холодильник термоэлектрический	12	круглосуточно
Электробритва	220	круглосуточно
Автомобильный статор	12	-
Термоэлектрические холодильники с полезным объемом до	12	круглосуточно
Зарядка автомобильных аккумуляторов (до 14 а.ч в день)	12	

8.4. Концентрация солнечного излучения (схемы, применение, методы расчета)

Концентраторы солнечного излучения (SC) это оптические системы (зеркальные, линзовые, или смешанные зеркально-линзовые), которые изменяют ход солнечных лучей (путем отражения или преломления) таким образом, чтобы они попали на некоторый приемник (П) излучения (см. рис.8.6).



Рис. 8.6. Схема работы концентратора солнечного излучения.

Пусть S_K площадь проекции концентратора на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам и S_{Π} площадь приемника и если $S_K/S_{\Pi} > 1$ то имеет место концентрация. При этом средняя плотность потока на приемнике E_{CP} будет равна

$$E_{CP} = E_C * R_Z * (S_K/S_{\Pi}), \quad (8.4)$$

т.к. солнечная радиация и коэффициент отражения переменны, то среднюю безразмерную плотность потока или концентрацию K определяют в виде:

$$K = E_{CP} / (E_C * R_Z), \quad (8.5)$$

или учитывая (8.4)

$$K = E_{CP} / (E_C * R_Z) = S_K/S_{\Pi}. \quad (8.6)$$

Понятие концентрации может применяться как к полному солнечному пятну на приемнике (выделяют и обозначают как C), так и к её части K . Выделяют и максимальную концентрацию K_F .

Определение концентрации K от параметров концентратора (включая неточности геометрии), приемника, Солнца и закона движения концентратора за Солнцем является основной задачей расчета солнечных концентраторов. Методы расчета концентраторов базируется на понятиях геометрической оптики и фотометрии.

Оптические схемы, типы и основные параметры концентраторов

В общем случае можно выделить две оптические схемы концентрации солнечного излучения:

- I. Однозеркальные (однолинзовые).
- II. Многозеркальные (многолинзовые).

Основные варианты реализации однозеркальных (однолинзовых) оптических схем приведены на рис.8.7:

Схема 2а – Жестко связанные между собой концентратор и приемник, которые совместно движутся вслед за видимым движением Солнца.

Схема 2б – Неподвижный концентратор и подвижный приемник.

Схема 2в – Подвижный концентратор и неподвижный приемник.

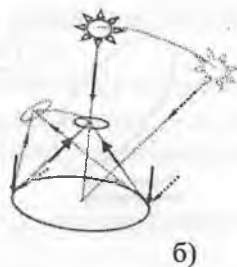
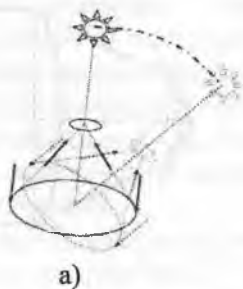
Схема 2д – Неподвижный концентратор и приемник.

Схема 2а позволяет наиболее эффективно использовать площадь концентратора, однако имеются технические ограничения на её габариты.

Схема 2б не имеет ограничений на габариты, но здесь получаем существенно меньшие концентрации и низкую эффективность использования концентрирующей поверхности.

Схема 2в в принципе может иметь хорошие показатели, однако, как и в 2а имеем ограничения на габариты концентратора. Практически она реализуется в виде системы, состоящей из отдельных концентраторов, концентрирующих излучение на общий неподвижный приемник.

Схема 2д в общем наиболее предпочтительна (нет необходимости в опорно-поворотных устройствах для вращения концентратора вслед за видимым движением Солнца). Однако, в этом случае концентрированное пятно перемещается по поверхности приемника, и реально достижимые концентрации S малы, от 3 до 5, но в принципе этого достаточно для резкого повышения эффективности работы солнечных низкотемпературных установок и главное повышения их рабочих температур до 200°C .



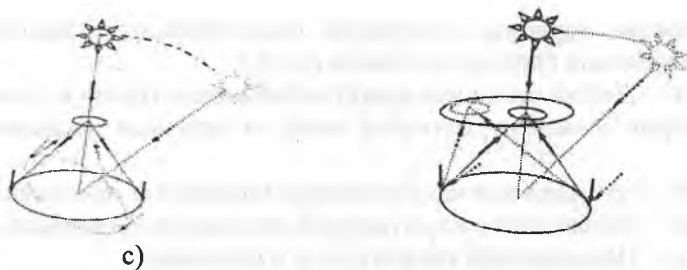


Рис. 8.7. Оптические схемы однозеркальных (однолинзовых) концентраторов солнечного излучения.

Для исключения ограничений на габариты и получения предельных концентраций применяются многозеркальные оптические схемы, основные из которых приведены на рис.8.8: Схема 3а – Система «гелиостат – параболоид» или «гелиостат – линза» с горизонтальной или вертикальной осью параболоида. Схема 3б – Система первичный – вторичный концентратор.

Отличие между ними в том, что во вторичном концентраторе много меньших размеров, чем первичный концентратор.

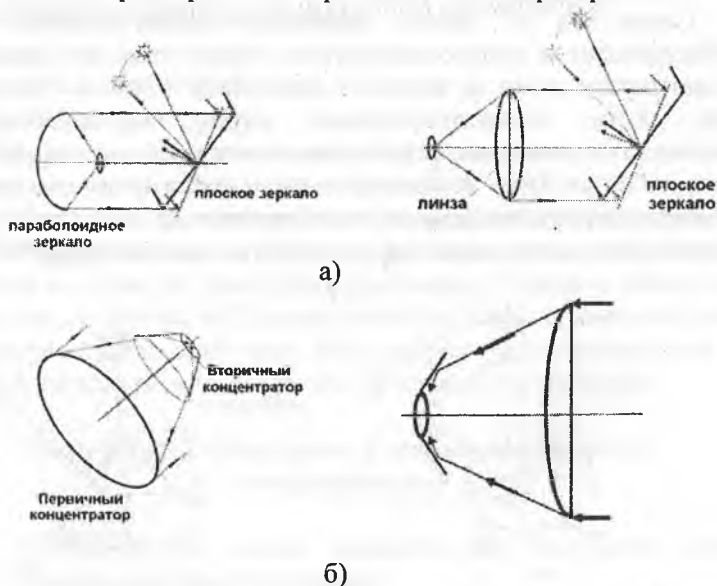


Рис. 8.8. Варианты двухзеркальных систем «Гелиостат – параболоид».

Возможны и другие оптические схемы, однако необходимо учитывать, что на концентраторы солнечного излучения имеются жесткие ограничения по КПД и стоимости.

Основные типы и параметры концентраторов

Можно выделить следующие основные типы концентраторов:

Цельные концентраторы (рис.8.9а) – концентрирующая поверхность (зеркальная или линзовая) представляет оптически гладкую геометрическую поверхность (чаще всего это – плоскость, сфера, параболоид, конус и т.д.).

Составные концентраторы (рис.8.9б) – концентрирующая поверхность образована отдельными цельными концентрирующими элементами (фацетами), устанавливаемыми на общем каркасе. При этом фацеты могут формировать некоторую общую геометрическую поверхность или иметь свою геометрию.

Распределенные концентраторы (рис.8.9в) – фактически составные концентраторы, устанавливаемые на общей неподвижной платформе (обычно на Земле) и концентрирующие солнечные лучи на общий приемник.

Основные параметры концентраторов

Цельный концентратор:

1. Геометрия концентрирующей поверхности – $f(x,y,z)$;
2. Площадь проекции концентратора – S_C ;
3. Форма концентратора в плане – круг, прямоугольник и т.д.
4. Фокусное расстояние концентратора f – расстояние от оптического центра до некоторой плоскости на которой обеспечиваются максимальные концентрации.
5. Точность геометрии концентратора – угловые отклонения поверхности максимальные – α , или среднеквадратические – σ , возникающие вследствие неточностей изготовления и температурных и весовых деформаций.
6. Коэффициент зеркального отражения – R_Z , или пропускания τ для линзовых концентраторов.
7. Показатель преломления – n , для линзовых концентраторов.

Составные концентраторы

Для составных концентраторов, дополнительно к параметрам facets (цельный концентрирующий элемент) добавляются:

1. Функция, описывающая геометрию несущего каркаса – $f_H(x, y, z)$.

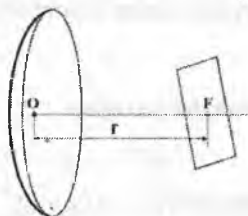
2. Координаты положения facets на каркасе – X_{OF}, Y_{OF}, Z_{OF} .

3. Пространственная ориентация facets относительно несущего каркаса, например, в виде двух плоских углов – β_F, θ_F (юстировочные углы facets).

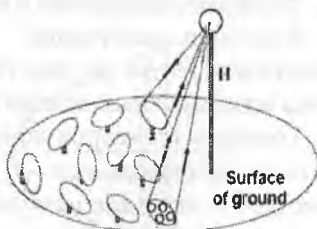
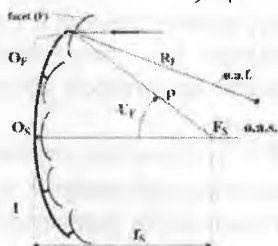
4. Соответственно имеем и неточности пространственного положения facets (неточности юстировки), например, в виде двух малых плоских углов – $\Delta\alpha_{Ю}, \Delta\beta_{Ю}$.

Распределенные концентраторы

Наряду с указанными выше параметрами цельного и составного концентраторов здесь добавляются координаты составного концентратора и приемника в поле.



а) Цельный концентратор.



б) Составной (фасетный) концентратор.

в) Распределенный концентратор.

Рис. 8.9. Основные типы концентраторов.

Методы расчета концентраторов

Напомним, что цель расчета любой установки это выдача требований на её проектирование. В случае концентратора это определение оптической схемы, габаритов, геометрии концентрирующей поверхности и допусков на её точность при которых, обеспечиваются требуемые концентрации и распределение концентрированного потока. Уже на этом этапе, кроме обеспечения максимального оптического КПД концентратора желательны учитывать технические и технологические ограничения на изготовление концентратора.

Учитывая значительное число параметров задачи, расчет концентратора ведется в несколько этапов. На первом используется оптико-геометрический метод и далее оптико-энергетический метод. Рассмотрим кратко эти методы.

Оптико-геометрический метод расчета концентраторов

Исходным положением метода является уравнение баланса энергии

$$\Phi_{\text{п}} = \Phi_{\text{к}} * R_z, \quad (8.7)$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – поток падающий на приемник, $\Phi_{\text{к}}$ – поток падающий на концентратор и R_z – коэффициент зеркального отражения (соответственно для линзового концентратора коэффициент пропускания τ). Т.е. в методе размеры приемника таковы, что полностью перехватывают поток от концентратора. При этом получаем основное уравнение метода (8.6).

$$C_m = E_{\text{ср}} / (E_c * R_z) \quad (8.8)$$

На основе этого метода определяем среднюю плотность потока $E_{\text{ср}}$ и устанавливаем связь между габаритами концентратора и приемника. Рассмотрим вид зависимости (8.8) для системы параболического концентратора – плоский приемник, расположенный в фокальной плоскости (см. рис.8.10).

Напомним, что уравнение параболы в декартовых координатах, с центром в вершине параболы имеет вид

$$R^2 = 2pz, \quad (8.9)$$

где P – фокальный параметр параболоида ($P = 2f$) и для параболоидной поверхности $R^2 = x^2 + y^2$, и x, y, z – координаты точек поверхности, а в полярной системе координат с центром в фокусе F уравнение параболы можно записать в виде

$$\rho = p / (1 + \cos U). \quad (8.10)$$

Пусть лучи Солнца падают параллельно оптической оси параболы. Напомним, что Солнце представляет источник с угловым радиусом φ_0 равным примерно 16 угл. мин.

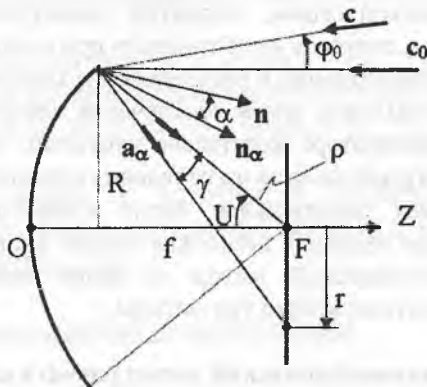


Рис. 8.10. Схема параболоидного концентратора с плоским приемником, расположенным в фокальной плоскости.

При этом площадь проекции параболоида S_k и площадь приемника $S_{\text{ЛП}}$ равны $S_k = \pi \cdot R^2$ и $S_{\text{ЛП}} = \pi \cdot r^2$. Из рис. 8.13. также следует, что $R = \rho \cdot \sin U$, $r = \rho \cdot \gamma / \cos(U + \gamma)$, где $\gamma = \varphi_0 + 2 \cdot \alpha$. Подставляя в (8.8) получаем

$$C_m = \sin^2 U_0 \cdot \cos^2(U_0 + \varphi_0 + 2 \cdot \alpha) / (\varphi_0 + 2 \cdot \alpha)^2. \quad (8.11)$$

Соответственно, для параболоцилиндрического концентратора (ПЦК) получим

$$C_m = \sin U_0 \cdot \cos(U_0 + \varphi_0 + 2 \cdot \alpha) / (\varphi_0 + 2 \cdot \alpha). \quad (8.12)$$

Максимальное значение C_m определяем из уравнения $\partial C_m / \partial U_0 = 0$

Пример. Рассмотрим его для ПЦК. Для определенности раскроем выражение $\cos(U_0 + \varphi_0 + 2 \cdot \alpha)$, или

$$\cos(U_0 + \varphi_0 + 2 \cdot \alpha) = \cos U_0 - \gamma \sin U_0.$$

Дифференцируя (8.12) и учитывая, что $U_0 > 0$ получим уравнение

$$\text{tg} U_0 = (1 + \gamma^2)^{0.5} - \gamma.$$

Учитывая, малость γ ($\gamma = \varphi_0 + 2 \cdot \alpha$), получаем $\text{tg} U_0 = 1$, или оптимальное $U_0 = 45^\circ$, или $C_m = 1 / 2\gamma \approx 107.5$. Аналогично для ПК $U_0 = 45^\circ$ и $C_m = (1 / 2\gamma)^2 \approx 11562$.

Для других геометрий приемника и концентратора получаем свои решения.

Опико-энергетический метод расчета

Необходимость его применения связана с тем, что условие полного перехвата потока ограничивает концентрации и допуски на неточности, а также с тем, что концентрированный поток имеет существенную неравномерность.

Исходным уравнением метода является уравнение облученности, (см. рис.8.11)

$$E_A = \int_{S_0} B(\mathbf{a}) * (\mathbf{n}_M * \mathbf{a}) * (\mathbf{n}_A * \mathbf{a}) * dS_M / |\mathbf{MA}|^2 \quad (8.13)$$

Основными составляющими (8.13) являются: яркость $B(\mathbf{a})$ отраженного (преломленного) солнечного луча в точке M элементарной площадки dS_M в направлении вектора \mathbf{a} , ($\mathbf{a} = \mathbf{MA} / |\mathbf{MA}|$), нормаль \mathbf{n}_A в точке A приемника и расстояние между точками M и A . (Напомним, что элементарный телесный угол $d\omega$ с вершиной в точке A равен $d\omega = (\mathbf{n}_M * \mathbf{a}) dS_M / |\mathbf{MA}|^2$).

Для решения (8.13) должны быть заданы параметры – S_0 , её форма в плане, геометрия R_z (для линзовых систем n и τ), координаты точки A и нормаль \mathbf{n}_A . Также должны быть заданы характеристики источника излучения (для Солнца достаточно знание осевого солнечного луча \mathbf{c}_0 , угловой радиус Солнца φ_0 и угловое распределение яркости $f(\varphi, \varphi_0)$ по диску Солнца).

Условие «свечения» точки M в точку A очевидно имеет вид

$$B(\mathbf{a}) = 0, \quad \text{при } \varphi > \varphi_0 \quad (8.14)$$

$$B(\mathbf{a}) = R_z * B_m * f(\varphi, \varphi_0), \quad \text{при } \varphi \leq \varphi_0,$$

учитывая малость φ_0 , его целесообразнее определять из векторного произведения

$$\varphi = \arcsin(|\mathbf{b} \times \mathbf{c}_0|) \approx |\mathbf{b} \times \mathbf{c}_0| \quad (8.15)$$

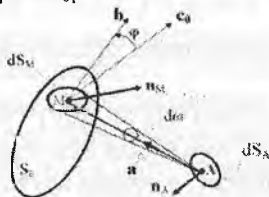


Рис. 8.11. Элементы интеграла облученности.

Уравнение (8.13.) как видно, также должно быть дополнено уравнениями отражения и преломления.

Уравнение зеркального отражения в векторной форме. для принятого направления единичных векторов падающего луча \mathbf{a} , нормали в точке падения \mathbf{n} и отраженного луча \mathbf{b} (см. рис.8.12а....) имеет вид

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} - 2\mathbf{n}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}), \quad (8.16)$$

а для направлений векторов на рис.8.12 б....

$$\mathbf{b} = -\mathbf{a} + 2\mathbf{n}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}). \quad (8.17)$$

В общем случае, для наружной нормали в точке падения целесообразно пользоваться унифицированной формулой

$$\mathbf{b} = \text{sign}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n})[(2\mathbf{n}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}) - \mathbf{a})] \quad (8.18)$$

где $\text{sign}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n})$, функция, определяющая знак скаляра $\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}$.

Векторное уравнение закона преломления запишем в виде, определяющем направление преломленного луча, независимо от направления падающего луча и нормали в точке падения (рис.8.12с)

$$\mathbf{b} = \mathbf{a}(n_a/n_b) + \mathbf{n} \cdot \Gamma, \quad (8.19)$$

где \mathbf{a} – падающий и \mathbf{b} преломленный лучи, \mathbf{n} – нормаль в точке преломления, n_a , n_b – показатели преломления сред, соответственно, в которой идут лучи \mathbf{a} и \mathbf{b} , и Γ обозначено

$$\Gamma = \text{sign}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}) * \{ [(1 - (n_a/n_b)^2 (1 - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{n})^2))^{0.5} - \text{sign}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}) * (n_a/n_b) (\mathbf{a} \cdot \mathbf{n})] \} \quad (8.20)$$

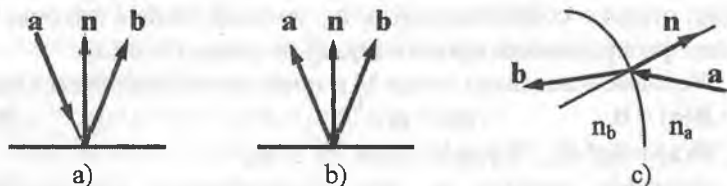


Рис. 8.12. Схемы к уравнениям отражения и преломления лучей.

Уравнение распределения яркости по диску Солнца по Жозе, имеет вид

$$f(\varphi, \varphi_0) = \{ 1 + 1.5641 * [1 - (\varphi / \varphi_0)^2]^{0.5} \} / 2.5641 \quad (8.21)$$

Уравнение (8.13.) только для некоторых случаев допускает аналитическое решение, в общем случае его приходится решать численно.

Глава 9. ТЕПЛОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

9.1. Солнечные тепловые электростанции

До сих пор нами рассматривались лишь сравнительно небольшие солнечные установки с концентраторами. С точки зрения большой энергетики представляет интерес возможность создания солнечных установок на мощности в сотни и тысячи киловатт.

Решение этого вопроса встречает серьезные затруднения. Главным образом это обусловлено малой энергетической плотностью солнечной энергии у поверхности Земли, что приводит к значительным габаритам таких установок и в первую очередь концентратора. При этом возникают существенные технические проблемы, связанные с необходимостью обеспечения её движения (слежения) вслед за видимым движением Солнца.

В связи с этим применяется модульный принцип создания мощных солнечных электростанций (СЭС) – использование относительно небольших концентраторов, которые собирают энергию каждый на свой приемник с последующим её сбором, либо концентрируют лучи на общий приемник (башенные СЭС, см. рис. 8.9).

На башенной электростанции приемник солнечного излучения (котел) размещается на высокой башне, окруженной полем автоматически управляемых зеркальных отражателей (гелиостаты), которые фокусируют солнечное излучение на лучевоспринимающей поверхности котла, разогревая его до температур свыше 300°C. Получаемый в котле пар поступает на турбину и, охлаждаясь в конденсаторе, снова подается в котел. На одном валу с турбиной размещается ротор генератора, вырабатывающего электроэнергию. Общий КПД такой СЭС составляет 10-15% (рис. 9.1, б).

Одна из таких электростанций мощностью до 5 МВт построена в Крыму. Солнечный котел размещается на башне высотой 70 м. Поверхность нагрева котла 154 м², что позволяет вырабатывать 28 т насыщенного пара в час с давлением 4,0 МПа и температурой 250 °С.

Нагрев солнечного котла осуществляется с помощью 1600 плоских зеркальных гелиостатов, каждый из которых имеет размер 5х5м. Расчетное время работы в год – 1920 часов.

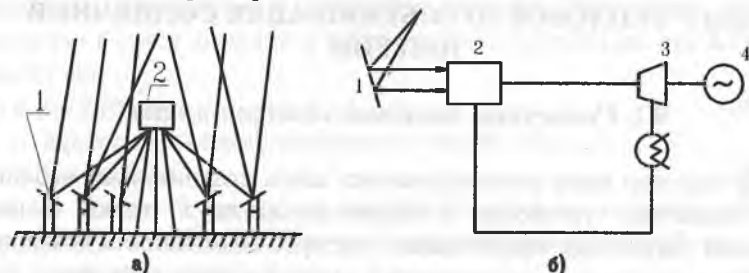


Рис. 9.1. Поле гелиостатов (а) и принципиальная схема преобразования солнечной энергии в электрическую (б). 1–гелиостаты; 2–приемник излучения; 3–турбина; 4–генератор; 5–конденсатор.

