

УДК 620.97

Нетрадиционные источники энергии: Методические указания к практическим занятиям и дипломному проектированию для студентов специальности «ЭОП» по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» / Сост. В.А. Перфилов; ВолгГАСУ. Волгоград, 2006. 28 с.

Рассмотрены пассивные и активные гелиоприемники для теплоснабжения, тепловые аккумуляторы солнечной энергии, фотоэлектрические преобразователи. Приводятся рекомендации по районированию территории для использования энергии ветра, рассмотрены различные виды ветроэнергоустановок. Даны основные способы использования биоэнергетических ресурсов, а также водородного топлива. Приведен пример практического применения энергии водорода для получения строительных материалов. Рекомендуется методика технико-экономической оценки использования нетрадиционных источников энергии.

Для студентов специальности «ЭОП» 3 и 4 курса очной и заочной форм обучения, а также других специальностей, изучающих дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

Ил. 10. Библиогр. 6 назв.

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает опыт использования нетрадиционной энергетики, в мире нет ни одной страны, где бы нетрадиционные возобновляемые источники энергии составляли основу топливно-энергетического баланса. Однако существует большое количество примеров, показывающих, что нетрадиционные источники энергии могут покрывать определенное количество потребности тепловой, электрической энергии и органического топлива [1—6].

Производство электроэнергии в Германии на базе альтернативных источников (миниГЭС, биомасса, ветер, солнце) составляет 4,3 % общего производства электроэнергии в год. В настоящее время 28 % тепловой энергии, потребляемой в Австрии, дают возобновляемые источники энергии. Удельная стоимость плоских коллекторов солнечной энергии, которых в мире установлено 20 млн. м^2 , составляет для пластмассовых 70—250 долларов/ м^2 , для металлических — 300—1000 дол./ м^2 (включая затраты на монтаж). Стоимость получаемой тепловой энергии (исключая затраты на аккумуляцию) в зависимости от технологии составляет 0,005—0,04 дол./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$). Как ожидается, в 2020 году стоимость коллекторов достигнет 50—400 дол./ м^2 , а тепловой энергии — 0,004—0,02 дол./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$). Технический потенциал выработки электроэнергии ветроэнергетическими установками (ВЭУ) в мире составляет 20000 ТВт·ч в год. Мощность ВЭУ в мире достигла 2700 МВт, а количество ветроагрегатов и установок различных конструкций и назначения превышает 2,4 млн. Большой опыт в использовании энергии малых рек имеет Китай. Здесь построено более 90 тыс. ГЭС малой мощности, 60 тыс. из которых относятся к миниГЭС (до 100 кВт). Для них налажен выпуск стандартизованного оборудования, начиная с 12 кВт. Созданные в Китае ГЭС малой мощности способствуют развитию агропромышленных производств, защите от наводнений. Вырабатываемая ими электроэнергия обеспечивает около 1/3 электропотребления в сельской местности (не включая электропотребление государственными предприятиями).

Для оценки возможности использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии необходимо определить потенциал этих источников (прежде всего энергии солнца, ветра и рек), а также экономическую целесообразность их использования.

Для районов с редкой актинометрической сетью при изучении поступления солнечной радиации можно воспользоваться косвенным методом расчета, который заключается в определении значений поступающей солнечной радиации как функции от известных (по данным многих метеорологических станций) величин, связанных с искомым неизвестным не только зависимостями корреляционного типа, но и физического. Такими величинами являются продолжительность солнечного сияния и облачность. В настоящее время наблюдения за продолжительностью солнечного сияния и облачностью ведутся почти во всех метеорологических станциях страны. Поэтому использование той или иной искомой величины с точки зрения достаточности информации не вызывает сомнения [1—6].

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА ДЛЯ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Пассивные и активные гелиоприемники

Системами солнечного теплоснабжения называются системы, использующие в качестве источника тепловой энергии солнечную радиацию. Их характерным отличием от других систем низкотемпературного отопления является применение специального элемента — гелиоприемника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию [1, 2].

По способу использования солнечной радиации системы солнечного низкотемпературного отопления подразделяют на пассивные и активные. Пассивными называются системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание — коллектор, стена — коллектор, кровля — коллектор и т. п. (рис. 1)) [1].

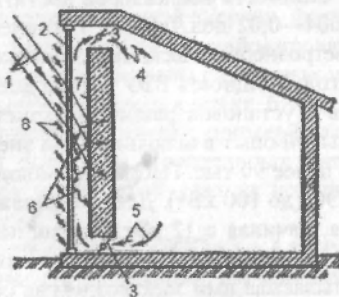


Рис. 1. Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена — коллектор»: 1 — солнечные лучи; 2 — лучепрозрачный экран; 3 — воздушная заслонка; 4 — нагретый воздух; 5 — охлажденный воздух из помещения; 6 — собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены; 7 — черная лучевоспринимающая поверхность стены; 8 — жалюзи

Активными называются системы солнечного низкотемпературного отопления, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены:

- по назначению (системы горячего водоснабжения, отопления, комбинированные системы для целей теплоснабжения);
- по виду используемого теплоносителя (жидкостные — вода, антифриз и воздушные);
- по продолжительности работы (круглогодичные, сезонные);
- по техническому решению схем (одно-, двух-, многоконтурные).

Воздух является широко распространенным незамерзающим во всем диапазоне рабочих параметров теплоносителем. При применении его в качестве теплоносителя возможно совмещение систем отопления с системой вентиляции. Однако воздух — малотеплоемкий теплоноситель, что ведет к увеличению расхода металла на устройство систем воздушного отопления по сравнению с водяными системами.

Вода является теплоемким и широкодоступным теплоносителем. Однако при температурах ниже 0°C в нее необходимо добавлять незамерзающие жидкости. Кроме того, нужно учитывать, что вода, насыщенная кислородом, вызывает коррозию трубопроводов и аппаратов. Но расход металла в водяных гелиосистемах значительно ниже, что в большой степени способствует более широкому их применению.

Гелиосистемы отопления зданий обычно двухконтурные или чаще всего многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители (например, в гелиоконтуре — водные растворы незамерзающих жидкостей, в промежуточных контурах — вода, а в контуре потребителя — воздух) [1].

Комбинированные гелиосистемы [1] круглогодичного действия для целей теплохолодоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе, или трансформатора теплоты. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения приведена на рис. 2 [1]. Она включает три контура циркуляции: первый контур, состоящий из солнечных коллекторов 1, циркуляционного насоса 8 и жидкостного теплообменника 3; второй контур, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8 и теплообменника 3; третий контур, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8, водовоздушного теплообменника (калорифера) 5.

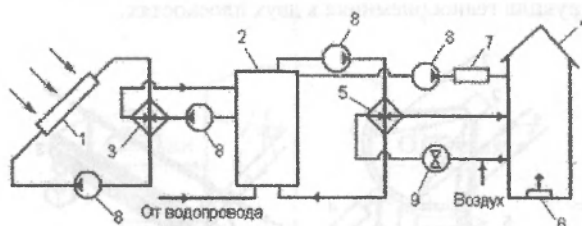


Рис. 2. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения: 1 — солнечный коллектор; 2 — бак-аккумулятор; 3 — теплообменник; 4 — здание; 5 — калорифер; 6 — дублир системы отопления; 7 — дублир системы горячего водоснабжения; 8 — циркуляционный насос; 9 — вентилятор

Функционирует система солнечного теплоснабжения следующим образом. Теплоноситель (антифриз) теплоприемного контура, нагреваясь в солнечных коллекторах 1, поступает в теплообменник 3, где теплота антифриза

передается воде, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника 3 под действием насоса 8 второго контура. Нагретая вода поступает в бак-аккумулятор 2. Из бака-аккумулятора вода забирается насосом горячего водоснабжения 8, доводится при необходимости до требуемой температуры в дублере 7 и поступает в систему горячего водоснабжения здания. Подпитка бака-аккумулятора осуществляется из водопровода. Для отопления вода из бака-аккумулятора 2 подается насосом третьего контура 8 в калорифер 5, через который с помощью вентилятора 9 пропускается воздух, который после нагревания поступает в здание 4. В случае отсутствия солнечной радиации или нехватки тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами, в работу включается дублер 6. Выбор и компоновка элементов системы солнечного теплоснабжения в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплопотребления, экономическими показателями [1].

1.2. Концентрирующие гелиоприемники

Концентрирующие гелиоприемники представляют собой сферические или параболические зеркала (рис. 3) [1, 2], выполненные из полированного металла, в фокус которых помещают тепловоспринимающий элемент (солнечный котел), через который циркулирует теплоноситель. В качестве теплоносителя используют воду или незамерзающие жидкости. При использовании воды в качестве теплоносителя в ночные часы и в холодный период систему обязательно опорожняют для предотвращения ее замерзания. Для обеспечения высокой эффективности процесса улавливания и преобразования солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник должен быть постоянно направлен строго на Солнце. С этой целью гелиоприемник снабжают системой слежения, включающей датчик направления на Солнце, электронный блок преобразования сигналов, электродвигатель с редуктором для поворота конструкции гелиоприемника в двух плоскостях.

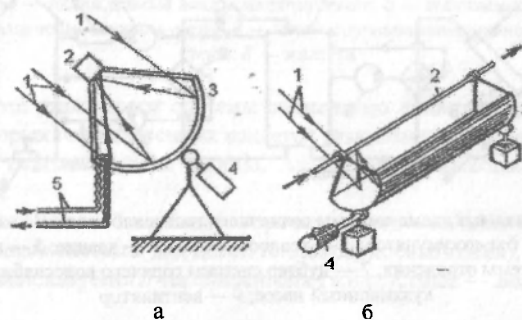


Рис. 3. Концентрирующие гелиоприемники: а — параболический концентратор; б — параболоцилиндрический концентратор; 1 — солнечные лучи; 2 — тепловоспринимающий элемент (солнечный коллектор); 3 — зеркало; 4 — механизм привода системы слежения; 5 — трубопроводы, подводящие и отводящие теплоноситель

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоприемниками является способность выработки теплоты с относительно высокой температурой (до 100 °С) и даже пара. К недостаткам следует отнести высокую стоимость конструкции; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; работу только в светлое время суток, а следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой энергией. Эти недостатки сдерживают широкое применение активных низкотемпературных систем солнечного отопления с концентрирующими гелиоприемниками. В последнее время наиболее часто для солнечных низкотемпературных систем отопления применяют плоские гелиоприемники [1, 2].