Большие работы по созданию тепловых солнечных электростанций ведутся в США, Франции, Японии, Индии, Канаде, Австралии. По разным оценкам доля используемой солнечной энергии в общем энергетическом балансе для разных районов мира составляет 2-7%, в Австралии достигает 10-15%. В Японии сооружается самая мощная солнечная электростанция мощностью 1000 МВт, которая займет территорию более 30 км².

9.2. Большие солнечные технологические печи

Теоретическая возможность получения высоких температур в фокусе параболических концентраторов, вплоть до температуры на поверхности Солнца, до 5880К, давно привлекает внимание ученых и исследователей и работы по созданию солнечных печей ведутся во многих странах. Интерес к ним обусловлен тем, что в солнечной печи (реально достижимые температуры до 3000-4000⁰С) при проведении высокотемпературных процессов отсутствуют какие-либо продукты сгорания, магнитные или электрические поля и т.п.

Плавка образцов может вестись по желанию в нейтральной, или любой другой атмосфере требуемого состава. К тому же такие высокие температуры, которые можно получить в солнечной печи, весьма трудно достижимы другими методами.

Важную роль солнечные печи могут сыграть и в производстве материалов высокой чистоты, что имеет особое значение для производства промышленности полупроводников. Солнечные печи способны производить термообработку различных материалов и объектов концентрированным потоком солнечного излучения большой мощности, а также реализовать новые, нетрадиционные технологии синтеза и производства чистых высокоогнеупорных неметаллических материалов и многокомпонентных соединений с заданными свойствами.

В фокальном пятне можно производить сварку стальных полос и изделий из других металлов. Металлографические исследования сваренных образцов показали хорошее качество сварного шва, напоминающего шов кислородной-ацетиленовой сварки. Весьма успешно производилась напайка победитовых пластин на резцы, осуществлялась, также плавка различных металлов и даже достигалось оплавление вольфрама, что соответствует, температуре в 3600°C . Первые высокотемпературные солнечные печи создавались на базе армейских прожекторов. Проблема создания мощных солнечных печей заключается в проблеме создания высокоточной крупногабаритной параболоидной концентрирующей поверхности (см. выше). В связи с этим в мире в настоящее время имеется только несколько солнечных печей средней мощности – Япония (диаметр зеркала 10м, максимальная плотность в фокусе $E_F = 1000\text{Вт/см}^2$), Германия (около 10м, $E_F = 430\text{Вт/см}^2$), Россия (площадь 50м^2 , $E_F = 450\text{Вт/см}^2$) и две крупные 1000кВт солнечные печи во Франции и в Узбекистане.

Солнечная печь в Узбекистане была разработана в НПО «Физика-Солнце» Академии наук Узбекистана во главе академика С.А.Азимова. В её разработке и строительстве принимали участие и многие Российские научные и проектно-строительные и монтажные организации. Эта уникальная многофункциональная высокоточная большая солнечная печь находится вблизи Ташкента (Паркент) (рис. 9.2). Выбор места был продиктован высокой солнечностью района – здесь светит 2960 часов в год, в то время как на широте Москвы – всего 1900 часов.

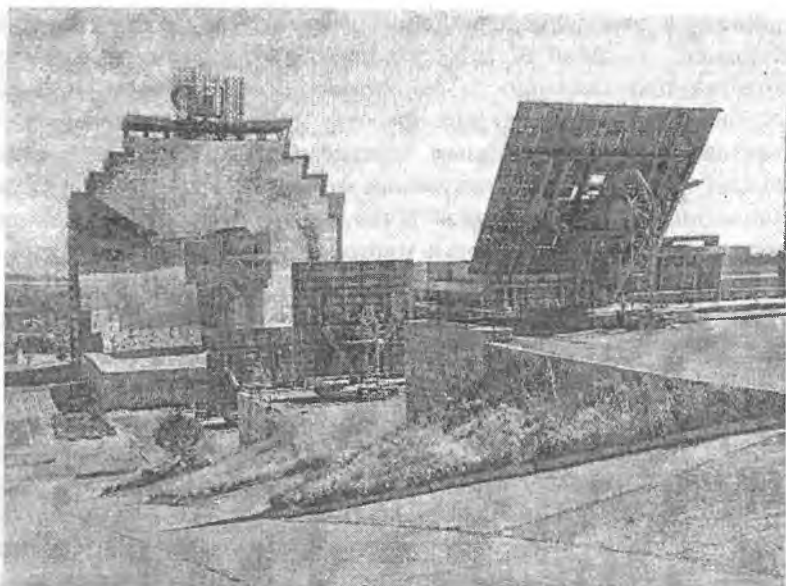


Рис. 9.2. Общий вид большой солнечной печи, а) гелиостатное поле; б) тыльная сторона концентратора.

Она представляет двухзеркальную гелиостат-параболоидную оптическую систему (см. выше) с горизонтальной осью. Работа системы происходит следующим образом. Гелиостаты, в зависимости от положения Солнца на небосводе, поворачиваются так, чтобы отраженные от него лучи шли параллельно оптической оси неподвижного парабооида, отражаясь от парабооида они собираются в его фокусе (рис. 9.3). Фокус парабооида расположен на высоте 21 м. Для осуществления технологических операций в фокальной области печи сооружена технологическая башня, в которой размещены необходимые инженерные коммуникации, технологическое оборудование и оснастка. Общее число гелиостатов составляет 62, размер каждого гелиостата $6,5 \times 7,5 \text{ м}^2$, отражающая (плоская) поверхность гелиостата состоит из 180 плоских зеркал размерами $0,5 \times 0,5 \text{ м}$. В качестве подложки зеркал использовано термически полированное стекло толщиной 6 мм. Гелиостаты расположены на 8 террасах, таким образом, чтобы обеспечить работу системы на полной мощности в течении 10 ч в летнее и 6 ч в зимнее время. Общая площадь гелиостатов составляет 3022 м^2 . Управление дви-

жением гелиостатов осуществляется электронной системой управления. Отражающая поверхность концентратора собрана из 214 блоков специальной формы с общей площадью 2000 м². Большая солнечная печь позволяет получать в фокальном пятне температуру более 3000°С. Здесь в специальных тиглях плавятся такие тугоплавкие материалы, как оксиды алюминия, магния, циркония и сложные композиции на их основе. Материалы, приготовленные в солнечной печи, отличаются высокой чистотой, они очень дефицитны и дороги, и имеют зачастую совершенно новые физико-технические характеристики. Подобную технологию сверхбыстрого нагрева называют тепловым ударом, ее невозможно осуществить как-либо по-другому.

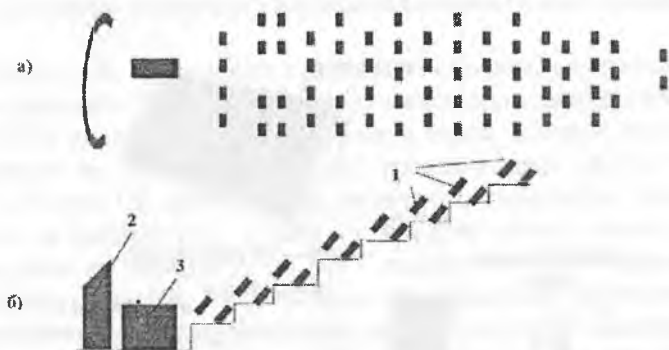


Рис. 9.3. Оптика-энергетическая схема большой плавильной солнечной печи. (Ташкентская обл.) 1—гелиостаты; 2—концентратор; 3—технологическая башня.

Не совсем ещё ясна физика этого явления. Необычные свойства получаемых материалов иногда объясняют быстрым нагревом исходного сырья до очень высоких температур, другие — прямым фотонным взаимодействием. На много вопросов еще предстоит ответить ученым материаловедам, много усовершенствований технологического процесса, по-видимому, предложат инженера.

Солнечная печь Узбекистана не единственная в мире. Во Франции работает печь той же мощности. Но наша значительно совершенней: меньше датчиков, более прогрессивная система крепления фасет к концентратору. Французский концентратор юстировался в течение двух лет после завершения стройки, узбекские же инженеры и ученые провели эту сложнейшую работу всего за полгода од-

новременно со строительством объекта. В комплексе «Солнце» использованы десятки изобретений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами, её также отличает оснащённость оригинальной производственной технологической линией по синтезу в ней различных материалов.

9.3. Солнечные низкотемпературные установки

Наибольшее применение в мире в настоящее время получили солнечные низкотемпературные установки (НПУ – низкопотенциальные установки) для целей горячего водо- и теплоснабжения (см. рис. 9.4).



Рис. 9.4. Схема солнечной установки для горячего водо- и теплоснабжения с дублиром: солнечный коллектор, системы управления, насосы и бак – аккумулятор (буфер), отопительный котел.

Основным устройством солнечных НПУ является солнечный коллектор (СК). Он представляет собой плоский теплоизолированный «ящик» по крайней мере одна из сторон которого прозрачна для солнечных лучей. К основным элементам СК относятся (см. рис. 9.5): приемник П (или абсорбер), несущий корпус, теплоизоляция и прозрачное ограждение (ПО).



Рис. 9.5. Конструктивные элементы и основные теплотехнические параметры солнечного водонагревательного коллектора.

Работа СК происходит следующим образом, солнечное излучение проходит ПО, поглощается лучевоспринимающей поверхностью (ЛП) приемника, преобразуется в тепло, которое передается теплоносителю (вода, воздух и др.) протекающему внутри приемника. Обычно СК преобразуют падающую солнечную радиацию (прямую и диффузную), однако в последнее время с целью повышения рабочих температур до 100°C и выше и с приемлемым КПД предложены ряд СК, включающих стационарные линейные концентраторы (средняя концентрация до 3 Солнц) и т.к. высота и ширина концентратора малы, то и общая толщина таких СК незначительно отличается от плоских СК. Для создания эффективного СК, необходимо, прежде всего создание эффективного приемника. В приемнике можно выделить две поверхности – лучевоспринимающую (ЛП) и теплоотдающую (ТП). Задачи ЛП это обеспечение максимального поглощения солнечного излучения и минимального собственного излучения. Задачи ТП это обеспечение эффективной передачи тепла теплоносителю. Как видно требования достаточно просты, однако имеющиеся жесткие ограничения по расходу материалов, технологичности конструкции, долговечности, и в конечном счете по стоимости СК приводят к необходимости дальнейших исследований в области создания эффективных и экономичных СК. Примеры типичных современных конструкций приемников СК приведены на рис. 9.6.

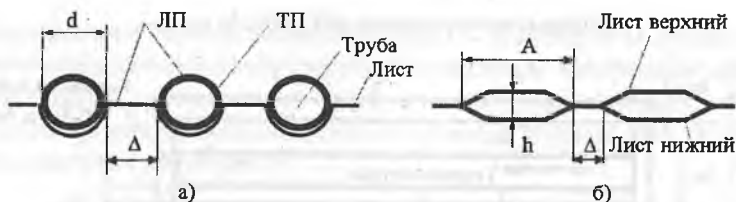


Рис. 9.6. Сечения приемников солнечных коллекторов: листотрубный (а), штампованный (б).

Производство приемников листотрубной конструкции не требует специального оборудования и может быть организовано практически в любом цехе. Однако остается проблема надежного теплового контакта трубы с листом, выбора толщины листа и расстояния между трубками, а также существенная трудоемкость соединения трубок между собой и с общей сетью на входе и на выходе из приемника. Штампованный приемник существенно более технологичен, однако имеются сложности надежного и герметичного соединения нижнего и верхнего листов, а также проблема выбора толщины листов и соответственно допустимых рабочих давлений.

Для лучшего поглощения солнечного излучения ЛП приемника окрашивают в простейшем случае в черный цвет, а в принципе, при температурах приемника больше 45°C желательно нанесение специального селективного покрытия, имеющего высокую поглощательную способность в области длин волн солнечного излучения α_S и минимальную излучательную способность ϵ_T в области длин волн собственного излучения (напомним, что в нашем случае, всегда выполняется закон Кирхгофа и спектральные $\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$).

Также желательно, чтобы и ПО имело специальные радиационные характеристики – высокую пропускательную способность для солнечного излучения $\tau_S^{ПО}$ и минимальную для излучения приемника $\tau_T^{ПО}$ в области его рабочих температур Т.

Можно отметить, что обычные оконные стекла практически идеально подходят в качестве ПО солнечных коллекторов. Они имеют достаточно высокую пропускательную способность для длин волн λ до 2.7 мкм и далее они практически не пропускают излучение (стекло толщиной 3мм практически полностью поглощает излучение с λ больших 2.7 мкм, конечно при меньших толщинах

имеем заметное пропускание и в этой области). В этом смысле пленочные ПО намного хуже, так как и в длинноволновой области они имеют широкие окна с высоким пропусканием. Поэтому, пленочные ПО, желательно применять при малых рабочих температурах приемника T , до 40°C , а при более высоких целесообразно применение стеклянных ПО.

Общие тепловые потери СК включают потери с боковых стенок и дна. Для их уменьшения применяют теплоизоляцию. Одна из задач расчета СК это выбор толщины теплоизоляции дна – h_i . Влияние h_i на КПД СК – η на основе разработанной нами единичной стационарной модели при различных коэффициентах поглощения ЛП – $\alpha = \epsilon = 0.9, 0.95$; пропускания ПО (стекло 4мм) – $k_1 = 0.2, 0.4$ (для $\lambda \leq 2.7$ мкм), $k_2 = 6$ (для $\lambda > 2.7$ мкм), теплопроводность теплоизоляции дна $\lambda_T = 0.107$ и его радиационных характеристиках $\alpha_i = \epsilon_i = 0.8$, различных температурах приемника $t = 45^{\circ}\text{C}, 60^{\circ}\text{C}$ и 75°C и $E_c = 800 \text{ Вт/м}^2$, радиационных температурах неба $T_r = 288\text{K}$ и Земли $T_z = 25^{\circ}\text{C}$, параметрах воздуха $t_0 = 25^{\circ}\text{C}$, $\omega = 0$, и расстоянии между ПО и ЛП $h_v = 15$ мм представлены на рис. 9.7. (для каждой t две серии кривых, первая (o) – $k_1 = 0.4$ и $\alpha = 0.9$ и 0.95 , вторая (•) – $k_1 = 0.2$ и $\alpha = 0.9$ и 0.95).

Как и следовало ожидать влияние толщины теплоизоляции, более существенно при высоких температурах приемника, однако уже при t порядка 45°C она должна быть достаточно большой, более 4см. Так при теплопроводности порядка $0.107 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$ и температуре нагрева 70°C для $h_i = 4\text{см}$ КПД равно 0.438 , то уже при $h_i = 8\text{см}$ КПД будет около 0.495 , а при $h_i = 12\text{см}$ КПД составит около 0.53 . Также можно видеть, что все же, основные тепловые потери СК происходят через прозрачное ограждение. Анализ также показывает, что увеличение расстояния между ПО и приемником h_v больше 15мм уже не приносит практического уменьшения конвективных тепловых потерь. Отметим, что основные тепловые потери и при этих достаточно малых температурах в СК происходят излучением.

Увеличение прозрачности ПО и коэффициента поглощения приемника достаточно существенно и оно почти не зависит от температуры приемника и толщины теплоизоляции. Такие численные исследования могут подробно проводиться при разработке СК. Для целей технико-экономической оптимизации СК, обычно желатель-

но представление результатов в виде приближенных аналитических функций. Однако, как, показал анализ, такие функции будут достаточно громоздкими.

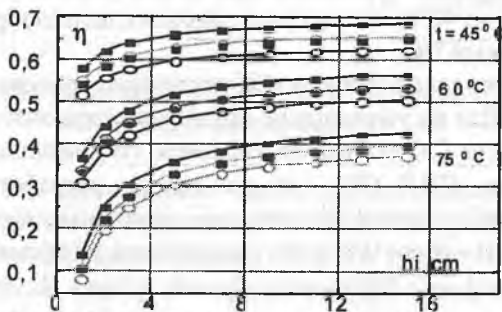


Рис. 9.7. Влияние толщины теплоизоляции дна на КПД «горячего ящика».

Это связано с тем, что общее число параметров СК, влияющих на КПД, составляет даже для одномерной единичной численной модели СК около 10, а уже для четырех при простейшей линейной аппроксимации число членов уравнения составит 16.

В связи с этим представляется целесообразным как на этапе проектирования, так и на этапе технико-экономического анализа и оптимизации параметров солнечного коллектора использование самой численной модели.

Можно отметить, что конструктивное исполнение СК может быть самым различным. Так прозрачное ограждение может быть двойным из стекла или пленки. Может использоваться комбинация из наружного стекла и внутренней пленки. Также при низких рабочих температурах нагрева теплоносителя (до 30 °С) коллектор может вовсе не иметь ПО. Корпус коллектора может быть изготовлен из оцинкованного железа, алюминия, дерева, пластмассы. В качестве тепловой изоляции могут применяться различные материалы: минеральная вата, пенополиуретан, в том числе и местные материалы.

Отметим, что на практике до разработки численных моделей были развиты упрощенные, расчетные методики определения КПАД СК.

Так, полезная удельная мощность P , Вт/м², отводимая с единицы площади коллектора, формально, может быть представлена в виде

$$P = E * \tau * \alpha * F - \Delta P,$$

где E , Вт/м² – плотность суммарного солнечного излучения, падающего на прозрачное ограждение; τ – пропускательная способность ПО для солнечного излучения; α – поглощательная способность ЛП для солнечного излучения;

$(\tau * \alpha)$ – оптический коэффициент коллектора, или приведенная поглощательная способность солнечного коллектора (больше 0, 85)

F – коэффициент эффективности передачи тепла теплоносителю, являющийся функцией: размеров и числа каналов, материала и толщины стенок приемника, а также теплофизических свойств жидкости и скорости ее протекания. В современных конструкциях F близко к единице (больше 0,9).

ΔP [Вт/м²] – удельные тепловые потери коллектора с ПО и наружных стенок корпуса в окружающую среду конвекцией и излучением

$$\Delta P = F [h(T-T_0) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4)] = U*(T-T_0),$$

где T , К – средняя температура панели коллектора; T_0 , К – температура окружающей среды; h , Вт/(м²С), – коэффициент конвективного теплообмена со средой; ε – эффективная степень черноты коллектора; $\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ [Вт/м²К⁴] – постоянная Стефана – Больцмана и U – эффективный коэффициент теплоотдачи коллектора.

За среднюю температуру коллектора T принимают среднюю температуру жидкости в коллекторе. Она, как и температура горячей жидкости на выходе коллектора T_2 , определяются конструкцией и характеристиками коллектора, а также зависит от плотности солнечного излучения E и температуры холодной жидкости на входе T_1 и её удельным массовым расходом на единицу рабочей площади коллектора G , кг/(м² С). Обычно, в паспорте на коллектор величины F и U даются и можно определять КПД коллектора при различных E и T . Т.е. эта методика применима для уже готового коллектора и непригодна при проектировании коллектора. При разработке и проектировании коллектора лучше применять, разработанные в настоящее время, хотя и одномерные, единичную или распределенную стационарные модели и одномерную нестациона-

нарную модель. В принципе в дальнейшем желательна разработка трехмерных моделей солнечного коллектора.

9.4. Солнечные приставки к топливным котельным

В 1986 г. заработала первая в Узбекистане комбинированная солнечно-топливная система сезонного горячего водоснабжения жилого микрорайона Водник в г. Нариманове, в которой солнечная часть осуществляет предварительный нагрев воды, до 35-45°C и далее она догревается до требуемой температуры (60 °C) – в традиционной котельной. В солнечную часть также входят водо-водяной скоростной подогреватель, два центробежных насоса (один резервный), щит КИП и автоматики.

Натурные испытания, проводившиеся с апреля по ноябрь 1986 г. позволили выявить оптимальные режимы и сроки эксплуатации, а также технико-экономические показатели такой системы (табл. 9.1.).

Сравнительные технико-экономические показатели солнечной части системы горячего водоснабжения

Таблица 9.1.

Показатели	Единица измерения	Солнечная часть	
		Экспериментальная, г. Нариманово	Термонейтральная
Общая площадь солнечных коллекторов	м ²	903	903
Температура нагретой воды в июле (средняя за день)	°C	35	47
КПД/среднесезонный	-	0,62	0,9
Количество вырабатываемой теплоты	Гкал/год	493,2	738,5
Экономия топлива	Т у.т./год	100,7	150,7

Показатели солнечной части могут быть существенно улучшены при ее работе в так называемом термонейтральном режиме, при котором отсутствуют потери солнечного тепла, так как средняя температура тепловоспринимающих пластин поддерживается равной температуре наружного воздуха, в этом случае отпадает необходимость в использовании дорогостоящих солнечных коллекторов. Их заменяют отопительные стальные радиаторы.

Предложенный способ позволяет резко снизить материалоемкость гелиосистемы и капиталовложения на ее сооружение. В этом режиме КПД коллектора и соответственно количество сэкономленного топлива возрастают примерно в 1,5 раза (табл.9.1), что приводит к снижению себестоимости тепла, вырабатываемого солнечной установкой до уровня, сопоставимого с себестоимостью тепла, получаемой при традиционном сжигании топлива. Стоимость сэкономленного топлива при этом выше суммарных эксплуатационных расходов, что делает солнечную установку, работающую в термонейтральном режиме окупаемой.

Для обеспечения работы в термонейтральном режиме необходим (рис.9.8) регулятор расхода воды через солнечный коллектор, управляемый датчиками температур окружающего воздуха и воды на входе и выходе из коллектора. Для согласования расхода и потребления используют бак-аккумулятор предварительно нагретой воды.

Эксплуатация солнечной части системы не отличается сложностью и не требует операций, нехарактерных при обслуживании систем отопления и топливных котельных.

В целом солнечные приставки к котельным отличаются повышенным КПД использования солнечной энергии, связанной с большой продолжительностью периода эксплуатации (с апреля по октябрь). При этом обеспечивается высокая эксплуатационная надежность горячего водоснабжения потребителей.

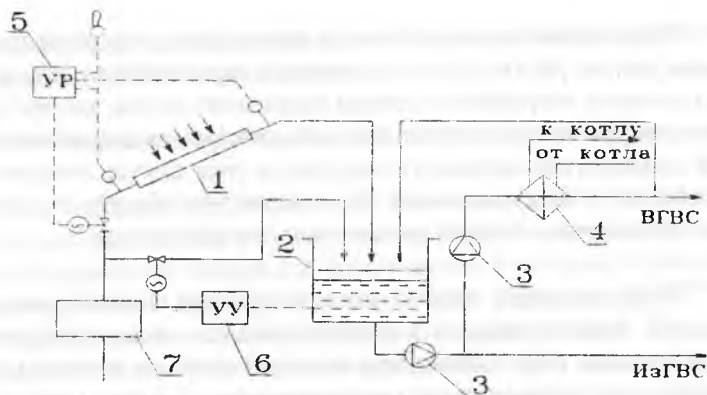


Рис. 9.8. Принципиальная схема работы солнечной приставки к котельным в термонейтральном режиме.

1 - солнечный водонагреватель; 2 - бак-аккумулятор подогретой воды; 3 - насосы; 4 - теплообменник; 5 - устройство регулирования расхода воды через коллектор; 6 - устройство обеспечения минимального уровня воды в бак-аккумуляторе; 7 - блок химводоподготовки.

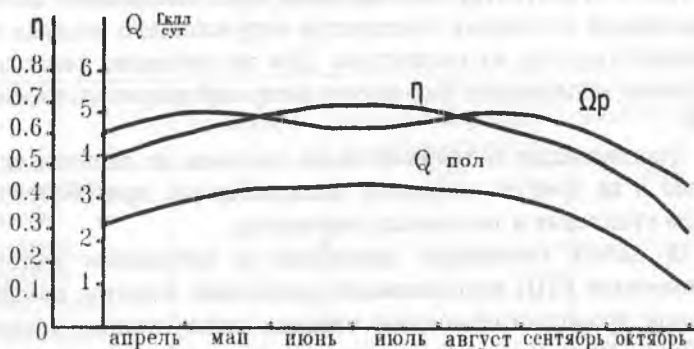


Рис. 9.9. Поток падающей солнечной радиации $Q_{\text{сол}}^{\text{сут}}$, полезной теплопроизводительности $Q_{\text{пол}}$ и коэффициент полезного действия η гелиосистемы в течение сезона эксплуатации.

На рис. 9.10. представлены графики КПД для ясных дней в течение сезона эксплуатации, падающей солнечной радиации ($Q_{\text{р}}$) и полезной теплопроизводительности гелиосистемы $Q_{\text{пол}}$. Необычный характер кривой $Q_{\text{р}}$ вызван изменением угла наклона солнеч-

ных водонагревателей. За сезон эксплуатации продолжительностью 196 дней полезная тепловая производительность гелиосистемы составляет 493,3 Гкал/год, а среднесуточная – 2,5 Гкал/сут (10,54 Гдж/сут). В расчете на 1 м² солнечного коллектора годовая выработка тепла составляет 0,546 Гкал/м год или 2,287 Гдж/м год, среднесуточная выработка тепла 2787 ккал/м² сут или 11670 кДж/м² сут. Средний за сезон КПД солнечной приставки составил 0,62. Снижение расхода топлива составляет 100,7 т.у.т. в год, или 111 кг. условного топлива на 1 м² солнечного коллектора в год.

9.5. Солнечное горячее водоснабжение

Во многих странах, включая даже такие «северные» – как Швеция, Англия, ФРГ, существуют и реализуются программы широкого использования солнечной энергии для отопления, горячего водоснабжения жилых и промышленных объектов.

На рис. 9.10. показано устройство простейшей установки солнечного горячего водоснабжения, основным элементом которой является солнечный водяной коллектор, состоящий из деревянного корпуса – 1, защитного стекла – 2, днища – 3 и теплоизоляции – 4 /минеральная вата, древесная стружка, копра/.

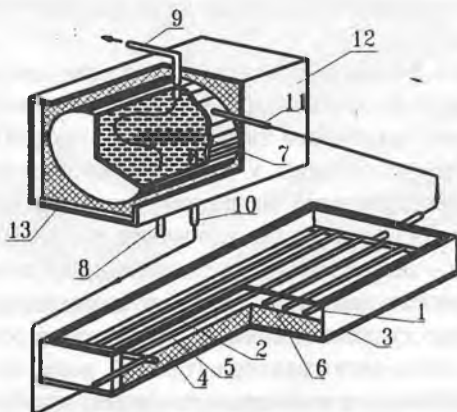


Рис. 9.10. Устройство солнечной установки горячего водоснабжения:

1-корпус; 2-защитное стекло; 3-днище; 4-теплоизоляция; 5-поглощающая пластина; 6-трубчатый теплообменник; 7-бак-аккумулятор; 8,9,10,11-патрубки; 12-кожух; 13-теплоизоляция.

Внутри коллектора помещен водонагреватель, состоящий из зачерненной металлической поглощающей пластины (5) и трубчатого теплообменника (6). За счет известного «тепличного» эффекта, создаваемого застекленной поверхностью, вода в таком коллекторе может нагреваться до 80°C , а производительность за день – достигать более 100 л горячей воды с 1 м застекленной поверхности. В течении дня нагреваемая в коллекторе вода путем естественной конвекции поступает и накапливается в баке аккумуляторе; последний состоит из металлической емкости (7) с патрубками, (8-11/8) – для подключения водопроводной воды, (9) – для отвода горячей воды, (10,11) – для соединения с входом и выходом солнечного коллектора/ кожуха (12) и теплоизоляции (13). Теплоизолированный бака-аккумулятор обеспечивает потребность в бытовой горячей воде в любое время суток /вечером, ночью, утром/, т.е. даже в периоды, когда Солнце скрывается за горизонтом или облаками.

Для повышения эффективности работы солнечные коллекторы ориентируются, на юг и устанавливаются наклонно к горизонту /угол наклона обычно, равен широте местности и для Узбекистана может быть принят $\phi = 40^{\circ}$. При установке бака-аккумулятора определенная ориентация не требуется и его размещение диктуется удобством монтажа системы горячего водоснабжения, для обеспечения естественной циркуляции бак должен располагаться выше коллектора.

Разработаны типовые проектные решения систем солнечного сезонного горячего водоснабжения для одноэтажных 4 и 5 комнатных жилых домов усадебного типа. Система проста и надежна, обслуживание ее сводится лишь к периодической мойке остекления солнечных водонагревателей и полному их опорожнению при наступлении холодов. В проектах применен новый тип солнечного водонагревателя – листотрубный, отличающийся повышенной коррозионной стойкостью, меньшей массой и стоимостью. Отличительной особенностью системы является размещение солнечных водонагревателей и бака-аккумулятора горячей воды на крыше дома, рис. 9.11. При отборе горячей воды из кранов ее объем в баке вмещается холодной водой из водопровода. Имеется устройство, автоматически предотвращающее самопроизвольное опорожнение бака-аккумулятора при падении давления в водопроводной сети ниже расчетного (в районах с режимным или не устойчивым водо-

снабжением), а также имеется устройство, обеспечивающее в этом случае отбор воды из накопителя.

Технико-экономические характеристики систем солнечного сезонного горячего водоснабжения жилых многоквартирных домов приведены в табл. 9.3.

Таблица. 9.3.

Показатели	Ед.изм.	Одноквартирные жилые дома	
		4 комнатный	5 комнатный
Количество солнечных водонагревателей	Шт (м ²)	10(6,1)	12 (7,32)
Объем бака-аккумулятора	NT	0,44	0,44
Расчетная производительность по горячей воде	М ³ /сут	0,7	0,96
Расчетная экономия топлива за сезон	Т.у.т.	1,39	1,9
Удорожание строительства дома	%	8,2	8,45

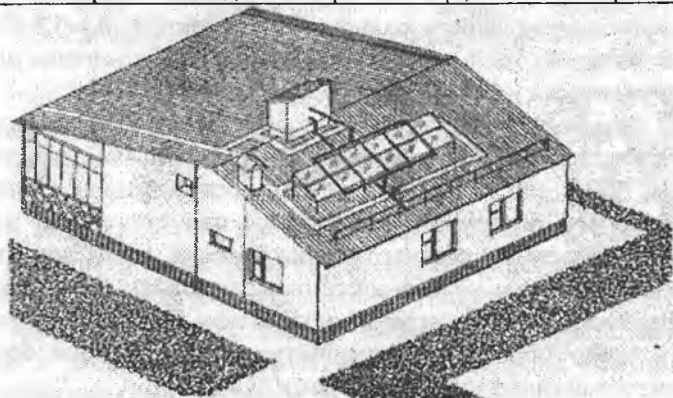


Рис. 9.11. Жилой дом с системой солнечного сезонного горячего водоснабжения.

9.6. Гелиоустановки горячего водоснабжения

В настоящее время наиболее изучены и имеет наибольшую степень технологической готовности солнечные низкопотенциальные установки для горячего водоснабжения.

Крупнейшим в мире потребителем солнечных установок горячего водоснабжения является США, где ежегодно производится 87,5 тыс.м² солнечных водонагревателей для жилья и 44,6 тыс.м² для плавательных бассейнов. Греция ежегодно производит солнечных установок горячего водоснабжения с общей площадью коллекторов 11,2 тыс.м², Израиль 9,0 тыс. м². Решением правительства в Израиле запрещено строительство новых домов без солнечных водонагревателей. В Японии только для внутреннего рынка ежегодно производится коллекторов более 90,3 тыс.м², во Франции 80 тыс. м². 90% индивидуальных жилых домов на Кипре и 15% квартир оснащены коллекторами, что позволило покрыть 3,5% энергетической потребности страны. По этому показателю Кипр занимает первое место в мире.

В среднем удельный расход металла на солнечный коллектор составляет при использовании алюминия для панели и корпуса – 17 кг/м², стали – 25 кг/м². Производительность коллектора 80-100 литров воды при температуре 55-70 °С с 1 м² в день, КПД 0,45-0,55 для летнего периода и 0,3-0,35 для зимнего периода. Удельная годовая тепло производительность солнечного коллектора 0,4-0,5 Гкал/м², годовая экономия топлива – 130-160 кг условного топлива на 1 м². Срок окупаемости – 3-5 лет.

Эти установки работают в основном в теплый период года, характеризуется небольшими размерами (3-10 м²), достаточно высоким КПД (до 40%), легкостью обслуживания. Солнечные гелиоустановки особенно благоприятны при отсутствии жестких требований к режиму горячего водоснабжения, когда допускаются перерывы в работе и колебания температуры воды. Использование солнечной энергии для нагрева воды в таких установках позволяет снизить, либо полностью исключить затраты на приобретение, хранение и сжигание топлива для этих целей.

Определенный опыт в области солнечного горячего водоснабжения накоплен в нашей стране, созданы и освоены промышленностью несколько видов солнечных коллекторов, теплообменников, разработаны ряд типовых проектов систем солнечного горячего водоснабжения. Однако масштабы использования солнечной энергии для теплоснабжения совершенно не отвечают требованиям времени.

Институтом ТашЗНИИЭП разработаны четыре типовых проекта стационарных гелиоустановок сезонного действия: гелиодушевые на 2 и 4 кабины, гелиогенераторы горячей воды на 500 и 1000

литров в сутки. Эти установки (рис. 9.12), рекомендуется для массового строительства в домах отдыха, пансионатах, пионерских лагерях, на стадионах, строительных площадках, животноводческих фермах и других объектах. Они обеспечивают сохранность чистоты окружающей среды и экономию органического топлива от 1,3 до 2,8 тонн условного топлива в год.

В качестве гелиоприемных устройств в этих установках применяются обычные солнечные водонагреватели. Установки не имеют насосов – движение нагретой воды происходит за счет естественной циркуляции, не имеют приборов автоматики.

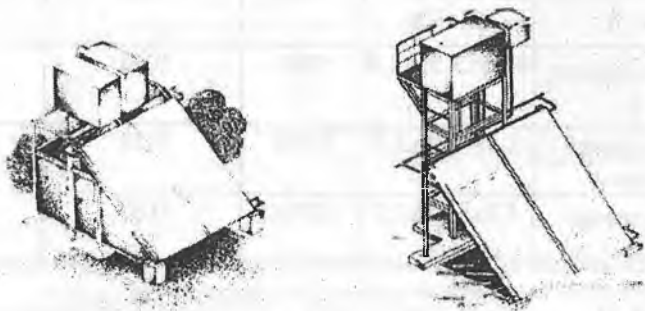


Рис. 9.12. Гелиодушевая на 2 кабины (слева) и гелиогенератор горячей воды.

Они могут работать как на водопроводной, так и привозной воде, отличается повышенной эксплуатационной готовностью (первые порции нагретой воды можно получать уже к 12 часам дня). Гелиодушевая на 2 кабины может обеспечить купание 50 человек в день, на 4 кабины – до 100 человек. Технические характеристики гелиоустановок приведены в табл. 9.3.

По сравнению с аналогичными по мощности традиционными генераторами теплоты – чугунными водогрейными котлами имеет место значительное снижение (до 70%) объема капиталовложений и их расчетная окупаемость составляет 1-3 года.

Наконец, широкое применение автономных стационарных гелиодушевых и гелиогенераторов горячей воды рекомендуется в тех местах, где с их помощью проще, чем другими способами, решаются вопросы купания работающих и отдыхающих, а также горячего водоснабжения отдельных мелких потребителей.

В различных районах Узбекистана действует около 10 экспериментальных установок с солнечными водонагревателями с общей площадью коллекторов более 2400 м².

Технические характеристики гелиодушевых и гелиогенераторов

Таблица 9.3.

Тип гелиоустановки	Габариты в м	Объем баков в л	Расход металла в т., без массы СВ или СК	Экономия топлива, т в т.
Гелиогенератор на 500 л	2,35x3,55x3,8	450	0,33	1,26
Гелиогенератор на 1000 л	4,95x3,55x3,8	900	0,46	2,52
Гелиодушевая на 2 кабины	2,3x4,05x3,7	5002	0,58	1,39
Гелиодушевая на 4	4,8x4,05x3,7	1000x2	0,87	2,77

9.7. Плавательные бассейны с солнечным обогревом

Солнечные установки целесообразно применять для нагрева воды в плавательных бассейнах, которая должна поддерживаться на уровне 20-27°С, что всего на 5-15°С выше температуры наружного воздуха.

Благодаря использованию солнечной энергии купальный сезон в открытых плавательных бассейнах будет увеличен на 1,5 – 2 мес. в год, а в закрытых бассейнах будет обеспечена значительная экономия топлива. В течение многих лет эксплуатируется большое число частных и коммунальных плавательных бассейнов с солнечным обогревом. Эта перспективная область применения солнечных установок как в спортивно-оздоровительных учреждениях, так и в индивидуальном строительстве в благоприятных в климатическом отношении районах страны.

Одна из возможных схем гелиоустановок для подогрева воды в плавательном бассейне показана на рис. 9.13. Вода из бассейна насосом прокачивается через фильтр и направляется в солнечный коллектор. Нагретая вода из коллектора поступает в бассейн. В

схеме предусмотрены обратный клапан, воздушный клапан и байпасная линия с вентилялом.

Через коллектор прокачивается большое количество воды, и должно быть обеспечено такое поперечное сечение каналов, чтобы гидравлическое сопротивление было минимальным.

При годовом поступлении $1050 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ солнечной энергии на горизонтальную поверхность площадью 800 м^2 за сезон гелиоустановка может дать $170 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ теплоты.

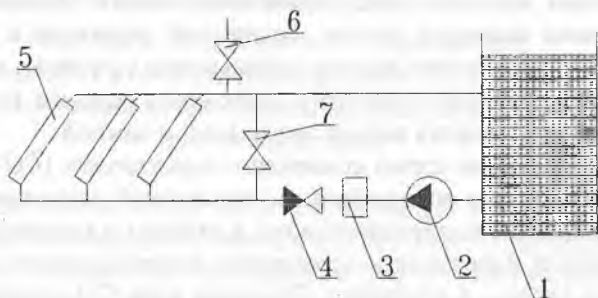


Рис. 9.13. Плавательный бассейн с солнечным обогревом.

1-бассейн; 2-насос; 3- фильтр; 4-обратный клапан;
5- коллектор солнечной энергии.

В данном случае коллектор может и не иметь остекления, так как температура подогретой воды только на $3,5^\circ\text{C}$ превышает температуру воздуха. Средняя тепловая мощность установки за сезон составляет 270 кВт , а ее КПД – $38,3\%$.

В условиях Узбекистана гелиоустановка, предназначенная для поддержания температуры воды в плавательном бассейне на уровне $20-27^\circ\text{C}$, дает за сезон $250-270 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ полезной теплоты на 1 м^2 площади коллекторов.

Для сравнения укажем, что годовая удельная теплопроизводительность гелиосистемы горячего водоснабжения равна $300-500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Кроме теплотерь конвекцией и излучением в окружающую среду, тепло проводностью в грунт, значительная часть тепла в бассейне теряется за счет испарения воды, которая может быть существенно снижена, если в периоды, когда бассейн не используется (ночное время, холодная или ненастная погода), закрывать его водную поверхность пленкой, или мелкими плавающими в воде шариками (которые в отличие от пленки не надо убирать).

9.8. Солнечные опреснительные установки

В Средней Азии насчитывается более 200 млн. гектаров пустынных пастбищ, которые можно использовать в качестве кормовой базы животноводства. Однако освоение их сдерживается недостатком пресной воды для водопоя животных. Традиционные способы водоснабжения пастбищ по каналам, трубопроводам или доставка автотранспортом требуют больших капиталовложений и в ряде случаев высоких эксплуатационных затрат. Наличие в этих зонах страны высокого уровня солнечной радиации и достаточных, почти повсеместно запасов соленых вод с уровнем минерализации до 35 г/л, делает проблему опреснения соленых вод с помощью солнечной энергии весьма актуальной и важной.

Принципиальная схема солнечного опреснителя (СО) известна уже более 100 лет и основана на так называемой парниковой схеме, заключающейся в выпаривании воды в парнике и конденсации пара на внутренней поверхности остекления, который стекает по стеклу в желоб и далее – в резервуар. Основная идея СО сохранилась до наших дней, однако предложен ряд усовершенствований, как самой схемы, так и ее конструктивного исполнения.

Схема простейшего солнечного парникового опреснителя приведена на рис. 9.14.

В качестве прозрачного ограждения (ПО) опреснителя применяют стекло или полимерную пленку, устанавливаемые под некоторым углом, более 7° для обеспечения стекания воды в желоб (при меньших углах капли конденсата срываются обратно в противень). На дно опреснителя помещают ванну (противень) с соленой водой. Для сбора конденсата, в нижней части ПО крепят желоб, по которому вода выводится наружу и направляется в резервуар-сборник. Отметим, что корпус опреснителя, кроме рабочих частей, предназначенных для конденсации пара, необходимо теплоизолировать.

Производительность такого опреснителя достигает 2,5-3,5 л/м² в день. Для увеличения площади испарения воды, желательное наклонное положение ванны, перпендикулярное солнечным лучам, в идеале это плоская поверхность на которой находится тонкий слой воды, одно из реальных решений это наклонно-ступенчатая поверхность.

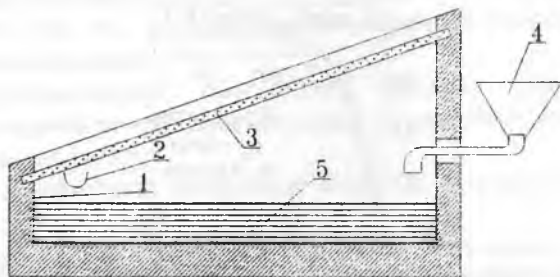


Рис. 9.14. Схема солнечного опреснителя.

1-корпус (ящик); 2- желоб для сбора пресной воды; 3 - прозрачное ограждение; 4 -воронка для заливки соленой воды; 5 - противень для соленой воды.

Отметим, что несмотря на конструктивную простоту, солнечные низкопотенциальные установки представляют сложные теплотехнические системы. Это обусловлено тем, что интенсивности тепловых процессов в НПУ сравнимы с интенсивностями тепловых процессов в окружающей среде, что приводит при разработке НПУ к необходимости учета достаточно большого числа параметров как внутренних, так и внешних. Указанное определяет сложности экспериментального исследования характеристик НПУ и в связи с этим приводит к необходимости развития численных нестационарных моделей тепломассообменных процессов в НПУ, учитывающих основные параметры задачи. Особенно это важно для солнечных опреснителей. Характеристики CO , полученные на основе одномерной нестационарной балансовой модели приведены на рис. 9.15, 9.16.