1.3. Тепловые аккумуляторы энергии

Тепловое аккумулятирование — это физические или химические процессы, посредством которых происходит накопление тепла в тепловом аккумуляторе энергии. Аккумулятор состоит из резервуара для хранения (обычно теплоизолированного), аккумулятирующей среды (рабочего тела), устройств для зарядки и разрядки и вспомогательного оборудования. Аккумулятирующая система характеризуется способами, которыми энергия для зарядки аккумулятора отбирается от источника, трансформируется (при необходимости) в требуемый вид энергии и отдается потребителю. На рис. 4 [1] показан процесс теплового аккумулятирования с использованием сосуда-аккумулятора. Баланс энергии для этого процесса в общем виде можно записать [1]

$$E_{\text{вх}} - E_{\text{вых}} = E_{\text{ак}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{вх}}$ — подведенная энергия; $E_{\text{вых}}$ — отведенная энергия; $E_{\text{ак}}$ — аккумулятированная энергия.

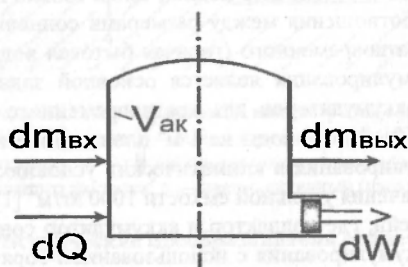


Рис. 4. Энергетический баланс аккумулятора

Применяя первый закон термодинамики для подведенной и отведенной энергии к этой открытой системе, получим основное уравнение аккумулятирования энергии для открытых систем в дифференциальной форме [1]

$$\left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{ВХ}} dm_{\text{ВХ}} + dQ - \left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{ВЫХ}} dm_{\text{ВЫХ}} - dW =$$

$$= d \left[\left(u + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{ак}} m_{\text{ак}} \right] \quad (2)$$

где u — внутренняя энергия; P — давление; v — удельный объем; g — ускорение силы тяжести; H — высота; gH — удельная потенциальная энергия; c — скорость течения; $c^2/2$ — удельная кинетическая энергия; dQ — тепло, подведенное к системе; dW — работа системы, не зависящая от переноса массы (например, при движении стенок системы, электрическая энергия, энергия вала двигателя); $m_{\text{ак}}$ — масса аккумулирующей среды.

Исследование общего уравнения (2) показывает, что аккумулирование энергии может осуществляться в результате изменения: удельной внутренней энергии; удельной потенциальной энергии; удельной кинетической энергии; массы системы [1].

1.4. Тепловое аккумулирование для солнечного обогрева помещений

Типичная схема активной системы с тепловым аккумулированием энергии для получения горячей воды (рис. 5) [1] включает первичный контур на антифризе, теплообменник в нижней части аккумулирующего бака и дополнительный нагреватель в верхней его части. Так как эффективность солнечного коллектора снижается с увеличением разности температур первичного контура и окружающей среды, температуру первичного контура следует поддерживать на возможно более низком уровне. Для этого следует обеспечить небольшой перепад температур в теплообменнике, воспрепятствовать перемешиванию в баке и обеспечить подвод тепла только в самую холодную часть бака. Выбор соотношения между размерами солнечного коллектора и аккумулятора для кратковременного (горячая бытовая вода) и длительного (обогрев) аккумулирования является основной задачей теплообмена. Удельные емкости аккумуляторов для кратковременного аккумулирования обычно составляют 50—100 кг воды на 1 м² площади коллектора, а для длительного аккумулирования в климатических условиях Центральной Европы необходимы значения удельной емкости 1000 кг/м² [1].

Солнечный бассейн, где коллектор и аккумулятор совмещены, является частным случаем аккумулирования с использованием горячего теплоносителя (рис. 6) [1].

Солнечная радиация поглощается донной поверхностью бассейна. В теплоносителе создается и поддерживается градиент концентрации соли (концентрация увеличивается с глубиной) между верхним конвективным слоем (под действием ветра) и нижним конвективным слоем (в результате отвода тепла).

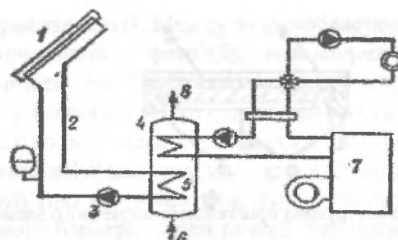


Рис. 5. Схема получения горячей воды для бытовых нужд с использованием солнечной энергии: 1 — солнечные коллекторы; 2 — первичный цикл (антифриз); 3 — циркуляционный насос; 4 — аккумуляторный бак; 5 — солнечный теплообменник; 6 — подача холодной воды; 7 — дополнительный нагреватель; 8 — линия подачи

Благодаря этому конвекция и связанный с ней тепловод к поверхности подаются, и слой толщиной ~ 1 м, в котором нет конвекции, служит тепловой изоляцией. Таким способом можно достичь температуры воды 100 °С [1].

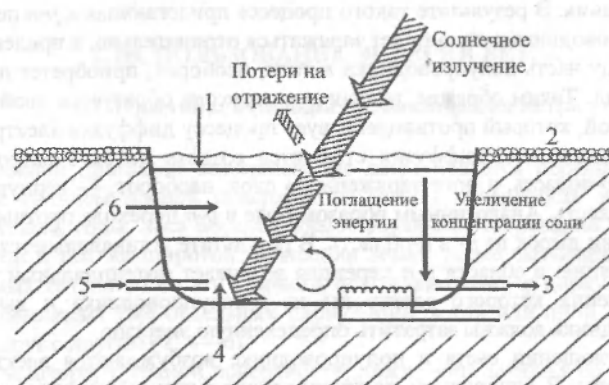


Рис. 6. Схема солнечного бассейна с градиентом концентрации соли: 1 — поверхностный слой воды; 2 — поверхность земли; 3 — выход горячего солевого раствора к потребителю тепла или к теплообменнику; 4 — конвективная (аккумуляторная) область; 5 — возврат холодного солевого раствора; 6 — неконвективный (изолирующий) слой

1.5. Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии

Солнечный фотоэлемент изготавливается на основе пластины, выполненной из полупроводникового материала, например кремния (рис. 7) [5]. Конструкция элемента состоит из двух пластинок: кремния *n*-типа 2 и кремния *p*-типа 3, которые закрыты с облучаемой стороны пленкой диоксида кремния. С противоположной стороны к полупроводниковым пластинам присоединены электроды 4.

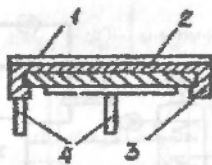


Рис. 7. Конструкция простейшего солнечного элемента

В пластине создаются области с p - и n -типами проводимости. Получают различные типы проводимости путем изменения введенных в полупроводник примесей, которые придают дырочную (положительную) и электронную (отрицательную) проводимости. Контакт p - и n -полупроводников приводит к образованию между ними контактного электрического поля, играющего важную роль в работе солнечного фотоэлемента [1].

Причина возникновения контактной разности потенциалов заключается в следующем [1]. При соединении в одном монокристалле полупроводников p - и n -типа возникает диффузионный поток электронов из полупроводника n -типа в полупроводник p -типа и, наоборот, поток дырок из p - в n -полупроводник. В результате такого процесса прилегающая к p - n переходу часть полупроводника p -типа будет заряжаться отрицательно, а прилегающая к p - n переходу часть полупроводника n -типа, наоборот, приобретет положительный заряд. Таким образом, вблизи p - n перехода образуется двойной заряженный слой, который противодействует процессу диффузии электронов и дырок. Действительно, диффузия стремится создать поток электронов из n -области в p -область, а поле заряженного слоя, наоборот, — вернуть электроны в n -область. Аналогичным образом поле в p - n переходе противодействует диффузии дырок из p - в n -область. В результате устанавливается равновесное состояние: в области p - n перехода возникает потенциальный барьер, для преодоления которого электроны из n -полупроводника и дырки из p -полупроводника должны затратить определенную энергию.

При поглощении света в полупроводнике возбуждаются электронно-дырочные пары. В однородном полупроводнике фотовозбуждение увеличивает только энергию электронов и дырок, не разделяя их в пространстве, то есть электроны и дырки разделяются в «пространстве энергий», но остаются рядом в геометрическом пространстве. Для разделения носителей тока и появления фотоэлектродвижущей силы (фотоЭДС) должна существовать дополнительная сила. Наиболее эффективное разделение неравновесных носителей имеет место именно в области p - n перехода (рис. 7). Генерированные вблизи p - n перехода «неосновные» носители (дырки в n -полупроводнике и электроны в p -полупроводнике) диффундируют к p - n переходу, подхватываются полем p - n перехода и выбрасываются в полупроводник, в котором они становятся основными носителями. Электроны будут локализоваться в полупроводнике n -типа, а дырки — в полупроводнике p -типа. В результате полупроводник p -типа получает избыточный положительный заряд, а полупро-

водник *n*-типа — отрицательный. Между *n*- и *p*-областями фотоэлемента возникает разность потенциалов — фотоЭДС, или напряжение в режиме холостого хода. Полярность фотоЭДС соответствует «прямому» смещению *p-n* перехода, которое понижает высоту потенциального барьера и способствует инжекции дырок из *p*-области в *n*-область и электронов из *n*-области в *p*-область. В результате действия этих двух противоположных механизмов — накопления носителей тока под действием света и их оттока из-за понижения высоты потенциального барьера — при разной интенсивности света устанавливается разная величина фотоЭДС. При этом величина фотоЭДС в широком диапазоне освещенностей растет пропорционально логарифму интенсивности света.

При коротком замыкании освещенного *p-n* перехода в электрической цепи потечет ток, пропорциональный по величине интенсивности освещения и количеству генерированных светом электронно-дырочных пар. При включении в электрическую цепь полезной нагрузки, величина тока в цепи несколько уменьшится. Обычно электрическое сопротивление полезной нагрузки в цепи солнечного элемента выбирают таким, чтобы получить максимальную отдаваемую этой нагрузке электрическую мощность [1].

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

2.1. Причины и районы возникновения ветра

Основной причиной возникновения ветра является неравномерное нагревание солнцем земной поверхности. Земная поверхность неоднородна: суша, океаны, горы, леса обуславливают различное нагревание поверхности под одной и той же широтой. Вращение Земли также вызывает отклонения воздушных течений. Все эти причины осложняют общую циркуляцию атмосферы. Возникает ряд отдельных циркуляций, в той или иной степени связанных друг с другом [1, 4—6].