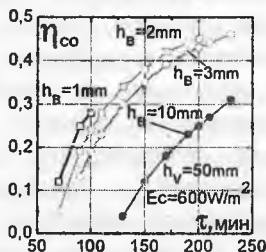


Рис. 9.15. Зависимости КПД CO от времени при различных начальных толщинах слоя воды в ванне.

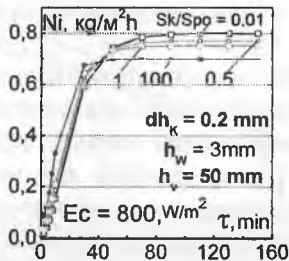


Рис. 9.16. Динамика скорости испарения воды в СО во времени, в зависимости от отношения площади конденсации S_k к площади испарения S_{p0} .

Как видно, даже после почти 4 часов работы опреснитель не выходит на стационарный режим и рост КПД в принципе еще достаточно заметен (В расчетах учтено уменьшение толщины слоя залитой воды при испарении). Проведенные эксперименты показали, что с погрешностью, не превышающей 20% расчетные оценки динамики испарения и конденсации совпадают с реальностью. Можно отметить, что максимально возможный КПД опреснителя может быть равен КПД испарения, т.е. может достигать около 0.6. На практике очевидно желательно, уменьшение времени выхода на стационарный режим. Как видно при заданных радиационных характеристиках имеется только одна возможность – минимальная толщина слоя заливаемой воды.

Так как обычная питьевая вода должна содержать в необходимом количестве минеральные соли, то полученный дистиллят разбавляют исходной водой в зависимости от ее соледержания, обычно в соотношении 3:1, после чего вода может быть использована как питьевая. Однако, если исходная вода содержит пестициды, нитраты, микробные и вирусные загрязнения, то подобный способ подготовки питьевой воды неприменим и необходима добавка специальных таблеток.

В заключении можно отметить, что, несмотря на достаточно большое число исследований, в основном экспериментальных, задача, создания эффективных солнечных опреснителей требует еще своего решения. В настоящее время для конструкций парниковых СО // выработаны следующие рекомендации:

1- в качестве прозрачного ограждения СО целесообразно использование «обычного» оконного стекла;

2- теплоизоляция корпуса СО должна быть не менее 3 см, а желательно 5-8 см., в зависимости от климатических условий района использования;

3- поглощательная способность поддона (противня), в которую заливается опресняемая вода должна быть максимально высокой, не менее 0.9;

4- толщина слоя заливаемой воды по возможности должна быть минимальна, порядка 1-3 мм;

5- расстояние между поверхностями испарения и конденсации может без существенного ухудшения КПД опреснителя находиться в пределах от 5мм до 200 мм;

6- угол наклона прозрачного ограждения должен быть достаточно большим, не менее 45° . Для повышения КПД опреснителя боковые стенки опреснителя желательно делать прозрачными и использовать и как конденсаторы;

7- задняя стенка корпуса должна выполнять две функции – должна отражать падающие на неё лучи в противень и одновременно служить и конденсатором пара;

8- для уменьшения затенения ванны боковыми стенками отношение длины опреснителя к ширине должно быть более 2.

9.9. Солнечные сушилки

Как известно, солнечная энергия издревле применяется для сушки овощей и фруктов – открытая воздушно-солнечная сушка. Широко применяется этот способ и в настоящее время. Однако, в связи с ухудшающейся экологической обстановкой, а также такими недостатками воздушно-солнечной сушки, как запыленность продукта, большая продолжительность процесса, в последние 50 лет во многих странах мира, в том числе и в странах нашего региона ведутся работы по созданию солнечных сушильных установок.

Солнечные сушилки относятся к классу тепловых сушилок, в которых сушка продукта (удаление влаги) осуществляется за счет испарения воды. В зависимости от преимущественного вида энергии, подводимого к продукту, различают следующие типы солнечных сушилок: радиационные (РС) и конвективные (КС). В РС тепло подводится излучением, а в КС горячим воздухом, нагретым в солнечном воздушнонагревательном коллекторе, имеются и комбинированные радиационно-конвективные солнечные сушилки (РКС).

Основными технологическими характеристиками сушки являются температура продукта в процессе сушки – t_p , и влажность (или влагосодержание) продукта, соответственно начальная ω_H и конечная ω_K , определяемые как

$$\omega_H = m_{BH} / (m_C + m_{BH}), \quad (1.2)$$

где m_{BH} – начальная масса воды в продукте и m_C – масса сухого вещества в продукте.

Соответственно, конечная влажность продукта ω_K , содержащая конечную массу воды в количестве m_{BK} будет равна

$$\omega_K = m_{BK} / (m_C + m_{BK}). \quad (1.3)$$

Обычно, начальная и конечная влажности продуктов известны.

Количество воды в продукте также выражают через влагосодержание

$$W_H = m_{BH} / m_C; \quad W_K = m_{BK} / m_C \quad (1.4)$$

Основными характеристиками сушилок являются:

1. Производительность:

- по сырому продукту – P_H [кг/час], или

- по сухому (конечное состояние) продукту – P_K [кг/час].

2. КПД сушилки – η

$$\eta = Q_T / (Q_C + Q_V), \quad (1.5)$$

где Q_T – теоретически необходимый расход энергии для испарения влаги из продукта; Q_C – падающая на сушилку солнечная энергия и Q_V – затраты энергии на работу вентилятора.

3. Плотность подводимого к продукту теплового потока – E [Вт/м²].

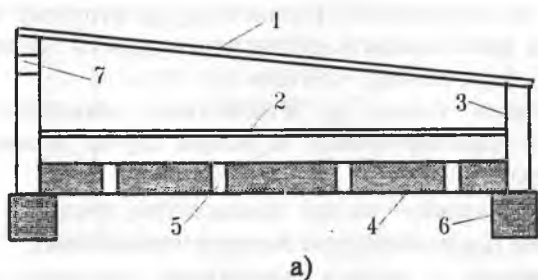
Для конвективных сушилок E пропорциональной разности температур теплоносителя t_v и продукта t , а для радиационных сушилок плотности падающего излучения.

Теоретически необходимое количество тепла, необходимое для сушки продукта равно

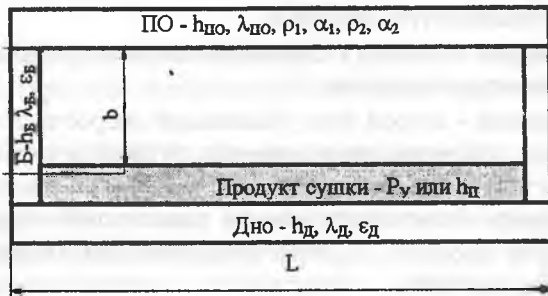
$$Q_T = (m_H - m_K) * \tau * \gamma, \quad (1.6)$$

где γ – теплота испарения воды ($\gamma = 0.66 \text{ кВтч/кг} / 18$) и τ – время, в течение которого из продукта может быть удалена влага.

В общем случае солнечные сушилки представляют теплоизолированный ящик, одна из сторон которого может выполняться из материала, прозрачного для солнечного излучения, т.е. она практически аналогична конструкции горячих ящиков солнечных коллекторов (см. рис. 9.17).



а)



б)

Рис. 9.17. Солнечная сушиллка – основные элементы (а) и параметры (б).

К технологическим параметрам продукта сушки относятся толщина слоя продукта $h_{\text{Д}}$ или удельная загрузка $P_{\text{У}}$ [$\text{кг}/\text{м}^2$].

В РС количество тепла, падающего на сушиллку за время τ равно

$$Q_{\text{с}} = E_{\text{с}} * S_{\text{к}} * \tau, \quad (1.4)$$

где $S_{\text{к}}$ – габаритная лучевоспринимающая площадь сушиллки (обычно $S_{\text{к}} = a * L$) и $E_{\text{с}}$ – плотность суммарной (прямой и диффузной) солнечной радиации.

Существенное влияние на работу солнечных сушиллок могут оказать параметры окружающего воздуха – температура t_0 , влажность φ_0 и скорость ω_0 .

Длительность процесса сушки зависит не только от влажности продукта, но и в существенной степени от размеров (толщины) высушиваемого продукта и его биохимических свойств – строения и вида связи влаги в продукте.

Одним из интегральных параметров, по которому на практике определяется интенсивность сушки это скорость сушки (действительная, или эффективная) – N [$\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$].

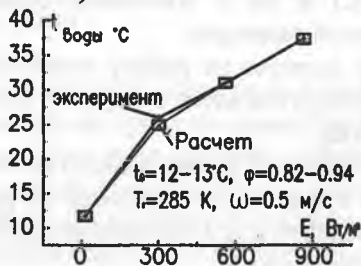
В процессе сушки, с изменением влажности продукта изменяется и характер сушки. В общем случае можно выделить четыре периода сушки:

- **начальный** – выход температуры продукта на стационарный режим (до температуры мокрого термометра);
- **первый** – период постоянной скорости сушки или постоянной температуры продукта;
- **второй** – период убывающей скорости, сопровождаемый ростом температуры продукта;
- **третий** – второй этап убывающей скорости сушки, имеющий место для продуктов, проявляющих гигроскопические свойства.

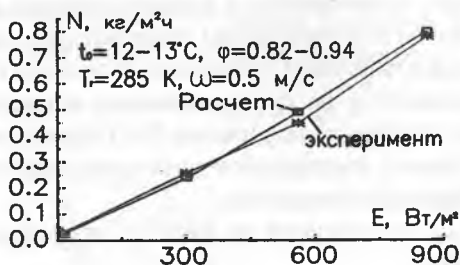
Начало третьего периода соответствует точке, в которой влажность материала становится меньше равновесной гигроскопической влажности продукта ω_m при относительной влажности окружающего воздуха 100%.

Выбор типа сушилки определяется масштабом производства, климатическими особенностями местности, видом высушиваемого материала и стоимостью дополнительной энергии. Как и для других солнечных НПУ их экономичность существенно зависит от числа часов работы в году, поэтому, сушилку после окончания сезона сушки, желательно использовать для других целей, например, как теплицу.

Возможные стационарные температуры нагрева продукта при сушке и скорости сушки в первом периоде в солнечных РС сушилках приведены на рис. 9.18. (сравните с динамикой испарения воды в солнечном опреснителе).



а)



б)

Рис. 9.18. Стационарные температуры и скорости испарения воды в «открытой» радиационной солнечной сушилке.

9.10. Солнечное охлаждение

Для получения холода используется парокомпрессионные и абсорбционные холодильные установки.

Парокомпрессионная холодильная установка (рис. 9.19.) состоит из испарителя (1), компрессора (2), конденсатора (3) и дроссельного вентиля (4).

В качестве рабочего тела хладагента в основном используются фреоны.

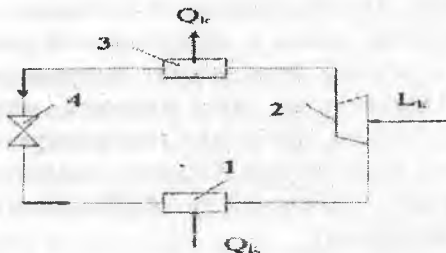


Рис. 9.19. Парокомпрессионная холодильная установка.

1- испаритель; 2- компрессор; 3- конденсатор; 4- дроссельный вентиль.

Цикл холодильной установки осуществляется следующим образом. В результате подвода теплоты Q_n в испарителе хладагент испаряется при низкой температуре и соответствующем низком давлении. Образующиеся пары хладагента сжимаются в компрессоре, для чего затрачивается работа L_k . При отводе теплоты Q_k в

конденсаторе пары охлаждаются и конденсируются при более высоких (по сравнению с испарителем) температуре и давлении. При прохождении хладагента через дроссельный вентиль его давление и температура понижаются до уровня давления и температуры испарителя и часть хладагента испаряется без подвода теплоты извне. Эффективность цикла холодильной установки определяется отношением холодопроизводительности.

Q_n к работе L_K затраченной на сжатие пара хладагента в компрессоре: $s = Q_n H_K$.

Цикл осуществляется в диапазоне температур в испарителе T_n и конденсаторе T_K , а максимально возможный холодильный коэффициент, соответствующий идеальному циклу Карно равен

$$s = T T_{K-T_n}$$

Холодильный коэффициент $e = 2-4$ и увеличивается при уменьшении разности температур в конденсаторе и испарителе.

Понизить температуру воздуха можно в помещении холодильных установок (абсорбционные или эжекторные) с подогревом рабочего хладагента до $70 - 95^\circ\text{C}$ в солнечных генераторах типа «горячий ящик»; высокотемпературные абсорбционные, работающие на водяном паре под давлением до $0,2...0,6$ МПа, полученном в солнечном паровом котле.

Принципиально солнечная холодильная установка не отличается от обычных схем абсорбционных установок.

Для производства холода в абсорбционной установке используется теплота, а рабочим телом служит бинарная смесь хладагента и абсорбента. Абсорбент это такая жидкость, которая химически связывается хладагентом при низких температурах и отделяется от него при высоких температурах. Обычно используются такие смеси: вода (хладагент) – бромистый литий (абсорбент) и аммиак (хладагент) – вода (абсорбент).

На рис. 9.20. показана схема абсорбционной водо-аммиачной гелиосистемы охлаждения здания. В этой схеме аммиак служит хладагентом, а вода – абсорбентом, поглотителем.

Нагретый в солнечном коллекторе теплоноситель с температурой 80°C поступает в генератор. Из абсорбера сильный раствор хладагента (аммиака) в воде подается насосом в теплообменное, где нагревается до температуры 70°C и поступает в генератор, в котором при нагревании раствора выделяется аммиачный пар. Слабый раствор аммиака через теплообменное стекает в абсорбер, а пары

аммиака с температурой 75°C после отделения капель воды направляется в конденсатор, где они превращаются в жидкий аммиак.

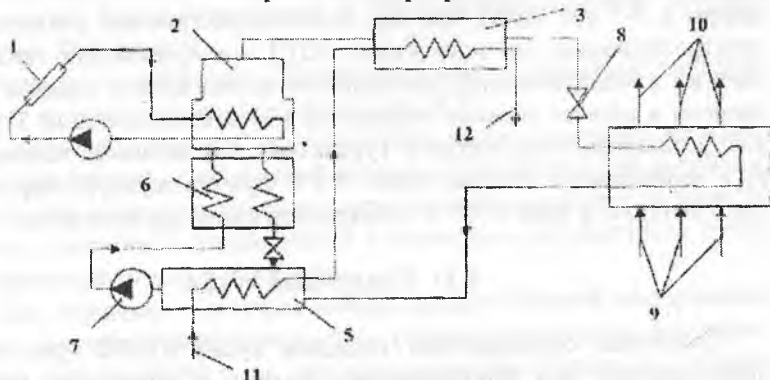


Рис. 9.20. Схема водо-аммиачной гелиосистемы кондиционирования воздуха:

- 1-солнечный коллектор; 2-генератор; 3- конденсатор; 4- испаритель; 5- абсорбер; 6-теплообменник; 7-насос; 8- вентиль; 9-наружный воздух; 10-охлажденный воздух; 11- холодная вода; 12-горячая вода.

Из конденсатора жидкий хладагент через дроссельный вентиль, понижающий давление с 1,2 до 0,3 МПа, поступает в испаритель (или ледогенератор), где он отбирает теплоту у воздуха (или воды) и снова превращается в пар низкого давления, а охлажденный воздух (или вода) направляется в помещение. Пары аммиака низкого давления поступает в абсорбер, и поглощаются слабым, выпаренным в солнечном генераторе, раствором. Теплота, выделяющаяся в абсорбере и конденсаторе, отводится с помощью воды, охлажденной в градирне. В результате получается нагретая вода. Обогащенный в абсорбере водо-аммиачный раствор небольшим насосом подается через теплообменник в генератор и процесс повторяется.

Для установки тепловой мощностью 10 кВт требуется солнечный коллектор площадью 50 м² при его КПД = 34%.

Коэффициент преобразования энергии для абсорбционной холодильной установки равен отношению холода производительности Q_n к количеству теплоты, подведенной в генераторе, Q_r : $cp=Q_n / Q_r$ -

Типичные значения этого коэффициента для бромистолитиевой установки 0,6-0,8, а водо-аммиачной можно 0,4-0,6. Эти цифры в 5-7 раз ниже, чем для парокompрессионной установки с электроприводом, но если учесть КПД преобразования тепловой энергии в электрическую, который составляет 0,33, а также потери энергии в сети то разница становится значительно меньше. Подобная установка, построенная в Туркмении, обеспечивала температуру в холодильных камерах около 5-6°C при температуре окружающего воздуха в тени 42 °C и температуре охлаждающей воды 26 °C.

9.11. Солнечные кухни

Солнечная семифацетная складная кухня КС-7Ф (рис. 9.21) предназначена для приготовления жидких и некоторых вторых блюд, кипячения воды, молока, а также получения дистиллированной воды.

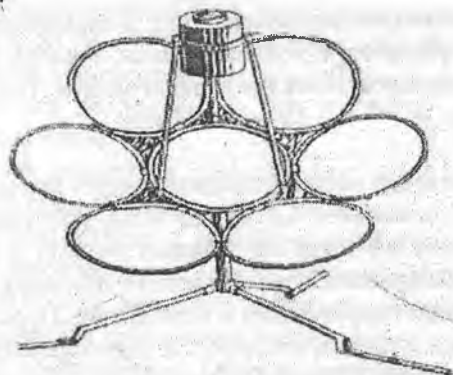


Рис. 9.21. Солнечная семифацетная складная кухня КС-7Ф для приготовления жидких блюд и кипячения воды.

Кухня может быть широко использована во всех районах Узбекистана, где количество ясных солнечных дней в году составляют не менее 200. При этом достигается среднегодовая экономия топлива до 0,44 тонн условного топлива. Общая рабочая площадь отражателей – 1,72м², производительность при солнечной радиации 700Вт/м² составляют 6 л кипятка в час. Кухня транспортируется в разобранном виде. Собранный гелиокухня с заправленным кипятивником устанавливается на освещаемой солнцем площадке. Поворотно-подъемным механизмом фокальное пятно совмещается с

дном теплоприемника (бидон, скороварка, чайник, чудо-печь, мантышница и т.д.). Через 10-15 мин регулируется положение фокального пятна. Кухня разработана в НПО «Физика-Солнце» АН Республики Узбекистан.

Пример конструкции солнечной печи с параболоцилиндрическим концентратором показан на рис. 9.22.

Солнечная печь для приготовления пищи включают четырехколесную тележку, переносной столик с отверстием для кастрюли, параболический концентратор, закрепленный шарнирно на раме тележки. Положение отражателя в течение дня регулируется путем поворота вокруг оси в шарнирах.

Для снижения тепловых потерь вокруг боковой необучаемой поверхности кастрюли должна быть размещена тепловая изоляция.

На широте 40-45 с. ш. для приготовления порции на четырех человек с помощью этой печи требуется 15-20 мин для приготовления омлета, 45-60 мин для варки риса, 1,5-2 ч для приготовления жареного мяса. В нерабочем состоянии отражатель может быть зафиксирован и установлен в вертикальное положение. Это необходимо для предотвращения возможного повреждения его зеркальной поверхности.

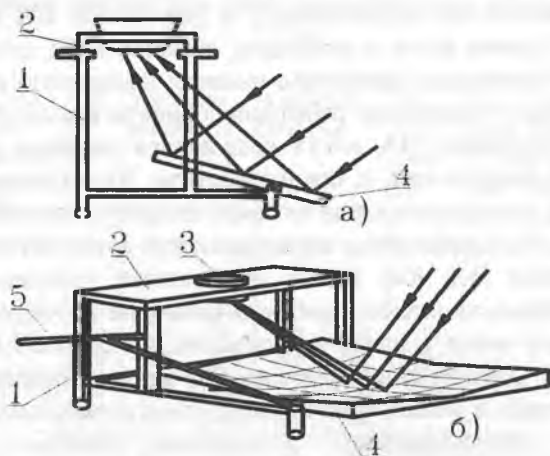


Рис. 9.22. Плита с параболическим концентратором:
1-тележка; 2-столик; 3-кастрюля; 4-параболический концентратор;
5-ручка для поворота концентратора.

Глава 10. АККУМУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В связи с переменностью поступления солнечной и ветровой энергии установки на их основе должны иметь в своем составе аккумуляторы энергии – тепловые, электрохимические, гидравлические, водородные и другие. Общие требования к таким аккумуляторам, как и к самим установкам ВИЭ, это длительный срок службы и минимально возможные капитальные и эксплуатационные затраты.

10.1. Электрохимические аккумуляторы

Наиболее перспективными для использования в установках ВИЭ, в настоящее время являются электрохимические аккумуляторы (ЭА). Их широкое применение в различных областях техники обусловило их достаточное многообразие и техническое совершенство. Во многом они применимы и в установках ВИЭ: безопасность, отсутствием шума и вибрации, высокие КПД, возможность длительного хранения, достаточно высокая надежность и простота в эксплуатации, сохранение работоспособности в низкой температуре. Из отдельных ЭА могут создаваться системы различной мощности и напряжения, к преимуществам ЭА относится и возможность их размещения вдали от самих энергоустановок.

В табл. 10.1. приведены характеристики существующих и некоторых новых ЭА. Как видно, наибольшие удельные энергоемкость и мощность имеют серебряно-цинковые аккумуляторы. Их преимущество также в малой зависимости выходного напряжения от силы тока. Однако, они дороги, имеют малую сохранность в залитом состоянии и малый срок службы, из-за возможных коротких замыканий, образующимися дендритами серебра и цинка «вползания цинка», разрушения сепаратора, они также неудовлетворительно работают при низких температурах.

Однако основные причины, сдерживающие их широкое применение, это малый срок службы и высокая стоимость, используемого в них кадмия. Несколько более высокий срок службы имеют

свинцовые и никель-железные ЭА. Свинцовые аккумуляторы могут работать при низких температурах, давать достаточно высокие мощности при кратковременных разрядах (стартерных режимах), имеют высокое напряжение.

Благодаря высокой удельной мощности, высокому и стабильному напряжению и невысокой стоимости свинцовые ЭА являются наиболее распространенными. Производство их непрерывно возрастает.

Активными веществами в свинцовых ЭА являются свинец и двуокись свинца, а электролитом – раствор серной кислоты. При работе ЭА на отрицательном электроде происходит реакция превращения свинца в сульфат свинца и обратно, на положительном электроде – превращение двуокиси свинца в сульфат свинца и обратно. Свинцовый ЭА имеет высокое разрядное напряжение, в среднем 2 В, и удельную мощность до 150-130 Вт/кг. Однако их удельная энергия на единицу массы невелика – до 40 Вт/кг. К недостаткам свинцовых ЭА следует отнести низкую энергоёмкость и невысокий ресурс.

Характерные параметры электрохимических аккумуляторов (ЭА)

Таблица 10.1.

Аккумулятор	Среднее напряжение, В	К.П. Д. %	Удельная мощность		Удельная энергия		Ресурс циклы	Сохран. в за-лит. сост., годы	Отно-сит со-хран. на един. энер-гии	Отн. сохран. элек-тро-энергии
			До	До	До	До				
Свинцовые	2,0	60-70	До 250	До 450	До 40	До 80	До 500	2	1	1
Никель-кадмиевый	1,1-0,8	50	До 500	До 1000	До 50	До 90	1000	1,5-2	2-8	1-5
Никель-железный	1,0-0,7	47	До 300	До 600	До 35	До 70	1000	1,5-1	1,5-3	1-2
Серебряно-цинковый	1,8-1,4	До 85	До 500	До 900	До 150	До 250	До 200	0,5-1,0	6-10	20-40
Серебряно-	1,5-1,15		50		До 70	До 130	До 500	До 2		

продолжение табл. 10.1.

кадмие- вый										
Хлор цин- ковый	1,8-1,7	-	60- 150	-	65- 150	-	90	-	0,5-1	0,5
Серно- натриевый	2-1,6	75	100- 400		90- 100				0,5-1	0,5
Серно- литиевый	2,0-1,5	-	До 600	-	80- 500	-	-	-	0,5-1,0	0,5
Суль- фидно- литиевый	1,8-1,3		30- 190		30- 170			годы		
Воздушно- железный	0,8	40	10-40	-	50- 115	-	-	-	1,5-1	-
Кислород- но- водород- ный	0,9-0,8	50- 60			45- 110		200- 1000	годы		1,0-1,5
Никель- водород- ный	1,3-1,2		55- 300		60-85	60	800- 5000			
Сереб- ряно- водород- ный	1,3-1,1		До 2000		120- 160		600- 2000 (ожи- дае- мый)-			

В последнее время разработаны новые типы свинцово-кислотных аккумуляторов. По технологии «Драйфит» электролит загущен в гель. Такие аккумуляторы обладают высокой надежностью в эксплуатации, как в буферном, так и в циклическом режимах работы. Они имеют герметичную конструкцию и не требуют обслуживания в течении всего срока службы, обладают малым саморазрядом, выдерживают большое число циклов заряда-разряда (более 2000 циклов в зависимости от глубины разряда), устойчивостью к глубоким разрядам, низкой стоимостью в эксплуатации.

По технологии «Пауэрфит» предусматривается производство герметичных необслуживаемых в течение всего срока службы свинцово-кислотных аккумуляторов. Их особенность в том, что электролит впитывается в специальный пористый сепаратор, что позволяет выдерживать особо высокие токи разряда, что важно для многих электрических устройств с большими пусковыми моментами (например электродвигатели).

Никель-железные ЭА имеют высокий ресурс и низкую стоимость и находят широкое практическое применение. Их недостатки это значительное ухудшение характеристик при понижении температуры, однако более чувствительны к изменению температуры никель-кадмиевые аккумуляторы.

Удельная энергия никель-кадмиевых аккумуляторов 10-45 Втч/кг, близка к энергии свинцовых ЭА. Достоинствами их являются лучшая сохранность и ресурс (более 1000 циклов). Поэтому потребление их непрерывно возрастает. Их недостатки меньшие КПД и меньшая удельная мощность, особенно при низких температурах.

Более высокой удельной мощностью и способностью принимать высокие нагрузки обладают ЭА со спеченными электродами. Несмотря на высокую стоимость, эти аккумуляторы, особенно в герметичном исполнении, находят все более широкое применение.

Высокую удельную энергию и невысокую стоимость имеют никель-цинковые ЭА, однако ресурс их пока невелик. Никель-водородный аккумулятор имеет более высокую удельную энергию на единицу массы по сравнению с существующими (кроме серебряно-цинковых ЭА) и большой срок службы. К их недостаткам следует отнести высокий саморазряд, относительно невысокие объемные характеристики и пока высокую стоимость.

Представляют интерес хлор-цинковые ЭА благодаря их высокой удельной энергии, мощности и невысокой цене. Однако необходимо решение ряда научно-технических проблем их практического создания, в том числе простых и надежных систем безопасного хранения хлора.

В настоящее время разработаны ряд типов аккумуляторов для:

- солнечных фотоэлектрических установок;
- ветровых установок;
- гибридных (комбинированных) солнечно-ветровых установок;
- систем запасного питания.

Типичными сферами применения этих установок являются электрическая связь, ретрансляция микроволн, станции ретрансляции, периферийные устройства дальней связи, обеспечение навигации, системы питания и освещения в отдаленных или труднодоступных районах.

10.2. Водород как аккумулятор энергии

В последние десятилетие стала совершенно очевидной ситуация, при которой дальнейшее интенсивное развитие современной энергетики и транспорта ведет человечество к крупномасштабному экологическому кризису. Стремительное сокращение запасов ископаемого топлива будет принуждать индустриально-развитые страны расширять сеть атомных энергоустановок, которые во все возрастающей степени станут повышать опасность их эксплуатации. Резко обострится проблема утилизации радиоактивных отходов.

Учитывая эту тревожную тенденцию, многие ученые и практики определенно высказываются в пользу ускоренного поиска альтернативных нетрадиционных источников энергии. В частности, их взоры обращаются к водороду, запасы которого в водах Мирового океана неисчерпаемы.

Известны несколько способов получения водорода.

1. Паровая конверсия метана (ПКМ). На первой ступени ПКМ при температуре 750...850 °С в присутствии катализатора происходит расщепление метана и водяного пара на водород и монооксид углерода. На второй ступени «реакция сдвига» превращает монооксид углерода и воду в диоксид углерода и водород. Эта реакция происходит уже при температурах 200...250 °С. В настоящее время это самый дешевый (и наиболее освоенный) промышленный способ производства водорода. Но для расщепления метана необходима высокая температура. Кроме того, реакция сопровождается выбросами CO и CO₂.

2. Разложение воды на водород и кислород (прямой термолиз) при нагревании свыше 2500 °С. Проблема здесь состоит в том, чтобы предотвратить рекомбинацию водорода и кислорода. Очевидны трудности с подбором материалов, выдерживающих такие температуры, и с источником энергии для нагрева.

3. Термохимический процесс получения водорода из воды при ее реакции с химически активными соединениями (например, брома), осуществляемый при высокой температуре. К недостаткам этого метода следует отнести большие энергетические затраты и необходимость проведения несколько стадий (обычно трех).

4. Электролитическое разложение воды (электролиз). Этот метод является одним из наиболее известных и хорошо исследованных методов получения водорода. Важен этот метод и потому, что

он является наиболее универсальным в отношении использования первичных источников энергии, т.е. не нарушается круговорот вещества в природе. У этого метода масса и других достоинств:

- высокая чистота получаемого водорода – до 99,99% и выше;
- простота технологического процесса, его непрерывность, возможность наиболее полной автоматизации;
- возможность получения ценнейших побочных продуктов – тяжелой воды и кислорода;
- общедоступное и неисчерпаемое сырье – вода;
- физическое разделение водорода и кислорода в самом процессе электролиза.

Есть у этого метода и громадные минусы. К ним следует отнести большие энергетические затраты, а также необходимость применения в качестве катализаторов платины или палладия. Как известно причина расточительной затраты электроэнергии при классическом электролизе кроется в том, что она используется на преодоление сил гидратных связей ионов с молекулами воды и компенсацию эндотермического эффекта реакции ее разложения. Поэтому для обеспечения восстановления ионов на соответствующих электродах необходимо приложить большее напряжение, чем в случае, когда не проявлялась бы это физическое явление. По этой и другим причинам затраты электроэнергии на выработку одного кубометра водорода с учетом перенапряжения при традиционном электролизе в промышленных условиях составляют 18-21,6 МДж, а общий расход энергии (с учетом производства самой электроэнергии) превышает 50 МДж, что делает водород недопустимо дорогим (в США оптовая цена 1,17-3 \$/м³).

5. Получение водорода путем реформинга углеводородов из нефти, бензина, метанола. Этот процесс может осуществляться непосредственно на борту автомобиля.

Водород можно получать из любых углеводородов (например, из этилового спирта, полученного путем брожения растительных культур, или из глюкозы, содержащейся в больших количествах в растительных биомассах). Самый эффективный из этих способов – реформинг метанола. Основной недостаток метаноловых элементов заключается в токсичности топлива. Эффективность других похожих технологий значительно ниже.

6. Фотоэлектрохимический метод получения промышленных объемов водорода из воды, основанный на фотоэффекте в полупроводниках.

По данным на конец прошлого века, в странах с развитой экономикой 77% водорода получали из природного газа и нефтепродуктов, 18% – из угля, 4% – из воды и 1% – из прочего сырья.

Технологии производства водорода достаточно хорошо освоены и имеют практически неограниченную сырьевую базу. Однако низкая плотность газообразного водорода, низкая температура его сжижения, а также высокая взрывоопасность в сочетании с негативным воздействием на свойства конструкционных материалов, выдвигают на первый план проблемы разработки эффективных и безопасных систем хранения водорода. Именно эти проблемы сдерживают развитие водородной энергетики в настоящее время. Сегодня известны физические и химические методы хранения чистого водорода.

Сочетание солнечной энергии с получением в качестве вторичного топлива водорода представляется достаточно заманчивым в связи с тем, что водород при этом может служить аккумулятором энергии, сглаживающим неравномерность поступления солнечной радиации. Такие схемы, в частности, представляют интерес и для сравнительно маломощных автономных потребителей.

Водород является не загрязняющим и возобновляемым продуктом, поскольку в начале и в конце цикла его использования применяется чистая вода; является более безопасным видом топлива, чем бензин (температура воспламенения 574°C по сравнению с 257°C для метана). Водород может использоваться как в газовых турбинах, котлах а также применяется в топливных элементах, вырабатывающих электричество с КПД преобразования 60-70% или даже больше.

Электрохимический генератор (ЭХГ); часто называемый топливным элементом, является одним из наиболее перспективных устройств для использования водорода в автономных энергетических установках. Электрохимический генератор представляет собой источник тока, в котором осуществляется прямое преобразование химической энергии топлива в электрическую. Основными качествами ЭХГ являются: продолжительная непрерывная работа, определяемая в основном запасом топлива, способность к значительным и продолжительным перегрузкам без заметного снижения на-

пряжения, умеренные рабочие температуры и давления, бесшумность работы и отсутствие каких-либо вредных выделений в окружающую среду, возможность использования в качестве окислителя кислорода воздуха.

Основным типом ЭХГ, разработка которого наиболее продвинута во всех странах и для всех задач, является водород кислородный (водородо-воздушный). Такой ЭХГ как источник электроэнергии длительного непрерывного действия является предпочтительным как по энергетическим характеристикам, так и по конструктивно-технологическому исполнению.

В настоящее время ЭХГ применяются в энергоснабжении автономных объектов, для которых главным является не экономические показатели, а массогабаритные, удельные энергетические и ресурсные характеристики. Сравнительно высокая стоимость таких ЭХГ определяется в основном единичным их выпуском, применением дорогостоящих катализаторов на основе драгоценных металлов (платины, палладия), материалов и комплектующих изделий, отвечающих исключительно жестким техническим и эксплуатационным требованиям объектов, на которых ЭХГ используются. Однако в настоящее время уже осуществляется переход к неплатиновым катализатором, а технические и эксплуатационные требования к ЭХГ обычного народнохозяйственного назначения значительно проще. Все это в сочетании с серийным выпуском, вероятно, приведет к снижению стоимости ЭХГ. В некоторых работах водородным энергосистемам с ЭХГ отводится заметная роль в электроэнергии вблизи мест ее потребления, экологической чистотой ЭХГ и малой зависимостью его КПД от номинальной мощности, палладия и некоторых других металлов. В отдельных случаях целесообразна комбинация этой системы с предварительной сорбционной очисткой газа от CO_2 . Однако любые системы очистки водорода от газообразных примесей сильно усложняют энергоустановку и снижают КПД системы. Поэтому становятся очень важными работы по созданию ЭХГ с кислым электролитом, для которых системы газоочистки могут быть значительно упрощены.

Второй из отмеченных способов получения водорода из органических топлив – пиролиз. Преимущество этого способа применительно к передвижным установкам заключается в отсутствии второго комплекта – воды, что должно существенно упростить эксплуатацию. Получаемый в результате пиролиза газ по пути в ЭХГ

проходит сероочистку и метанатор для снижения до минимума содержания CO .

К носителям водорода, используемым в автономных энергоустановках, относится также аммиак. Его термokatалитическое разложение при 773-973 К дает смесь азота и водорода в объемном соотношении 1:3. Эта смесь после сорбционной очистки от остатков неразложившегося аммиака может без разделения направляться в ЭХГ. Опытные энергоустановки с ЭХГ на аммиаке разработаны в ряде стран. Преимуществом аммиачной системы питания водородом является ее простота. Недостатки аммиака – химическая агрессивность и повышенные требования к технике безопасности при хранении.

Однако возникают серьезные проблемы при широкомасштабном использовании водорода, связанные с его транспортом и хранением. Водород способен проникать в металлы и делать их хрупкими. Предлагаются два решения этих проблем – использование ингибирующих добавок (например, очень небольших количеств кислорода) и применение защитных покрытий.

В настоящее время капитальные затраты в энергоустановки с ЭХГ весьма велики, и поэтому их применение ограничивается специальными автономными системами. Точные оценки масштабов их применения, как в крупной, так и малой энергетике затруднительны. Однако следует ожидать, что потребление водорода электрохимическими генераторами вплоть до 2000 г. будет невелико. При этом значительная часть водорода для автономных ЭХГ будет вырабатываться из его химических соединений непосредственно в составе энергоустановки.

В частности, при мелкомасштабном производстве очищенного водорода наиболее экономичным оказывается электролиз, так как использование современных систем очистки конверсионного водорода в этом случае нерентабельно.

В зависимости от типа ЭХГ предъявляются определенные требования к составу питающих его газов. Они не должны содержать соединений фосфора, серы и мышьяка, отравляющих катализаторы. Для низкотемпературных и средне температурных ЭХГ с водно-щелочным электролитом недопустимы также вредные примеси CO и CO_2 , образующие со щелочью карбонаты. При воднокислотном электролите присутствие CO_2 и небольших количеств CO допускается.

Однако, несмотря на очень серьезные трудности, возникающие при применении водорода, уже во многих промышленно развитых странах ведутся широкомасштабные интенсивные исследования по получению, хранению и использованию водорода, в частности для получения синтезированного метана, причем на основе государственных программ.

Последние двадцать лет новейшие разработки в области получения водорода были направлены, главным образом, на поиск более эффективных, чем традиционный электролиз, технологий производства водорода из воды, которая в долгосрочной перспективе может оказаться основным сырьевым ресурсом для получения водорода с помощью ядерной и нетрадиционных возобновляемых видов энергии.

В частности, это высокотемпературный электролиз (ВТЭ) – разновидность обычного электролиза. Часть энергии, необходимой для расщепления воды, вкладывается в виде высокотемпературного тепла в нагрев пара, делая процесс более эффективным. Эффективность метода ВТЭ зависит от цены электроэнергии и температуры потребляемого тепла. Электролизу подвергается пар с параметрами 3 МПа и 800°С. Удельный расход электричества, которое составляет большую часть потребляемой энергии, равняется 2,5 кВт.ч/м³ (при обычном электролизе около 6 кВт.ч/м³). При этом массовое соотношение потребляемого пара и производимого водорода составляет 9:1. Прогнозные структура и масштабы рынка мирового потребления водорода приведены в табл. 10.3.

Структура и масштабы рынка мирового потребления водорода (млн. тонн)

Таблица 10.3.

Отрасль потребления	Период		
	2000г.	2050г.	2100г.
Производство аммиака	20,0	50,0	87,5
Производство метанола	3,0	7,5	13,0
Нефтепереработка и нефтехимия	11,0	27,5	27,5
Производство синтетических топлив	-	-	180,0

Топливо для автотранспорта	-	260,0	450,0
Другие потребители, включая товарный водород	Менее, 3,0	7,0	13,0
ВСЕГО	40,0	~370,0	~800,0

10.3. Гидроаккумулирование электрической энергии

10.3.1. Виды и формы гидроаккумулирования

В мировой практике гидроэнергостроительства, за последние 100-120 лет выработаны ряд, оправдавших себя способов использования водной энергии, которым, как правило, сопутствует та или иная форма гидравлического аккумулирования энергии (гидроаккумулирование).

В связи с задачами использования нетрадиционных источников энергии традиционные схемы и классификация гидроаккумулирующих установок (ГАУ) расширяются.

По функциональному назначению гидроаккумулирующие установки можно разделить на две группы: гидроаккумулирование электрической энергии (ГАЭЭ) и гидроаккумулирование механической энергии воды (ГАМЭВ).

В свою очередь ГАЭЭ подразделяется на ГАЭС, ГЭС-ГАЭС и НС-ГАЭС, а ГАМЭВ на ГЭС, НС, ВНУ, СНУ). На рис. 10.1 представлены схемы ГАУ.

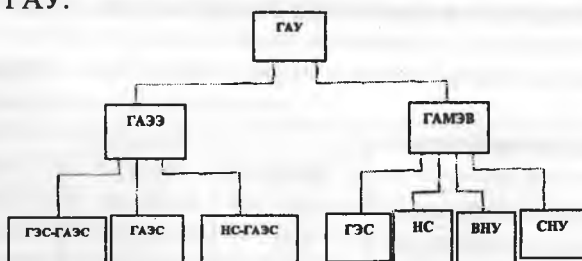


Рис. 10.1. Схемы ГАУ.

На ГАЭС применяются раздельная четырехмашинная, трехмашинная и двухмашинная схемы гидроагрегатов с насос-турбинами.

ГЭС-ГАЭС представляет ГЭУ, у которой установлены как турбинные, так и обратимые агрегаты. Наиболее целесообразно преобразование ГЭС в ГЭС-ГАЭС, например, в процессе реконструкции. При этом возможны два варианта: установка обратимых агрегатов вместо части турбинных и расширение ГЭС путем установки дополнительных агрегатов. Первое направление возможно при наличии сомкнутых бьефов, достаточной высоты отсасывания для обеспечения безкавитационного режима работы в насосных режимах и наличия достаточных объемов воды в нижнем бьефе. Второе направление целесообразно осуществлять на гидроузлах с частыми холостыми сбросами, при недостатке в энергосистеме маневренных мощностей. Внедрение режимов ГЭС-ГАЭС позволяет увеличить установленную и гарантированную мощность ГЭС, выработку энергии и существенно расширить режимные функции.

Схемы НС-ГАЭС целесообразно реализовывать на НС, расположенных между двумя крупными водоемами или при работе из длинного магистрального канала с большой аккумулирующей возможностью. В этом случае организуется работа насосных агрегатов в турбинном режиме и обеспечивается выдача мощности в энергосистему.

Ветровые и солнечные насосные установки, используя энергии ветра и солнца позволяют с помощью насосов осуществить гидравлическое аккумулирование механической энергии воды.

Гидроаккумулирование энергии осуществляется путем строительства различного типа гидроэнергетических установок (ГЭУ), в частности ГЭС, ГАЭС, ПЭС и, в известной мере, насосных станций (НС). Они довольно резко различаются друг от друга как своим функциональным назначением, длительностью цикла аккумулирования, так и накопленными запасами воды, превращенными в электрическую энергию.

Отличаются эти ГЭУ также по характеру действия и взаимосвязью с энергосистемой: одностороннему или двухстороннему, в зависимости от того выдают ли они энергию, потребляют ее или происходит как выдача, так и потребление.

К установкам одностороннего действия относятся ГЭС, выдающие энергию, и НС, потребляющие ее из энергосистемы, а двухстороннего действия ГАЭС и ПЭС, как выдающие, так и потребляющие энергию. Связь ГЭУ с энергосистемой осуществляется с помощью высоковольтных ЛЭП переменного напряжения обычно 110-750 кВ.

Как правило, строительство ГЭУ основывается на создании запасов воды, которые могут быть использовано в очень широком диапазоне по времени: от нескольких часов до ряда лет. Так, цикл наполнения и сработки верхового и низового водоемов ГАЭС ограничивается частью суток, а многолетняя составляющая емкости крупных водохранилищ ГЭС создается годами, обычно после многолетнего периода на данной реке.