На экваторе, у земной поверхности, лежит зона затишья со слабыми переменными ветрами [1]. На север и на юг от зоны затишья расположены зоны пассатов, которые вследствие вращения Земли с запада на восток имеют отклонение к западу. Таким образом, в северном полушарии постоянные ветры приходят с северо-востока, в южном — с юго-востока. Пассаты простираются примерно до 30° северной и южной широт и отличаются равномерностью воздушных течений по направлению и скорости. Средняя скорость юго-восточных пассатов северного полушария у поверхности земли достигает 6—8 м/сек. Эти ветры вблизи больших континентов нарушаются сильными годовыми колебаниями температуры и давления над материками. Высота слоя пассатов простирается от 1 до 4 км. Выше над пассатами находится слой переменных ветров, а над этим слоем находится зона антипассатов, дующих в направлении, противоположном направлению пассатов. Высота слоя антипассатов меняется от 4 до 8 км в зависимости от времени года и от места.

Различные зоны нашей страны имеют ветровые режимы, сильно отличающиеся один от другого. Значение среднегодовой скорости ветра в данном районе дает возможность приблизительно судить о целесообразности использования ветродвигателя и об эффективности агрегата.

Прибрежные зоны северной части нашей страны, Каспийское побережье и северная часть Сахалина отличаются высокой интенсивностью ветрового режима. Здесь среднегодовые скорости ветра превышают 6 м/сек. В этих районах часто наблюдаются ураганные ветры (выше 30 м/сек), которые сопровождаются снежными метелями и буранами. Поэтому в указанной зоне можно использовать только агрегаты с ветродвигателями высокой быстроходности (двух- трехлопастные), прочность которых рассчитана на ветровые нагрузки при скорости ветра 40 м/сек. В Арктике и на побережье наиболее эффективно применение ветроэлектрических станций, работающих совместно с тепловым резервом, а также небольших ветроэлектрических агрегатов.

Большинство областей европейской части России относятся к зоне средней интенсивности ветра. В этих районах среднегодовая скорость ветра составляет от 3,5 до 6 м/сек. К этой же зоне относится часть территории, лежащая юго-восточнее озера Байкал.

Другая зона интенсивности ветра занимает обширную территорию Восточной Сибири и Дальнего Востока, некоторых областей европейской части России. В этой зоне скорости ветра относительно невелики — до 3,5 м/с, и широкое применение здесь ветроэнергетических установок не рекомендуется [1].

При разработке ветроэнергетического кадастра проблемной является задача отыскания закона распределения скорости ветра, удовлетворительно описывающего распределение исследуемого признака в тех или иных физико-географических условиях в пределах точности исходных данных [4].

Оценкой потенциальных ветроэнергоресурсов служит мощность ветрового потока P , протекающего в единицу времени через поперечное сечение площадью S в один квадратный метр при определенной скорости ветра v (м/с) и плотности воздуха ρ (кг/м³) [4], Дж/с

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 S. \quad (3)$$

Удельная мощность ветра, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения, определяется по формуле, Дж/с·м²

$$P_{уд} = \frac{1}{2} \rho v^3. \quad (4)$$

Среднемесячная (сезонная, годовая) удельная энергия ветра $W_{уд}$ — это энергия, протекающая за месяц (сезон, год) через поперечное сечение площадью в один квадратный метр и зависящая от плотности распределения скорости ветра, Дж/м²

$$W_{\text{уд}} = 1,8 \cdot 10^3 \rho T \int_0^{v_{\text{max}}} v^3 dv, \quad (5)$$

где T — число часов, за которое определяется удельная энергия ветра: соответственно, $T = 720$ ч — число часов за месяц, $T = 2160$ ч — за сезон, $T = 8760$ ч — за год.

В зависимости от параметра T определяется удельная выработка энергии за месяц, сезон, год.

Для наглядного представления о ветроэнергоресурсах проводится районирование территории. Исходным параметром служит средняя годовая многолетняя скорость ветра, приведенная к условиям открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа на высоте 10 метров от поверхности земли. Проведенный анализ позволяет исследуемую территорию условно разделить на зоны со значимыми различиями ветровых нагрузок, внутри которых размах варьирования по среднему значению составит 1 м/с [4].

К *первой ветровой зоне* относятся горные районы, а точнее — открытые вершины хребтов, поветренные склоны, где средние многолетние скорости ветра находятся в пределах 4—10 м/с. Рельеф района в предгорьях и горах очень разнообразный, что обуславливает большую изменчивость скорости ветра на близких расстояниях. Изменение направления ветра особенно заметно в долинах. Благодаря местной циркуляции здесь возникают горно-долинные ветры. Перспективными для размещения ВЭУ являются участки с абсолютной высотой 1000—1200 м. Так как ветроагрегаты используют не весь потенциал энергии ветра, то важно знать утилизируемые ветроэнергетические ресурсы. Для этого определяется полезная утилизируемая энергия с учетом коэффициента преобразования энергии ветра и КПД установок.

Ко *второй зоне* относятся районы, расположенные в степной или равнинной частях, где среднегодовые скорости варьируют в интервале от 3 до 4 м/с. Максимум среднегодовой скорости ветра в этой зоне не имеет характерной выраженности, хотя происходит некоторое возрастание скоростей в зимний период, а минимум наступает летом. Суточный ход скоростей ветра характеризуется усилением в дневные часы. Среднемесячная скорость ветра является относительно стабильной и изменяется, как правило, в пределах 3,4—4 м/с. В то же время повторяемость различных градаций скоростей в разные месяцы года отклоняется от средних расчетных на весьма большую величину, что может существенно влиять на суммарную выработку энергии ветроагрегатом.