Более того, из практики гидростроительства можно привести пример, когда накопление запасов воды длилось веками, а использовались они несколько десятилетий. Имеется в виду каскад из 6 ГЭС на реке Раздан в Армении. Строился этот каскад, общей мощностью около 550 МВт, в период 1930-62 годов и эксплуатация его обеспечивалась за счет сработки вековых запасов воды озера Севан, из которого вытекает река Раздан.

Однако пришло время, когда накопленные запасы были использованы, уровень озера понизился примерно на 10-15 м и на верховой ступени Севанской ГЭС значительно уменьшился напор. В связи с этим для наполнения полезной емкости недавно была осуществлена переброска стока из реки Арпа в озеро Севан, путем строительства туннеля в две очереди – 18 и 30 км.

На крупных русловых гидроузлах создание необходимой полезной емкости для обеспечения годовичного или сезонного регулирования стока достигается, главным образом, за счет большей площади водохранилищ, а сработка их составляет несколько метров. Соответствующий эффект на приплотинных гидроузлах может быть достигнут при сработках водохранилищ на десятки метров. На деривационных ГЭУ при отсутствии водохранилищ достаточной емкости стремятся предусматривать хотя бы устройство бассейнов суточного регулирования.

10.3.2. Особенности гидроаккумулирования на ГЭС и ГАЭС

Создаваемые полезные емкости в водохранилищах ГЭС или в водоемах ГАЭС обладают весьма различным количеством аккумулируемой воды и разной цикличностью работы, от нескольких часов до многих лет, что предопределяет и разнообразие технических решений с гидротехнической точки зрения, а также в отношении основного устанавливаемого на них основного гидроэлектросилового оборудования.

Специфическими особенностями, в этом отношении, обладают ПЭС, использующие приливно-отливную энергию на побережьях морей и океанов, а также НС. Последние обычно являются непрерывным звеном для аккумуляции воды и энергии при строительстве гидроэнергокомплексов различного назначения, а также энергокомплексов с ВИЭ.

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Речные гидроузлы с плотинной схемой создания напора строятся, пока при высотах бетонных плотин до 250-300 м и, как исключение до 300-335 м на Нурекской и Рогунской ГЭС в Таджикистане с грунтовыми плотинами (строительство последней законсервировано). Созданию достаточно крупных водохранилищ в составе русловых и приплотинных ГЭС препятствует, как правило, необходимость сохранения приемлемых экологических условий, а также большие затраты на подготовку водохранилищ.

Однако, если экономическая целесообразность строительства доказана, а создаваемый объем водохранилищ обычно обеспечивает такую полезную их емкость, которая позволяет зарегулировать сток в многолетнем, годовом или сезонном разрезе. Для точного регулирования сработка ниже НПУ неощутимо мала. Такое положение складывается и на установках с плотиннодеривационной схемой создания напора, как на Ирганайской ГЭС в России и Ингурской ГЭС в Грузии.

Как указывалось, строительству русловых гидроузлов на крупных реках сопутствует создание водохранилищ годового регулирования с большой площадью при сравнительно небольших колебаниях уровня сработки. Так, например, в каскаде Волжско-Камских гидроузлов сработка до УМО составляет от 2-3 м до 7,5 м на Камской и Чебоксарской ГЭС. На Саратовской ГЭС, благодаря вышерасположенному Самарскому водохранилищу многолетнего регулирования со сработкой на 7,5 м, отметка НПУ постоянна, также как и на Иркутской ГЭС, естественным водохранилищем которой служит озеро Байкал.

На приплотинных гидроузлах Ангаро-Енисейского каскада с годовым циклом гидроаккумулирования относительно меньшие площади водохранилищ требуют более глубоких сработок, достигающих 40 м на Саянской при $H = 242$ м и 18 м на Красноярской ГЭС. Исключением являются Усть-Илимская и Богучанская ГЭС на Ангаре, выше которых находится Братская ГЭС с многолетним ре-

гулированием, обеспечиваемом при сработке на 10 м (на Усть-Илимской – 1,5 м, а на Богучанской ГЭС – без сработки).

Глубокой сработкой в 40 м отличается Чиркейская ГЭС на р. Сулак при $N_{пл} = 184,5$ м и Бурейская ГЭС – 22 м при $N_{пл} = 140$ м. Особыми условиями отличается Зейский гидроузел комплексного назначения, на котором при $N_{пл} = 115$ м сработка составляет 16 м. Дело в том, что его строительство было обусловлено необходимостью борьбы с катастрофическими наводнениями, приносящими большой ущерб народному хозяйству. Если бы вопрос об этом решался изолированно, достаточно было построить плотину для восприятия ливневых паводков высотой до 70 м. Увеличение ее высоты на 45 м позволило осуществить как гидроаккумуляцию, для выработки энергии, так и предусмотреть резервную емкость для борьбы с наводнениями, т.е. решить поставленные задачи комплексно.

Поставленные цели достигнуты благодаря созданию одного из крупнейших в стране Зейского водохранилища общим объемом $68,4 \text{ км}^3$ при площади 2119 км^2 , которое по объему уступает лишь Братскому – $169,3 \text{ км}^3$ и Красноярскому – $73,3 \text{ км}^3$, а по площади Самарскому – 55500 км^2 и Братскому – 5470 км^2 .

Этими двумя водохранилищами обеспечивается наиболее длительный цикл гидроаккумуляции, а именно многолетний, что касается кратчайшего цикла на русловых и приплотинных ГЭС, т.е. обеспечение суточного регулирования, то никаких затруднений не возникает благодаря большим площадям водохранилищ, а значит ничтожно малым сработкам.

На деривационных ГЭС с ограниченной емкостью водохранилищ всемерно стремятся к устройству бассейнов суточного регулирования, чтобы обеспечить хотя бы такую степень регулирования, без которой возможность участия ГЭС в покрытии графиков нагрузки энергосистемы снижается.

Препятствия для полноценного участия ГЭС в пиковой части графиков нагрузки могут проявиться на гидроузлах комплексного назначения когда, кроме энергетики, должны быть удовлетворены интересы водного транспорта, орошения, водоснабжения и других водопользователей.

В таких случаях желательно по возможности увеличить полезную емкость, чтобы обеспечить эффективность других участников комплекса, а при невозможности этого, необходимо найти ком-

плексное решение, дающее наиболее эффективное распределение емкости между участниками.

Возможность получения того или иного количества энергии (\mathcal{E}) за счет гидроаккумулирования, т.е. накопления определенного объема воды (V), который может быть пропущен через гидро-агрегаты с КПД агрегата η_{AG} и среднем значении напора (H_{CP}), определяется в кВтч по известному выражению:

$$\mathcal{E} = N \cdot T = V \cdot H_{CP} \cdot \eta_{AG} / 367.$$

Значение \mathcal{E} принято называть энергетическим эквивалентом емкости, если же необходимо определить полезный объем V для различной степени регулирования стока от суточного до годового, в зависимости от вырабатываемой \mathcal{E} или произведения мощности N в кВт на число часов использования T в год, то удобнее пользоваться иной интерпретацией, а именно:

$$V = 367 \cdot \mathcal{E} / (H_{CP} \cdot \eta_{AG}).$$

Теоретические исследования и опыт практических водохозяйственных расчетов показывают, что для обеспечения суточного регулирования необходимый полезный объем водохранилища составляет 5-10 % от суммарного количества воды, пропущенного через турбины за сутки, а для недельного регулирования 50-100 % этого объема.

Наличие водохранилища с полезным объемом V , составляющим только 2-3 % от среднегодового стока реки W_0 , уже начинает положительно сказываться на регулировании стока в годовом разрезе. При V равном 5-10 % от W_0 годовое регулирование получается частичным, а при 40-60 % – полным. Для частичного сезонного регулирования требуется 20-30 % от W_0 . При годовом цикле регулирования наполнение водохранилища до НПУ и предпаводковая сработка всей полезной емкости V до УМО происходит ежегодно (рис. 10.2). Резервная емкость между НПУ и форсированным – ФПУ или максимальным уровнем – МПУ не должна заполняться, так как предназначена для трансформации паводков и борьбы с наводнениями.

Частично многолетнее регулирование стока может иметь место при $V > (0,3 - 0,6) W_0$, а для полного необходимо чтобы $V > (0,3 - 0,6) W_0$. Как известно, расчеты при многолетнем регулировании стока, основанные на методах математической статистики и теории вероятности усложняются, поскольку приходится выделять отдель-

но многолетнюю ($V_{\text{МН}}$) и годовую ($V_{\text{ГОД}}$) составляющие полезной емкости, тогда $V = V_{\text{МН}} + V_{\text{ГОД}}$.

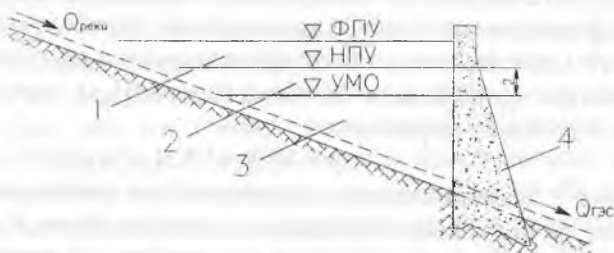


Рис. 10.2. Схема водохранилища речного гидроузла.

- 1 - резервная емкость; 2 - полезный объем при глубине «Z»;
3 - мертвый объем; 4 - подпорные сооружения гидроузла.

Процесс накопления и длительность цикла аккумуляирования, по сравнению с менее глубоким регулированием стока весьма существенно изменяются, так как накопление и сработка водохранилища происходит как в годовом, так и в многолетнем разрезе. При этом накопление водохранилища до НПУ возможно лишь после серии многоводных лет, а сработка до УМО вызывается рядом маловодных лет.

В определенных случаях при расчетах гидроаккумуляции на ГЭС требуются удельные показатели, в частности, какое количество воды (q) затрачивается на выработку 1 кВт.ч энергии. Из приведенных выше зависимостей следует, что

$$q = V/\mathcal{E} = 367/(H_{\text{ср}} \cdot \eta_{\text{АГ}}).$$

Созданию значительной полезной емкости водохранилищ, для аккумуляции стока, обеспечивающего выработку гидроэнергии, сопутствует процесс трансформации паводков, поскольку цикл годового регулирования стока завершается полной сработкой полезного объема к предпаводковому периоду.

В результате трансформации резко могут быть уменьшены максимальные расчетные расходы, а следовательно и сбросные расходы через водосливную плотину, что заметно сокращает затраты по сооружению гидроузла. Снижение расчетных расходов на ряде гидроузлов характеризуется следующими данными: Красноярский – с 39000 до 20000 м³, Саянский с 25000 до 15900 м³, Зейский

с 14500 до 66005 м³. Следовательно, в ряде случаев число пролетов водосливных плотин может быть уменьшено вдвое и более.

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. В отличие от ГЭС одностороннего действия, призванных превращать механическую энергию движения воды в электрическую энергию, выдаваемую в энергосистему, ГАЭС относятся к установкам двухстороннего действия, как правило, с кратким, в пределах суток циклом гидроаккумулирования.

В ночное время, когда в энергосистемах имеется свободная неиспользуемая мощность (так называемые «провалы» в графиках нагрузки), ГАЭС в течение 6-8 часов работают в насосном режиме (НР), производя подкачку воды из низового водоема в верховой, а днем, в часы пиков графика нагрузки, работая по 3-4 часа в турбинном режиме (ТР), они позволяют уменьшить, обычно имеющий место дефицит пиковой мощности. Отсюда следует, что общая длительность цикла аккумуляирования составляет 9-12 часов в сутки.

Этот распространенный вид гидроаккумулирования имеет высокую экономическую эффективность благодаря тому, что на «заряд» – ночную подкачку воды используется дешевая, по существу бросовая энергия, а при дневном «разряде» – работе в пиках графика нагрузки реализуется энергия в несколько раз более дорогая, чем ночная.

Коэффициент полезного действия (КПД) при этом составит:

$$\eta_{\text{ГАЭС}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{РАЗ}}}{\mathcal{E}_{\text{ЗАР}}} = 70 - 75\%,$$

где: $\mathcal{E}_{\text{РАЗ}}$ и $\mathcal{E}_{\text{ЗАР}}$ обозначают, соответственно выработку энергии в ТР (Эт) и её потребление в НР (Эн).

Таким образом, при гидроаккумулировании теряется до 25-30% энергии, но не качество ее, а значит и стоимость возрастает в несколько раз.

На современных типах ГАЭС, оборудованных крупными агрегатами, КПД значительно выше и достигает 76-79%. Указанные КПД 70% относятся к старым и небольшим установкам.

Высокая маневренность ГАЭС и практически отсутствие более эффективных альтернативных установок для получения пиковых мощностей, способствовали активному строительству ГАЭС в последние 20-30 лет. В результате число их в мире приближается к 300, а общая мощность – к 100 ГВт. В СНГ есть одна промышленного значения Загорская ГАЭС, под Москвой мощностью 1,2 ГВт, включающая 6 обратимых агрегатах с расчетным напором 100 м.

Намечается строительство ряда крупных ГАЭС, вблизи Санкт-Петербурга (на р. Шапше, притоке Свири) и Самары (Переволокская ГАЭС на р. Волге), а также крупнейшей Карельской ГАЭС мощностью около 2,5 ГВт (до 3,6 ГВт при участии Финляндии).

Естественно, что крупные ГАЭС требуют создание аккумулирующих водоемов значительных объемов (F) и соответственно площадей и величин сработок, влияющих на напоры, как в ТР(H_T), так и в НР(H_H) режимах. Соответственно могут различаться мощности в обоих режимах (N_T и N_H), а также число часов использования мощности T_T и T_H .

Для простейших технических схем ГАЭС, например, с двумя водоемами (рис. 10.4.), так называемый энергетический эквивалент емкости создаваемых водоемов определяется по известным выражениям соответственно в ТР и НР режимах:

$$\mathcal{E}_T = N_T \cdot T_T = V \cdot H_T \cdot \eta_T / 367 \quad \text{и} \quad \mathcal{E}_H = N_H \cdot T_H = V \cdot H_H \cdot \eta_H / 367,$$

где: $V, \text{ м}^3$ – необходимый суточный, годовой или другой объем воды, позволяющий при соответствующих напорах H_T и H_H , а также КПД агрегатов η_T и η_H выработать то или иные количество энергии.

Для выработки 1 кВтч энергии в ТР требуемое количество воды в м^3 :

$$q = V / \mathcal{E}_T = 367 / (H_T \cdot \eta_T),$$

а для подачи 1 м^3 воды в НР потребление энергии из энергосистемы составит в кВтч:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_H / V = H_H / (367 \cdot \eta_H).$$

Практика гидроаккумулирования показывает, что в зависимости от природных условий, создаваемого напора и назначения ГАЭС возможно осуществление разнообразных технических схем при их строительстве.

Простейшим решением является устройство верхового и низового водоемов, между которыми прокладываются наземные трубопроводы или подземные водоводы реверсивного действия для работы как в ТР, так и НР режимах. Такая деривационная схема является наиболее распространенной и охватывает очень широкий диапазон напоров почти до 1800 м (рис. 10.3).

В качестве одного или обоих водоемов целесообразно использовать озера или существующие водохранилища. Низовой водоем часто может быть создан путем устройства запруды на реке. Если расходы воды в реке достаточны для обеспечения НР, то от низового водоема можно отказаться, т.е. в составе ГАЭС будет лишь один верховой водоем.

Меньшее распространение имеет плотинная схема ГАЭС, поскольку она охватывает зону напоров лишь до 300 м, и с экономической точки зрения относительно менее эффективна.

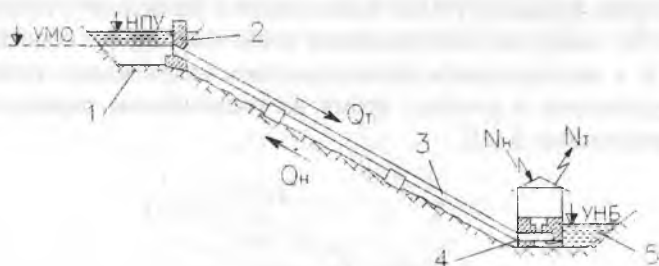


Рис. 10.3. Типичная схема обычной, деривационной ГАЭС, с двумя водоемами 1-верховой водоем; 2-водоприемник – водоотпуск; 3-наземный водовод реверсивного действия (ТР и НР); 4-здание ГАЭС; 5-низовой водоем.

В отличие от этих простых схем с обычными ГАЭС (иногда называемых «чистыми»), при наличии приточности к верховому водоему ($Q_{пр}$) строят ГЭС-ГАЭС. Отличительной особенностью их является то, что кроме выполнения обычных функций ГАЭС, обычно при помощи обратимых агрегатов, обеспечивающих работу в ТР и НР, для использования $Q_{пр}$ устанавливаются так называемые «прямые» агрегаты, работающие только в ТР, т.е. выполняющие функции ГЭС, что и предопределяет применяемое название этих установок ГЭС-ГАЭС.

На ГЭС-ГАЭС гидроаккумуляция воды происходит двумя способами: как в обычных ГАЭС с суточным циклом водооборота и способом регулирования боковой приточности, если затраты на это экономически оправдываются. Если это мероприятие целесообразно полезная емкость верхового водоема, а значит и его параметры должны быть соответственно рассчитаны на больший объем.

Еще более сложными схемами гидроаккумулирования отличаются ГАЭС с тремя водоемами, в состав комплекса сооружений которых входит насосная станция (НС), призванная производить подкачку воды при $N_{НР}$ во второй, более высоко расположенный, верховой водоем в ночное время, т.е. с использованием дешевой энергии. Между этим и низовым водоемом создается, по возможности

большой перепад H_{TR} , на котором вырабатывается днем наиболее ценная пиковая энергия.

На рис. 10.4. показана схема сложного комплекса сооружений, при котором функции ГАЭС выполняются раздельно установленными в НС насосами для подкачки воды при H_{HP} из водоема A в водоем B , с последующим использованием накопленных ночью запасов турбинами в дневное время на увеличенном перепаде H_{TR} , между водоемами B и C .

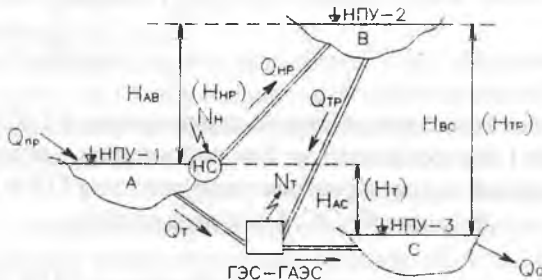


Рис. 10.4. Схема аккумуляирования с тремя водоемами, насосной станцией и зданием ГАЭС-ГАЭС.

Параллельно, путем создания перепада H_m на реке или канала между водоемами A и C используется транзитный расход Q_{TP} на низконапорной ГЭС, расход от которой Q_{OT} снова поступает в реку или канал.

Эффективной может оказаться несколько более простая схема с тремя водоемами из которых A и C находятся на двух соседних реках, а в водоем B производится подкачка из A с помощью НС при H_{HP} , с тем чтобы сработать созданный запас при большем напоре H_{TR} с помощью турбин, установленных в здании ГАЭС (рис. 10.5).

Таким образом, в отличие от обычных ГАЭС, часто оборудованных обратимыми агрегатами, в данной схеме НС и ГАЭС раздельны, но вместе выполняют функции ГАЭС. Кстати сказать, такая ГАЭС будет тем эффективнее, чем больше разница высотного положения долин соседних рек или реки и ее притока.

Имеются предложения по созданию высоконапорных ГАЭС с низовыми подземными водоемами для гидроаккумуляции, а также ГАЭС с емкостями в железобетонных резервуарах находящихся на дне моря, проектируются морские ГАЭС и др.

В зависимости от напора и назначения ГАЭС на них устанавливаются те или иные типы гидромашин: обратимые одноступенчатые насос-турбины (НТ) для H до 700 м, многоступенчатые (МНТ) в зоне напоров 800-1700 м при двухмашинной схеме, либо, более сложные, трехмашинные агрегаты при напорах от 100 до 1500 м.

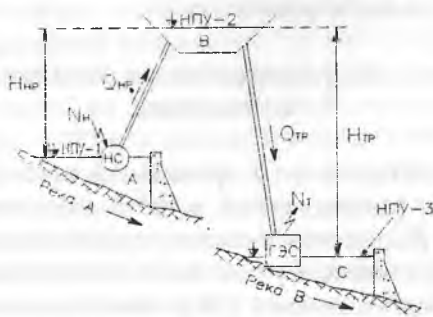


Рис. 10.5. Схема аккумуляции с ГАЭС, тремя водоемами, НС и переброски стока.

При трехмашинной схеме на общем вертикальном или горизонтальном валу устанавливается синхронная электрическая машина, гидротурбина радиально-осевого (РО) или ковшового (К) типа, а также обычно многоступенчатый насос между которым и гидротурбиной устанавливается муфта. Для обеспечения работы агрегата как в ТР, так и в НР используется свойство обратимости электромашины, т.е. возможность работы в двух режимах: генераторном и двигательном. Схема подземной ГАЭС с горизонтальным трехмашинным агрегатом приведена на рис. 10.2.

В отличие от подобных громоздких агрегатов применение компактных одно- и многоступенчатых двухмашинных агрегатов отличается малой металлоемкостью, но вызывает уменьшение КПД агрегата и меньшую их маневренность. Как известно, на таких агрегатах с НТ и МНТ используются свойства обратимости и реверсивности как гидромашин, так и синхронной электрической машины, работающей в качестве генератора при ТР и двигателя при НР.