К *третьей ветровой зоне* относятся районы, расположенные в лесостепной зоне и, частично, в горно-лесной зоне. Здесь среднегодовые скорости изменяются от 2 до 3 м/с. Максимум среднегодовой скорости ветра, как и во второй зоне, не имеет характерной выраженности. Суточный ход скоростей ветра здесь также усиливается в дневные часы.

К четвертой зоне относятся районы, расположенные "внутри" гор. Среднегодовые скорости не превышают 2 м/с. Эта зона неперспективна для ветроэнергетики [4].

2.2. Виды ветродвигателей

Существующие виды ветродвигателей по схеме устройства ветроколеса и его положению в потоке ветра разделяются на три класса [1, 4—6]. Первый класс включает ветродвигатели, у которых ветровое колесо располагается в вертикальной плоскости (крыльчатые ветродвигатели). При этом плоскость вращения перпендикулярна направлению ветра, а, следовательно, ось ветроколеса параллельна потоку. Такие ветродвигатели называются крыльчатыми.

Быстроходностью называется отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветра [1]

$$Z = \frac{wR}{v} \quad (6)$$

Крыльчатые ветродвигатели в зависимости от типа ветроколеса и быстроходности разделяются на три группы (рис. 8) [1]:

ветродвигатели многолопастные, тихоходные, с быстроходностью $Z < 2$;

ветродвигатели малолопастные, тихоходные, в том числе ветряные мельницы, с быстроходностью $Z > 2$;

ветродвигатели малолопастные, быстроходные $Z \geq 3$.

Ко второму классу относятся системы ветродвигателей с вертикальной осью вращения ветрового колеса. По конструктивной схеме они разбиваются на группы:

карусельные, у которых нерабочие лопасти либо прикрываются ширмой, либо располагаются ребром против ветра;

роторные ветродвигатели системы Савониуса.

К третьему классу относятся ветродвигатели, работающие по принципу водяного мельничного колеса и называемые барабанными. У этих ветродвигателей ось вращения горизонтальна и перпендикулярна направлению ветра.

Коммерческое применение крыльчатых ветродвигателей началось с 1980 г. За последние 14 лет мощность ветродвигателей увеличилась в 100 раз: от 20—60 кВт при диаметре ротора около 20 м в начале 1980-х годов до 5000 кВт при диаметре ротора свыше 100 м к 2003 году. Некоторые прототипы ветродвигателей имеют еще большие мощность и диаметр ротора. За тот же период стоимость генерируемой ветряками энергии снизилась на 80 % [1].

В Германии построен самый большой в мире трехлопастной ветрогенератор с диаметром ротора 126 м, который установлен на башне высотой 180 м. Установка называется «REPOWER 5M», что обозначает ее мощность — 5 МВт.

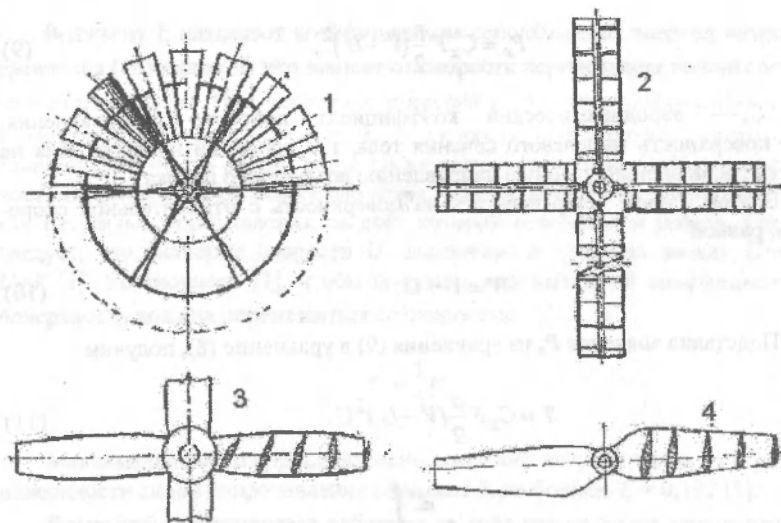


Рис. 8. Схемы ветроколес крыльчатых ветродвигателей: 1 --- многолопастных; 2—4 — малолопастных

Важным является определение количества энергии ветра, которое может превратить в полезную работу поверхность, поставленная перпендикулярно к направлению ветра и перемещающаяся в этом же направлении, что имеет место, например, у ветродвигателей карусельного типа [1].

Мощность T определяется произведением силы P на скорость V [1], Вт

$$T = PV. \quad (7)$$

Одну и ту же работу можно получить либо за счёт большой силы при малой скорости перемещения рабочей поверхности, либо, наоборот, за счёт малой силы, а следовательно, и малой поверхности, но при соответственно увеличенной скорости её перемещения.

Допустим, имеется поверхность F , поставленная перпендикулярно к направлению ветра. Воздушный поток вследствие торможения его поверхностью получит подпор и будет обтекать её и производить давление силой P_x . Вследствие действия этой силы поверхность будет перемещаться в направлении потока с некоторой скоростью U (рис. 9) [1]; работа при этом будет равна произведению силы на скорость, с которой перемещается поверхность F , т. е. [1]

$$T = P_x U, \quad (8)$$

где P_x — сила сопротивления, которая равна

$$P_x = C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2, \quad (9)$$

где C_x — аэродинамический коэффициент лобового сопротивления; F — поверхность миделевого сечения тела, т.е. проекции площади тела на плоскость, перпендикулярную направлению воздушного потока.

В этом случае ветер набегает на поверхность с относительной скоростью, равной

$$W = V - U. \quad (10)$$

Подставив значение P_x из уравнения (9) в уравнение (8), получим

$$T = C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2 U. \quad (11)$$

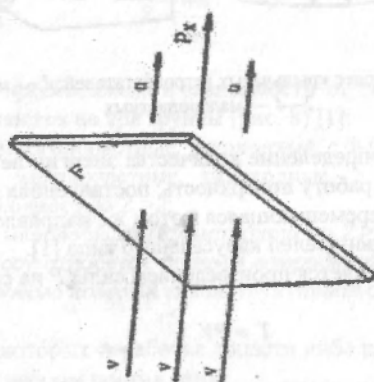


Рис. 9. Действие силы ветра на поверхность

Определим отношение работы, развиваемой движущейся поверхностью и выраженной уравнением (11), к энергии ветрового потока, имеющего поперечное сечение, равное этой поверхности, а именно [1]

$$\xi = \frac{C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2 U}{F \frac{\rho V^3}{2}} = C_x (V - U)^2 \frac{U}{V^3}. \quad (12)$$

После преобразований получим

$$\xi = C_x \left(1 - \frac{U}{V} \right)^2 \frac{U}{V}. \quad (13)$$

Величину ξ называют коэффициентом использования энергии ветра. Из уравнения (13) видно, что ξ зависит от скорости перемещения поверхности в направлении ветра. При некотором значении U скорости коэффициент ξ получает максимальное значение. Если скорость перемещения поверхности равна нулю $U=0$, то работа ветра также равна нулю. Если $U=V$, т.е. поверхность перемещается со скоростью ветра, работа также будет равна нулю, так как нет силы сопротивления, за счёт которой совершается работа. Отсюда следует, что значение скорости U заключено в пределах между $U=0$ и $U=V$ [1]. Установлено [1], чтобы получить максимальный коэффициент ξ , поверхность должна перемещаться со скоростью

$$U = \frac{1}{3} V. \quad (14)$$

Максимальный коэффициент использования энергии ветра при работе поверхности силой сопротивления не может быть больше $\xi = 0,192$ [1].

Крыльчатые ветроколеса работают за счёт косого удара при движении лопастей перпендикулярно к направлению скорости ветра, т.е. в противоположность к прямому удару, рассмотренному в предыдущем случае. Устройство такого колеса показано на рис. 10 [1]. На горизонтальном валу закреплены крылья, число которых у современных ветродвигателей бывает 2 и больше. Крыло ветроколеса состоит из маховика a и лопасти b , закрепляемой на маховике так, что она образует с плоскостью вращения некоторый угол ϕ . Этот угол называют углом заклинивания лопасти (рис. 10). При этом на её элементы набегают воздушный поток с относительной скоростью W под углом α , который называют углом атаки, и действует с силой R . Углы ϕ и α в значительной мере определяют эффективность крыльев. Силу R раскладывают на силы P_x и P_y (рис. 10, a). Силы P_x производят давление в направлении ветра, которое называется лобовым давлением. Силы P_y действуют в плоскости y — z вращения ветроколеса и создают крутящий момент [1]. Максимальные силы, приводящие колесо во вращение, получаются при некотором значении угла атаки α , т.е. угла наклона относительного потока к поверхности лопасти. Ввиду того, что окружная скорость крыла не одинакова, а возрастает по мере удаления его элементов от оси вращения ветроколеса, относительная скорость W набегающего потока на лопасть также возрастает. Вместе с этим убывает угол атаки α , и при некоторой окружной скорости ωR , где ω — угловая скорость, этот угол станет отрицательным (рис. 10, b). Следовательно, не все элементы крыла будут иметь максимальную подъёмную силу. Если уменьшать угол ϕ каждого элемента лопасти по мере удаления его от оси вращения так, чтобы наивыгоднейший угол атаки α примерно сохранялся постоянным, то получится условие, при котором приблизительно все элементы лопасти будут работать со своей максимальной подъёмной силой.

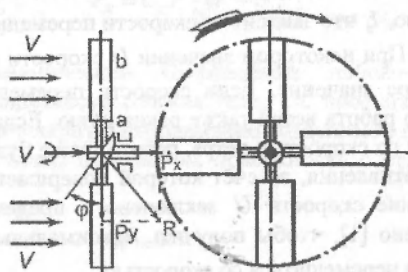


Рис. 10. Конструктивная схема крыльчатого ветроколеса

Лопасть с переменным углом заклинивания получает форму винтовой поверхности. Правильные углы заклинивания лопасти при хорошем аэродинамическом качестве профиля, а также ширине, соответствующей заданной скорости ветра, обеспечивают высокий коэффициент использования энергии ветра. У хорошо выполненных моделей он достигает 46 % [1].