Очень редко, когда имеется большая разница между $H_{ТР}$ и $H_{НР}$ в ГАЭС применяют отдельную четырехмашинную схему, при которой каждая пара машин в оптимальных условиях обеспечивают работу в ТР и НР. Например, на ГАЭС-ГАЭС Рейсеек-Крейцек с $H_{ТР} =$

1770 м, и $H_{\text{нр}} = 1070$ м. Эта установка отличается весьма сложной технической схемой гидроаккумулирования. Наличие нескольких верхних водоемов позволяет обеспечивать не только суточный цикл гидроаккумулирования, но и переходить к более глубокому регулированию стока – недельному, месячному, годичному, а в исключительных случаях и многолетнему.

10.3.3. Роль гидроаккумулирования в создании гидроэнерго-комплексов

Практика проектирования и проводимых исследований показывает, что следует разграничивать понятия комплексов, когда речь идет о создании комплексов, в состав которых входят различные по назначению энергетические установки и электростанции.

Примером энергокомплекса (ЭК), известным из технической и учебной литературе может служить Южно-Украинский ЭК, в состав которого входит крупная АЭС, мощностью несколько миллионов киловатт и ГЭУ различных типов.

Так в состав ЮУЭК будут входить: АЭС (4 ГВт), Ташлыкская ГАЭС (1,82 ГВт), Константиновская ГЭС-ГАЭС (0,4 ГВт) и НС (0,2 ГВт), т.е. суммарная мощность этого комплекса достигает почти 6,5 ГВт.

Кроме больших преимуществ совместного строительства такого комплекса, резко улучшается эффективность работы АЭС, которая ночью не может останавливаться и свободная ее мощность используется для работы ГАЭС в насосном режиме.

В России проектируется Краснодарский ЭК по составу сооружений отличающийся от ЮУЭК.

В отличие от ЭК в состав гидроэнергокомплексов (ГЭК) могут входить лишь разные виды ГЭУ в различных сочетаниях, в зависимости от назначения комплекса. Так, например, в состав известных ГЭК Мовуазен и Гранд Диксанс в Швейцарии входят уникальные плотины мира арочного и гравитационного типа, крупные водохранилища, системы туннелей, подземные и наземные ГЭС.

ГЭК Рейсеек-Крейцек в Австрии отличается сложным составом сооружений и разнообразием выполняемых ими функций и включающую самую высоконапорную в мире гидроустановку ГЭС-ГАЭС, на которой $H_T = 1772$ м и $H_n = 1070$ м, что потребовало применить раздельную четырехмашинную схему агрегатов. На этом

высоконапорном ГЭКе в Альпах реализована идея аккумулирования запасов воды, получаемой в результате таяния ледников, которая осуществлена путем создания системы многочисленных водоемов на различной высоте с разной степенью регулирования, включая суточное и недельное.

В основном здании станции установлено 6 агрегатов с ковшовыми турбинами общей мощностью 139 МВт (половина из них работает при $H_T = 1772$ м, другая – при $H_T = 587$ м), а во втором здании размещается НС на 3 агрегата общей мощностью 18,6 МВт с подачей при $H_H = 1070$ м в подпертый бьеф озера Мюльдорф, для чего построена плотина высотой 46 м. Большинство сооружений ГЭК расположено в бассейне р. Мелль – притоке Дравы на площади 280 км^2 , при разнице высотных отметок от 600 до 2400 м.

КУБАНЬ-КАЛАУССКИЙ ГЭК на Северном Кавказе возник в связи со строительством Большого Ставропольского канала и использованием ряда рек – Кубани, Куршавы, Барсучков. В состав этого комплекса входят: два больших и два выравнивающих водохранилища на канале, три бассейна суточного регулирования, ряда холостых и аварийных сбросов, семь шлюзов-регуляторов, а также четыре ГЭС и одна НС (ГАЭС).

Основные параметры гидроустановок следующие:

Наименование ГЭС	Напор, м	Мощность, МВт
Куршавская ГЭС - 1	50,5	2 x 18,5
Куршавская ГЭС - 2	123	4x46
Барсучковая ГЭС - 3	64,7	3x29
Барсучковая ГЭС - 4	59,2	3 x 25,2
Куршавская НС (ГАЭС)	31,2	6x3,2

Последняя используется как НС, но вне поливных периодов, благодаря обратимым агрегатам может работать в ТР, т.е. по существу является сезонной ГАЭС.

Кроме удовлетворения интересов энергетики и ирригации этот комплекс обеспечивает решение вопросов водоснабжения как коммунального, так и промышленного, поскольку на одном из водохранилищ находится водозабор канала, питающего Невинномысскую ГРЭС.

Таким образом, Кубань-Калаусский ГЭК, разрешая широкий комплекс народно-хозяйственных задач, является примером сложной многоцелевой водохозяйственной системы.

ТУЯМУЮНСКИЙ ГЭК. Гидроузел находится в нижнем течении р. Амударьи и представляет собой сложный многокомпонентный объект ирригационного назначения, включающий эксплуатируемую Туямуюнскую ГЭС, систему водохранилищ и магистральных каналов, насосных станций для водоснабжения, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой.

Туямуюнская ГЭС руслового типа, при расчетном напоре 16,4 м и расходе $Q = 6 \times 190 \text{ м}^3/\text{с}$ развивает мощность $N = 6 \times 25 \text{ МВт}$.

Система водохранилищ состоит из руслового и трех наливных – Капарас, Султансанджар и Кошбулак. Параметры системы водохранилищ приведены в табл. 10.4.

Магистральный самотечный канал длиной 21 км, соединяющий Султансанджарское и Кошбулакское наливные водохранилища, рассчитан на пропуск расхода $200 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный напор на канале для энергетического использования 10 м. Перепад на правобережном магистральном канале (ПК 169) составляет 6,1 м, независимо от расходов – он примерно постоянен. Максимальный среднемесячный расход составляет $76 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 10.4.

Параметры водохранилищ	Водохранилища системы				Всего
	Русловое	Капарас	Султансанджар	Кошбулак	
Мертвый объем, км ³	0,27	0,41	1,06	0,79	2,53
Полезный объем км	2,07	0,55	1,63	1,02	5,27
Полный объем, км ³	2,34	0,96	2,69	1,81	7,8
Площадь зеркала при НПУ-130, км ²	320	70	157	138	650

Ирригационные пропуски осуществляется с декабря по сентябрь месяцы.

Перепад на левобережном канале у ПК 170 составляет 3,4 м независимо от расходов воды. Максимальный среднемесячный расход равен $267 \text{ м}^3/\text{с}$, в ирригационном режиме работает с февраля по сентябрь месяцы.

Канал осветленной воды рассчитан на пропуск $500 \text{ м}^3/\text{с}$ из Султанджарского наливного водохранилища в реку Амударья ниже Туямуонской ГЭС. Длина канала 9 км, ширина по дну 41,5 м.

При составлении проекта Туямуонского гидроузла с ГЭС возможности более полного использования гидроэнергетического потенциала не рассмотрены.

Поэтому, учитывая благоприятные условия в районе гидроузла, предлагается схема переустройства его в ГЭК. В состав этого ГЭК включается существующая Туямуонская ГЭС и намечаемые к строительству малые и средние ГЭС -2-6, а также НС - ГАЭС - I - III., на ирригационных каналах и между системой водохранилищ. В результате строительства этого ГЭК можно увеличить выработку электроэнергии на 350 ГВт.ч / год , что будет иметь большие значение для развития народного хозяйства Узбекистана.

Приведем краткие сведения о ряде интересных, существующих и проектируемых ГЭК. В частности, это ГЭС-ГАЭС Гран-Мезон мощностью 1,8 ГВт во Франции с самой высокой каменно-земляной плотиной в Европе (160 м), каскаде из трех ГЭС мощностью около 2,1 ГВт на р. Паутэ в Эквадоре, с двумя самыми высокими в Южной Америке плотинами (165 - 170 м).

В Швеции действует сложный ГЭК с переброской стока из реки Юктан в реку Умеэльв. В его состав входит высоконапорная подземная ГАЭС Юктан (320 МВт), а также две подземные (по 88 МВт) и одна русловая ГЭС (18 МВт) на р. Умеэльв. Общая мощность этого комплекса составляет 514 МВт.

Обратимые агрегаты ГАЭС Юктан, находящиеся на трассе туннельной переброски, рассчитаны на напор 269 м и обеспечивают подкачку воды из водохранилища на р. Юктан в верховой искусственный водоем, расположенный выше на 205-230 м.

На Украине в Закарпатье разработан проект Теребля-Рикского ГЭК, состоящий из действующей высоконапорной Тереблинской ГЭС, а также проектируемых установок: низконапорной Березовской ГЭС и двух Высоконапорных ГАЭС – Тереблинской и Теребля-Рикской.

По существу 2-3 и более ступеней каскадов ГЭУ на одной или соседних реках, образующих единую водохозяйственную систему и предназначенные для увеличения гарантированной отдачи энергии или обеспечения оптимальных режимов и условий регулирования стока, также можно считать гидроэнергокомплексами.

К числу водохозяйственных задач, решаемых ГЭК, в частности относятся: компенсирующее регулирование стока верховым водохранилищем; использование низового буферного водохранилища; перерегулирование низовым водохранилищем расходов воды верхового водохранилища ГЭС, работающей в пиках графика нагрузки и др.

Глава 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НВИЭ

11.1. Социально-бытовые факторы применения ВИЭ

Если ранее основным потребителем энергии была промышленность и её доля в общем энергетическом балансе доходила до 35%, то к настоящему времени основными потребителями становятся индивидуальные предприниматели, бытовой сектор и сельское хозяйство, а доля промышленности упала до 25%.

Развитие новых форм хозяйствования в аграрном секторе экономики способствуют появлению принципиально новых социально ориентированных объектов энергопотребления: малые фермерские хозяйства, мини-заводы по переработке местного сырья, и соответственно к расширению частного сектора малых поселков с более комфортными условиями проживания и более широким применением бытовых электроприборов, установок для создания микроклимата в помещениях и т.д.

Годовое потребление электрической энергии, приходящейся на одного сельского жителя в Узбекистане не превышает 500 кВт.ч., в то время как в развитых странах приближается к 3000 кВт.ч. Такое отставание привело к низкому уровню социально-бытовых условий жизни жителей села Узбекистана. Это происходит на фоне роста внутренних цен на топливо и тарифов на тепловую и электрическую энергию.

Анализ структуры энергоносителей, используемых в небольших отдаленных кишлаках с населением 50-100 человек, показал, что средняя семья из 5 человек в зависимости от времени года затрачивает в сутки 10-15 кг сухой древесины для приготовления пищи, подогрева воды, обогрева и 0,3-0,5 л солярового топлива для освещения с помощью ламп, что в целом соответствует совокупным затратам энергии мощностью примерно 2 кВт, т.е. 0,4 кВт на человека. Это в два раза ниже, чем средняя на душу населения мощность потребляемой энергии в масштабе Земли.

Известно, что для создания комфортных условий жизни требуется в среднем, на человека 2 кВт мощности. Для повышения уровня жизни жителей горных регионов необходимо не только увеличить количество потребляемой энергии, но и качественно изменить структуру энергопотребления, а также методы получения и преобразования энергии для снижения доли побочных продуктов, например, дыма, отрицательно влияющих на среду обитания и здоровье самого человека.

Следует исключить использование солярного топлива для освещения и существенно снизить применение древесины для приготовления пищи. Из органических отходов производить биогаз, при этом попутно получается удобрение и очищается среда от болезнетворных микроорганизмов.

Для надежного энергообеспечения средняя семья из 5 человек могла бы иметь следующие энергоустройства (табл. 11.1.):

Табл. 11.1.

Устройство	Мощность, кВт	Стоимость (долл. США)
Микро ГЭС	4,0	2000
либо		
Ветроэнергетическая установка	1,0	1500
либо		
Солнечная фотоэлектрическая стан-	1,0	3000-5000
Солнечная кухня	0,5	100
Солнечный водонагреватель	1,0	300
Биогазификационная установка объемом метатанка 25м ³		
Дровяная печь, с объемом котла 5 л	1,0	50

Подобный набор энергоустройств обеспечивает создание вполне комфортных бытовых условий проживания сельской семьи.

В табл. 8.2. приведен примерный и достаточно полный перечень электрооборудования для бытового обустройства дехканского хозяйства с указанием периодичности и примерного среднесуточного времени работы. Их применение позволяет механизировать трудоемкие процессы в домашнем хозяйстве, создавать комфортные температурные условия в помещениях, обеспечивать информационный доступ к культурной, общественной и политической жиз-

ни страны, гарантировать надежное энергообеспечение радиосвязи, использовать, давно ставшие привычным в городских условиях бытовые устройства, как холодильники, микроволновые печи, стиральные машины, пылесосы, компьютеры, соковыжималки и др.

Улучшение социально-бытовых условий проживания сельского населения является важной самостоятельной причиной широкого применения НВИЭ, экономический эффект которого подсчитать невозможно.

В Узбекистане имеются обширные районы, где по социальным условиям целесообразно приоритетное развитие ВИЭ. К ним относятся:

- зоны децентрализованного энергообеспечения с низкой плотностью населения и очень малой плотностью централизованного энергообеспечения ОД-2,5 кВт/км – зона Приаралья, плато Устюрт, отдельные районы Бухарской, Навоинской и Кашкадарьинской областей;

- зоны с проблемами обеспечения энергией индивидуального жилья, фермерских хозяйств, мест сезонной работы, дач, садово-огородных участков;

- санаторно-курортные зоны и места массового отдыха и лечения населения, где особенно важно обеспечение хорошей экологической обстановки и уменьшение вредных выбросов в атмосферу от котельных, работающих на ископаемом топливе.

11.2. Роль НВИЭ в обеспечении энергетической независимости

До последнего времени электроэнергетическая система Узбекистана была полностью интегрирована в единую электроэнергетическую систему СНГ, рассматривалась как одна из её составляющих, а любые решения, связанные с развитием энергетических мощностей Республики в целом или отдельных районов, принимались лишь при условии оптимального развития Единой электроэнергетической системы и в основном и интересах доминирующего хлопкопроизводящего комплекса и крупнотоварных производителей. Как самостоятельно функционирующая система электроэнергетика Узбекистана, а в особенности сельская, вообще не рассматривалась.

С обретением Узбекистаном государственной независимости перед электроэнергетикой и перед сельским хозяйством встали новые задачи – обеспечение энергетической независимости.

В последние годы резко изменилась структура потребления в энергетическом понимании. Если ранее основным потребителем энергии была промышленность, то к настоящему времени основными потребителями стали индивидуальные хозяйства (бытовой сектор, индивидуальные предприниматели) и сельские хозяйства.

Такое перераспределение благоприятно сказывается на возможности использования ВИЭ.

Характерной особенностью электрических сетей в сельской местности, в первую очередь, распределительных сетей напряжением 6-10 кВ, является их разветвленность и значительная (до нескольких десятков километров) протяженность, обусловленные ограниченностью количества центров питания и необходимостью электроснабжения каждого населенного пункта, вплоть до самого удаленного. К каждой линии 6-10 кВ подключены, как правило, несколько, а некоторых случаях несколько десятков трансформаторных подстанций 6-10/0,38 кВ, что резко снижает надежность бесперебойной работы потребителей.

Другая особенность – электроснабжение сельскохозяйственных потребителей осуществляется в основном по воздушным линиям электропередачи в условиях отсутствия в большинстве случаев хороших подъездных путей и проездов вдоль трасс, крайней ограниченности транспорта повышенной проходимости. Значительная часть сельскохозяйственных потребителей получает электроэнергию по радиальным линиям, что также не способствует повышению надежности энергообеспечения.

Существующие электрические сельские сети, с трудом справляющиеся с нагрузками требуют дополнительных объемов по новому строительству и значительных объемов по восстановлению и реконструкции действующих электросетей.

Учитывая, что энергетика сельскохозяйственного производства характеризуется территориальной рассредоточенностью потребителей, затраты на создание новых распределительных электросетей становятся непомерно большими.

С возрастанием роли электроэнергии в сельскохозяйственном производстве повышается значение надежности электроснабжения как способности электрической сети в любой момент обеспечить электроэнергией присоединенных к ней потребителей.

Перерывы в энергоснабжении из-за аварийных отключений дезорганизуют жизнь городов и регионов, приносят ущерб, оцени-

ваемый в миллиарды долларов. По экспертным оценкам средне-многолетних потерь в сельском хозяйстве, а также в непрерывных производствах обрабатывающей промышленности, ущерб от недопоставленного количества энергии в 25-30 раз превышает стоимость недопоставленного количества энергии. Создание регулирующего рынка независимых энергопроизводителей в этих районах позволит избежать потерь от недопоставки энергии и снизить потери в сетях. Особенно актуально создание генерирующих мощностей на «концах» местных линий электропередач напряжением 6-10 кВ, имеющих большую протяженность. К таким линиям подключены многие потребители, и именно такие линии часто аварийно отключаются. Перерывы в энергоснабжении длятся многие часы, что усугубляет ущерб, понесенный потребителем и не компенсируемый энергоснабжающими организациями.

Во многом энергетическая безопасность регионов собственными топливно-энергетическими ресурсами является одним из основных показателей восприимчивости регионов к угрозам энергетической безопасности. Освоение и использование местных энергетических ресурсов (гидроэнергетика малых рек, торф, небольшие месторождения углеводородных топлив и др.), а также использование в первую очередь возобновляемых энергетических ресурсов (солнечная, ветровая, геотермальная, малых водотоков, энергия биомассы) позволяет многие регионы страны перевести на энергообеспечение за счет ВИЭ, обеспечив их энергетическую независимость.

Таким образом, выход заключается в рациональном сочетании «большой» традиционной и «малой» нетрадиционной энергетики, вовлечении в энергетический баланс автономных, децентрализованных источников энергии.

К неоспоримым преимуществам их стоит отнести возможности в обеспечении устойчивости и живучести энергообеспечения страны, ответственных объектов в чрезвычайных ситуациях, вызванных природными явлениями или умышленными человеческими действиями (терроризм и т.п.).

В этой связи перспективно использование возобновляемых источников энергии в первую очередь в регионах с повышенной экологической загрязненностью; в отраслях, в наибольшей степени загрязняющих окружающую среду вредными выбросами, а также для решения социально-экономических проблем в сельскохозяйственном секторе экономики; теплоэлектроснабжении насе-

ленных пунктов особенно в сельской местности, объектов здравоохранения и социальной сферы, энергоснабжении значительного числа рассредоточенных объектов, особенно в зоне Аральского моря, на малоосвоенных территориях, богатыми ценными минерально-сырьевыми ресурсами (плато Устюрт в Каракалпакстане, Навоинская, Бухарская, Кашкадарьинская, Сурхандарьинская области и т.п.).

11.3. Правовое регулирование использования ВИЭ

Развитие возобновляемой энергетики способствует уменьшению потребления ископаемого топлива и зависимости от его импорта, улучшению экологической обстановки и окружающей среды, а также к созданию новых видов производственной деятельности и новых рабочих мест. Кроме того, в зонах децентрализованного энергоснабжения на значительных территориях использование ВИЭ позволяет ускоренно повышать качественный уровень энергетических систем и возможность их поэтапного внедрения, при этом уменьшаются инвестиционные затраты и риски.

Без стимулирования развития ВИЭ невозможно их широко масштабное внедрение. К пониманию этого пришли все те страны, которые в настоящее время демонстрируют успехи в использовании и развитии ВИЭ. По опыту этих стран, наиболее эффективными признаны следующие формы стимулирования:

- усиление финансовой поддержки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведущих к снижению стоимости производства энергии от ВИЭ;
- целевые государственные инвестиции в отрасли промышленности, производящие энергетическое оборудование на основе ВИЭ;
- введение льготных кредитов для приобретения энергоустановок на базе ВИЭ;
- льготная система налогообложения для производителей и потребителей энергетического оборудования на основе ВИЭ;
- снижение или отмена таможенных пошлин на экспорт оборудования, установок и комплектующих изделий ВИЭ;
- установление налога на ископаемые топлива с учетом эмиссии CO₂;

- образование экологически чистых зон в местах массового отдыха и лечения населения и демонстрационных зон использования ВИЭ;

- разработка программ и курсов по подготовке специалистов в области ВИЭ в высших и специальных учебных заведениях.

Многие страны уже длительное время применяют самые разнообразные формы стимулирования и продолжают внедрять новые.

Последовательная энергетическая политика Узбекистана в условиях рыночной экономики должна проводиться на основе нормативных актов, регулирующих взаимоотношения хозяйственных субъектов энергетического рынка между собой и государственными органами. С этой целью создается система нормативно-законодательных актов.

Отдельные нормативные решения, закрепляющие положения и механизмы энергетической стратегии принимаются Указами Президента и постановлениями Правительства Республики Узбекистан.

Так, в нашей Республике действует принятый 7 мая 1997 года закон «О рациональном использовании энергии»: согласно которому устанавливаются некоторые льготы юридическим и физическим лицам, осуществляющим работы направленные на сокращение энергопотребления, использование вторичных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии и местных видов топлива, которым могут предоставляться дотации из средств фонда энергоснабжения. Предусмотрено предоставление льгот по:

- таможенным пошлинам и налогам на импорт специального оборудования, приборов и материалов, использование которых существенно повышает эффективность использования энергии;

- финансированию межотраслевых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, производству опытных партий энергетически эффективного оборудования;

- финансированию за счет государственного льготного кредита национальных, отраслевых и региональных целевых программ и проектов в области рационального использования энергии.

Постановлением Кабинета Министров РУз «О развитии малой гидроэнергетики в Республики Узбекистан» № 476 от 28 декабря 1995 г. утверждена программа развития малой гидроэнергетики, предусматривающая строительство ряда малых ГЭС. Правовая база стимулирования применения ВИЭ постоянно совершенствуется.

11.4. Киотский протокол и новые возможности возобновляемой энергетики

Глобальное влияние загрязнителей, повышение концентрации CO_2 в атмосфере может, по мнению многих ученых, вызвать глобальные изменения климата Земли в связи с так называемым «парниковым эффектом». Сущность этого эффекта состоит в том, что слой воздуха, обогащенного CO_2 хорошо пропускает солнечную радиальную и в то же время задерживает длинноволновое тепловое излучения Земли.

Повышение температуры Земли, в результате накопления в атмосфере парниковых газов (в основном углекислый газ), по мнению экспертов ООН, уже не в столь отдаленной перспективе может привести к таянию полярных льдов, затоплению обширных прибрежных зон и наступлению пустынь. Необратимые изменения климата по данным Метеорологического управления Великобритании, привели к тому, что завершающийся год оказался самым теплым с 1860, среднегодовая температура на 0,43 градуса Цельсия превысила среднюю температуру на планете в течение нескольких последних десятилетий. Прогноз изменения температуры воздуха представлен на рис 11.1.

Поэтому вопросы использования возобновляемых источников энергии (Солнца, ветра, малых рек, тепла Земли, биомассы и др.), которые удачно сочетаются с энергетическими и мощностными потребностями объектов сельского хозяйства, характеризующихся широкой географией применения и территориальной рассредоточенностью, становится особо актуальными.

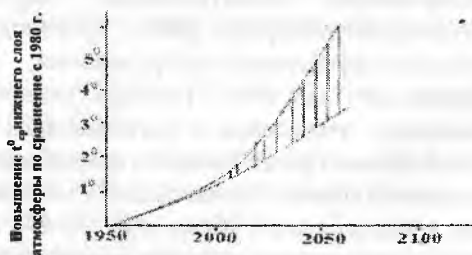


Рис. 11.1. Прогноз повышения температуры атмосферного воздуха.

Испанской ассоциацией производителей возобновляемой энергии в сотрудничестве с авторитетными испанскими институтами и организациями, занимающимися проблемами энергетики, выполнено исследование воздействия на окружающую среду при производстве электричества различными энергоисточниками: бурый уголь, каменный уголь нефтяное топливо, природный газ, ядерное топливо, солнечные фотоэлементы, микро ГЭС и ветер.

Ущерб от воздействия этих энергисточников на окружающую среду оценивался штрафными экологическими баллами. Эти баллы учитывали следующие факторы: глобальное потепление, истощение озонного слоя, засоление почв, эутрофикация (снижение содержания кислорода в воде) загрязнение тяжелыми металлами эмиссия канцерогенных веществ, формирование зимнего и летнего смога, наработка промышленных отходов, выбросы радиоактивности, а также истощение источников энергии. Результаты исследования приведены в таблице 11.1., а более наглядном виде на рис. 11.2.

В результате исследования получены следующие выводы: экологическая безопасность электростанций на возобновляемых источниках энергии значительно выше экологической безопасности электростанций на других видах энергии; возобновляемые источники энергии в целом в 31 раз менее вредны для окружающей среды, чем традиционные источники энергии (сжигающее ископаемое топливо), а 1 кВт.час электроэнергии, произведенной малыми и микро ГЭС – в 300 раз «чище» чем 1 кВт.час, произведенный при сжигании бурого угля. Оценки по другим методикам приводят к аналогичным выводам.

Эти экологические вопросы были рассмотрены на международной конференции по глобальному изменению климата на планете в г. Киото (Япония). Мировому сообществу впервые удалось договориться о взаимоприемлемых количественных показателях ограничения выбросов парниковых газов. Это соглашение получило название Киотского протокола. Он подписан представителями 84 стран, ратифицирован в 40, большинство которых составляют развивающиеся страны. Протокол войдет в силу, если он будет ратифицирован странами, ответственными за выбросы не менее 55% глобального (суммарного) выброса парниковых газов в базовом 1990 году.

Штрафной экологический балл для различных способов генерации электричества

Табл. 11.1.

Топливо/технология	Штрафной экологический балл
Бурый уголь	1735
Нефтяное топливо	1398
Каменный уголь	1356
Ядерное топливо	672
Солнечные фотоэлементы*	461
Природный газ	267
Ветер	65
Малые ГЭС	5

Примечание. Расчет проводился с учетом всех технологических операций.

Разработка многих правил и процедур выполнения Киотского протокола близка к завершению. Текст итогового протокола устанавливает для индустриально развитых стран обязательные к исполнению количественные показатели сокращения объемов выбросов парниковых газов. В период с 2008 по 2012 г. он должен в целом уменьшиться по сравнению с уровнем 1990г. на 5,2%.

В список газов-загрязнителей вошли не только двуокись углерода, метан и закись азота, но и газы заменители фреона (гидрофлюорокарбон, перфлюорокарбон, гексахлорид серы).

Для каждого государства установлены свои численные ограничения. ЕС обязался сократить эмиссию на 8%, США – на 7%, Япония, Канада, Венгрия, Польша – на 6%. Трем странам разрешено увеличить эмиссию парниковых газов: Исландии на 10%, Австралии на 8% и Норвегии на 1%, Россия, Украина и Новая Зеландия должны к 2012 году сохранить уровень 1990 года.

Предполагается, что страны, где уровень выбросов будет превышать установленные нормы, могут покупать квоты у стран, где объем эмиссии меньше оговоренного уровня.

Сокращение выбросов парниковых газов связано с существенными расходами, необходимостью перестройки промышленности. Введение строгих ограничений повлечет за собой сокращение потребления горючих полезных ископаемых, в том числе угля (на его

долю приходится 23% вбрасываемого в атмосферу Земли диоксида углерода) и нефти, следовательно и уменьшение дохода от продаж «черного золота» на мировом рынке.

Реализация договора грозит обернуться повышением на рынке цен на газ, электричество и бензин на 50%, потерей миллионов рабочих мест.

Страны, располагающие крупным промышленным сектором опасаются, что введение строгих ограничений на выброс парниковых газов помешают им нормально развивать экономику. Поэтому в настоящее время Киотский протокол не вступил в силу.

С другой стороны, растущая вероятность того, что Киотский протокол, вступит в силу в ближайшее время, дает особый стимул для развития энергоэффективных проектов и проектов возобновляемой энергетики, которые способствуют снижению выбросов парниковых газов.

Поскольку получение энергии с помощью ВИЭ сопровождается минимальными или нулевыми выбросами парниковых газов в окружающую среду, возобновляемая энергетика играет значительную роль в стратегии предотвращения изменения климата Земли.

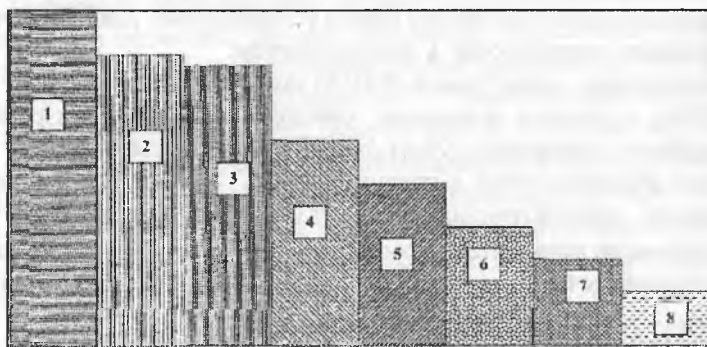


Рис. 11.2. Штрафной экологический балл для различных способов производства электричества.

- 1 – бурый уголь (1735); 2 – нефтяное топлива (1398);
3 – каменный уголь (1356); 4 – ядерное топлива (672);
5 – солнечные фотоэлементы (461); 6 – природный газ (267);
7 – ветер (65); 8 – малые ГЭС (5).

Замещение традиционной энергетики, основанной на сжигании ископаемого топлива, возобновляемыми источниками энергии приведет не только к сокращению выбросов, но и даст многим странам возможности к модификации энергетического сектора, в том числе путем ценовых реформ, которые учитывали бы стоимости окружающей среды. Кроме того, эти страны должны постепенно отказываться от субсидий в экологически неблагоприятные технологии, и в своей деятельности облегчить развитие таких технологий, которые минимизируют выбросы парниковых газов. В результате появляются дополнительные возможности для разработчиков ВИЭ и поставщиков «зеленой» энергии. Эти возможности могут быть разделены на пять основных категорий:

- коммерциализация и приоритетное использование технологий возобновляемой страны развивать эти технологии, финансирование этой отрасли растет, и формируется гарантированный рынок технологий ВИЭ на формирующемся рынке будет расти, затраты на производство возобновляемой энергии снизятся, в результате использование ВИЭ будет расти по экспоненте;

- проекты сокращения выбросов парниковых газов, часто предусматривающие использование возобновляемых источников энергии в рамках обязательств по закупке «зеленой» энергии, которые государственные и местные органы власти устанавливают для обеспечения собственных потребностей в электроэнергии.

Например, город Чикаго (США) закупает 20% энергии от ВИЭ (80 МВт) – уличное освещение, обеспечение энергией аэропорта, полицейских и пожарных участков и колледжей, поступление этой энергии обеспечивается в первую очередь от ветро-агрегатов и установок, использующих метан от утилизации отходов;

- принятие стандартов, в соответствии с которыми определяется доля производства и потребления энергии, обеспечиваемые за счет ВИЭ;

- торговля выбросами, которые предоставляют потенциальную возможность получения доходов, от продажи квот на сокращение выбросов, полученных при замещении традиционных ископаемых источников возобновляемыми источниками энергии. Страны, которые были наиболее успешны в достижении своих целей и смогли сохранить свои выбросы дождя больше, чем требуется, смогут продавать свои квоты тем странам, которые не выполнили свои обязательства;

- увеличение финансирования на развитие и производство установок ВИЭ за счет налоговых и инвестиционных стимулов, предоставления грантов и ссуд.

Все рассмотренные выше меры будут способствовать расширению рынка технологий ВИЭ, экологическому оздоровлению планеты, предотвращению глобального изменения климата.

Факторы воздействия малых ГЭС на окружающую среду отличаются в зависимости от условий местности. Потенциальными объектами воздействия малых ГЭС являются:

- ландшафт;
- водные ресурсы;
- флора и фауна (особенно водные экосистемы).

Для снижения воздействия малых ГЭС на окружающую среду совершенствуются технологии и применяются специальные меры.

Наиболее надежным способом смягчения визуального эффекта строительства является дизайн объекта с использованием принятых в данной местности материалов и архитектурного стиля. Цветовые сочетания также следует учесть для минимизации контраста.

Следует также учитывать воздействие на окружающую среду во время строительства ГЭС.

Подземное расположение силового оборудования обычно очень дорого, но в отдельных случаях оказывается единственно верным решением. Подземное строительство должно завершаться приведением поверхности в первоначальный вид с восстановлением соответствующей растительности. Что касается мер по снижению воздействия на водные ресурсы, основным фактором влияния является минимизация резервного водоема. Хотя создание водоема не является типичным для малых ГЭС, в некоторых случаях сооружение плотины необходимо либо для накопления ресурса воды, либо для создания гидравлического напора в местностях с пологим рельефом.

Специальные исследования (см. ниже) показали, что малые ГЭС не изменяют флору и фауну рек и не снижают биоразнообразие. Для улучшения качества воды ниже по течению применяется вентилирование воды, в результате чего увеличивается наполнение воды кислородам.

Для регулирования направления движения рыбы используются эффективные экраны и барьеры, включая акустические. При наличии мигрирующих видов рыб сооружаются рыбопроводы. Установление различных экранов предотвращает попадание рыбы в турбину.

В целом, воздействие малой гидроэнергетики на рыб и водные экосистемы является незначительным. Исключение составляют лишь случаи, когда не было принято специальных защитных мер.

Малые ГЭС не наносят заметного ущерба окружающей среде, особенно в том случае, когда при строительстве не создается искусственное водохранилище с целью регулирования реки. При создании такого типа ГЭС и применении соответствующих технологий качество воды ниже по течению улучшается.

Многие малые ГЭС Германии расположены в нагорной местности, вдали от густозаселенных районов. Однако, падающие потоки воды (как естественного, так и искусственного происхождения), пригодные для получения электроэнергии, можно найти и в населенных местностях. Например, турбины можно устанавливать на реках, текущих через город и даже использовать перепады уровней воды в системе водоснабжения.

Расположение малой ГЭС в жилом районе может нарушить привычную окружающую среду. Поэтому необходимо контролировать уровень шума и предотвратить любое нарушение качества воды (например, из-за попадания смазочных веществ), особенно в случае последующего забора воды для нужд города. Возможное нарушение естественного пейзажа также следует принять во внимание.

Для снижения уровня шума определенные детали турбины изготавливаются из специального подавляющего шум сплава. В сочетании со специальной конструкцией турбины, эти меры обеспечивают снижение уровня шума до 10-20 дБ. Для того чтобы сохранить качество воды, приходится использовать работающие без смазки детали турбины. Использование специальных материалов позволяет увеличить время жизни агрегата и одновременно минимизировать нагрузку на окружающую среду. Для контроля эффективности функционирования предусматривают дистанционный контроль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергетика и электрификация является основой технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Масштабность энергетики требует постоянного её совершенства, использования новейших достижений науки и техники, улучшения её технико-экономических показателей. Анализ показывает, что ни один из известных на сегодня источников энергии не в состоянии полностью обеспечить удовлетворение растущих потребностей человечества. Ограниченность мировых запасов топливно-энергетических ресурсов могут уже в ближайшие 15-20 лет стать препятствием устойчивого социально-экономического развития стран, как обеспеченных так и не обеспеченных энергоресурсами. Поэтому уже в настоящее время во многих странах ведутся исследования по рациональному использованию существующих и созданию новых источников энергии, среди которых достаточно важное место отводится и возобновляемым источникам энергии.

В связи с этим в учебнике в первую очередь отражены достижения науки и техники в области возобновляемых источников энергии: солнечная и ветровая энергия, энергия малых водотоков, геотермальная энергия, энергия биомассы. Рассмотрены принципы работы и конструктивно-технологические особенности установок на базе возобновляемых источников энергии, их достоинства и недостатки, особенности практического применения, эффективность использования в условиях Узбекистана, исходя из особенностей его природно-климатических условий. Внимание уделено экологическим вопросам использования возобновляемых источников энергии и традиционных энергоисточников большой энергетики – тепловые, атомные и гидравлические станции. Кратко освещены, также экологические вопросы применения возобновляемых источников энергии и их правового регулирования.

В связи с ограниченным объемом учебника авторы не ставили целью дать подробные описания и расчеты конкретных конструкций возобновляемых энергоисточников. Студенты должны пользоваться соответствующей специальной литературой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: «Наука», 1990.
2. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах. – М.: «Высшая школа», 1989.
3. Бернштейн Л.Б. Приливные электростанции. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 296 с.
4. Васильев Ю.С, Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Изд. ЛГУ, 1991. – 343 с.
5. Васильев Ю.С, Претро Г.А. Гидроаккумулирующие электростанции. – Л.: Изд ЛПИ, 1984.
6. Васильев Ю.С, Претро Г.А. Компановка сооружений деривационных гидроэнергетических установок. – СПб., Изд. СПбГТУ, 1995.
7. Виссарионов В. И., Елистратов В. В., Поташник С. И. Перспективы использования реконструируемых низконапорных ГЭС в режимах ГЭС-ГАЭС // Гидротехническое строительство. – 1988, № 10.
8. Ветроэнергетика / Под ред. Д. Рензо: Пер. с англ. Под ред. Я. И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
9. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: Учебное пособие / Ю.С. Васильев, М.М. Мухаммадиев, В.В. Елистратов, Г.А. Претро: – СПбГТУ, СПб, 1995.
10. Грилихес В. А. Солнечные космические электростанции. – Л.: «Наука», 1986. – 182 с.
11. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. – Киев: «Высшая школа», 1983. – 124 с.
12. Елистратов В.В. Перспективные направления и эффективность реконструкции и модернизации в гидроэнергетики. - В сб. «Проблемы гидроэнергетики и их решение», – Л.: «Энергоатомиздат», 1989.
13. Использование водной энергии / Под ред. Ю.С. Васильева. – М.: «Энергоатомиздат», 1995. – 608 с.

14. Зубарев В.В. Аккумулирующие электростанции и их использование в энергосистемах. – М.: Информэнерго, сер. 4, вып. 4, 1986.
15. Захидов Р.А. Зеркальные системы концентрации лучистой энергии. Ташкент, «Фан», 1988.
16. R.A.Zakhidov, G.Ya.Umarov, A.A.Weiner. Theory and Calculation of Applied Solar Energy Concentrating Systems. Gujarat Energy Development Agency Vadodara 1992 (English Edition).
17. Колтун М.М. Солнечные элементы. – М.: «Наука», 1987. – 192 с.
18. Коробков В. А. Преобразование энергии океана. – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
19. Мак-Кормик М. Преобразование энергии морских волн / Пер. с англ. – М.: «Энергоатомиздат», 1985.
20. Мухаммадиев М.М. Обратимые режимы работы крупных НС // Узб. журнал «Информатики и энергетики» АН РУз, 1992, № 3-4.
18. Претро Г.А. Влияние экологических условий на выбор типа ГАЭС. // Энергохозяйство за рубежом, 1991, № 5.
19. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. / Под ред. М.М. Колтуна. – М.: «Энергоатомиздат», 1983. – 357с.
20. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. – Л.: «Гидрометеиздат», 1989.
21. Твайделл Дж., А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии. Пер. с англ. – М.: «Энергоатомиздат», 1990. – 392 с.
22. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – М.: «Энергоатомиздат», 1983.
23. Мухаммадиев М.М. и Потоев К.Д. Возобновляемые источники энергии. Учеб.пособ., ТашГТУ, 2005.
24. Использование водной энергии / Под ред. Ю.С. Васильева, – М.: «Энергоатомиздат», 1995.
25. Энергия ветра. Пер.с англ.под.ред.Я.И.Шефтера. –М.: «Мир», 1992.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Развитие отраслей топливно-энергетического комплекса	
1.1. Тепловые электростанции.....	5
1.2. Использование гидроэнергетических ресурсов.....	8
1.3. Атомная энергетика.....	11
Глава 2. Перспективы применения возобновляемых источников энергии	
2.1. Общие понятия о возобновляемых источниках энергии....	14
2.2. Основные терминологические понятия.....	16
2.3. Ресурсы возобновляемых источников энергии в Узбекистане.....	18
2.4. Масштабы использования ВИЭ в некоторых промышленно развитых странах.....	20
2.5. Использование энергии океанов и морей.....	24
Глава 3. Применение ВИЭ в сельском хозяйстве	
3.1. Электрификация сельского хозяйства.....	26
3.2. Применение ВИЭ для электромеханизации сельскохозяйственных процессов дехканского хозяйства.....	28
3.3. Применение ВИЭ для энергообеспечения пчеловодческого оборудования.....	38
3.4. Автономное энергообеспечения электробытовых приборов.....	42
Глава 4. Использование энергии малых водотоков	
4.1. Типы и классификация малых и микро ГЭС.....	44
4.2. Типы гидротурбин и их расчет.....	46
4.3. Асинхронные электрогенераторы для микро ГЭС.....	54
4.4. Регулирование параметров электрического тока.....	58

Глава 5. Энергия ветра	
5.1. Особенности применения ветроустановок в Узбекистане...	61
5.2. Конструкции и характеристики ВЭУ.....	65
5.3 Расчет ветродвигателя.....	71
Глава 6. Энергия биогаза	
6.1. Использование энергии биомассы.....	76
6.2. Особенности использования биогаза.....	81
Глава 7. Геотермальные воды	
Глава 8. Солнечная энергия	
8.1. Характеристика солнечной радиации.....	91
8.2. Солнечные фотоэлектрические элементы.....	94
8.3. Автономные солнечные источники электропитания маломощных потребителей.....	98
8.4. Концентрация солнечного излучения.....	103
Глава 9. Тепловое преобразование солнечной энергии	
9.1 Солнечные тепловые электростанции.....	111
9.2. Большие солнечные технологические печи.....	114
9.3. Солнечные тепловые коллекторы.....	118
9.4. Солнечные приставки к топливным котельным.....	124
9.5 Солнечное горячее водоснабжение.....	127
9.6 Стационарные гелиоустановки.....	129
9.7. Плавательные бассейны с солнечным обогревом.....	132
9.8. Гелипресепция соляной воды.....	134
9.9. Гелиосушилки.....	137
9.10. Солнечное охлаждение.....	141
9.11. Солнечные кухонные печи.....	144
Глава 10. Аккумуляирование в системе возобновляемых источников энергии	
10.1. Электрохимические аккумуляторы.....	146
10.2. Применение водорода в автономной энергетике.....	148
10.3. Гидроаккумуляирование электрической энергии.....	156
10.3.1. Виды и формы гидроаккумуляирования.....	156
10.3.2. Особенности гидроаккумуляирования на ГЭС и ГАЭС.....	158

10.3.3. Роль гидроаккумулирования в создании гидро-энергокомплексов.....	168
Глава 11. Общие вопросы и экологические аспекты применения НВИЭ	
11.1. Социально-бытовые факторы применения ВИЭ.....	171
11.2. Роль НВИЭ в обеспечении энергетической независимости.....	173
11.3. Правовое регулирование использования ВИЭ.....	176
11.4. Киотский протокол и новые возможности возобновляемой энергетики.....	178
Заключение.....	185
Список использованной литературы.....	186

ISBN 978-9943-10-374-0



9 789943 103740