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Любые процессы, при которых органическое сырье подвергают нагреву или частичному сжиганию для получения производных топлив или химических соединений, называют *пиролизом* [1, 4—6]. Изначальным сырьем могут служить древесина, отходы биомассы, городской мусор и уголь. Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде древесного угля и золы. Газификация — это пиролиз, приспособленный для максимального получения производного газообразного топлива. Устройства для частичного сжигания биомассы, проектируемые в расчете на получение максимального выхода газов, называются газогенераторами. Наиболее предпочтительными считаются вертикальные устройства, загружаемые сверху. КПД пиролиза определяется как отношение теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания используемой в процессе биомассы. Подаваемый материал предварительно сортируют для удаления негорючих примесей, подсушивают и измельчают. Критическим параметром, влияющим на температуру и на соотношение видов получаемых продуктов, является соотношение *воздух — горючее*. Управлять работающим блоком необходимо при температуре не более 600 °С. При этом можно выделить четыре стадии перегонки [1]:

- 1) 100—120 °С — подаваемый в газогенератор материал, опускаясь вниз, освобождается от влаги;
- 2) 275 °С — отходящие газы состоят в основном из N_2 , CO и CO_2 ; извлекаются уксусная кислота и метанол;

3) 280—350 °С — начинаются экзотермические реакции, в процессе которых выделяется сложная смесь летучих химических веществ (кетоны, альдегиды, фенолы, эфиры);

4) свыше 350 °С — выделяются все типы летучих соединений; одновременно с образованием СО происходит увеличение образования H_2 , часть углерода сохраняется в форме древесного угля, смешанного с зольными остатками.

Разновидности получаемого в результате пиролиза топлива подразделяются на твердые, жидкие и газообразные составляющие. *Твердый остаток* составляет 25—35 %. Современные установки для получения древесного угля, работающие при температуре 600 °С, преобразуют в требуемый продукт от 25 до 35 % сухой биомассы. Древесный уголь на 75—85 % состоит из углерода, обладает теплотой сгорания около 30 МДж/кг. *Жидкости* (конденсированные испарения) имеют максимальную массовую долю около 30 %. Они делятся на вязкие фенольные смолы и текучие жидкости, пиролигенные кислоты, в основном уксусную кислоту, метанол (максимум 2 %) и ацетон. Жидкости могут быть отсепарированы, либо могут использоваться вместе в качестве необработанного топлива с теплотой сгорания около 22 МДж/кг. *Газы*, получаемые в газогенераторах, составляют примерно 80 %. Смесь выделяющихся при пиролизе газов с азотом известна как древесный газ, синтетический газ, генераторный газ или водяной газ. Теплота сгорания на воздухе составляет 5—10 МДж/кг (от 4 до 8 МДж/м³ при нормальных условиях). Эти газы могут быть использованы непосредственно в дизелях или карбюраторных двигателях с искровым зажиганием, при этом основная трудность — избежать попадания в цилиндры золы и конденсирующихся продуктов пиролиза. Газы в основном состоят из N_2 , СО и CO_2 с малыми добавками CH_4 . Их накапливают в газгольдерах при давлении, близком к атмосферному [1].

Существуют также многочисленные термохимические методы получения биотоплива с использованием повышенного давления, водяного пара, водорода, углекислого газа, серной, фосфорной и других кислот [1, 4—6].

Широкое распространение получил способ получения биотоплива из этилового спирта (этанола) [1]. Промышленное производство этанола зависит от многих факторов, включая энергетические и экономические. Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что использование различных видов отходов биомассы для выработки электроэнергии и обеспечения производства теплом — основа рентабельности получения этанола.

Жидкие топлива чрезвычайно важны из-за удобства использования и хорошего управления сгоранием в двигателях. Можно вводить в переделанные бензиновые двигатели 95%-й этанол [1], а можно подавать в обычный двигатель смесь из 100%-го этанола (обезвоженного) с бензином в соотношении 1:10. Обезвоженный этанол — жидкость в интервале температур от -117 до +78 °С с температурой воспламенения 423 °С. Применение его в двигателе внутреннего сгорания требует специального карбюратора. Поэтому смешивают бензин с обезвоженным этанолом (20 % по объему) и используют эту смесь (газохол) в обычных бензиновых двигателях. Газохол в настоящее

время — обычное топливо в Бразилии (этанол там получают из сахарного тростника и маниоки), используют его и в США (этанол из кукурузы). Важная особенность этанола — способность выдерживать ударные нагрузки без взрыва, что является предпочтительнее добавок из тетраэтилсвинца, вызывающего серьезные загрязнения атмосферы. Хорошие свойства этанола как горючего обеспечивают двигателям 20%-е увеличение мощности по сравнению с чистым бензином. Массовая плотность и теплотворная способность этанола ниже, чем бензина, соответственно теплота сгорания (24 МДж/м^3) на 40 % ниже, чем бензина (39 МДж/м^3). Однако лучшее горение этанола компенсирует это уменьшение теплотворной способности. Опыт подтверждает, что двигатели потребляют примерно одинаковое количество газохла и бензина [1].

4. ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО

4.1. Основные способы получения водорода

Водород удовлетворяет многочисленным требованиям, предъявляемым к энергоносителям [5]. Он обладает высокой теплотворной способностью. При сжигании 1 кг водорода образуется свыше 138000 кДж, что более чем в три раза превышает теплоту сгорания бензина. Содержание водорода в земной коре составляет по массе 1 %, а окисляясь, он образует воду, в которой его содержание достигает 12 %. Главное достоинство водорода состоит в том, что это экологически чистое топливо. Ввиду низкой плотности и вязкости водорода мощность перекачки его по трубопроводам может достигать 20 тыс. МВт. Как топливо водород качественно близок к природному газу и топливно-воздушной смеси. Поэтому он пригоден для использования в тех же технологических установках, как и другие органические топлива. Водород универсален в использовании и удобен в хранении (в газгольдерах) [5].

Водород в природе встречается в связанном состоянии, в основном в воде. Чтобы выделить водород из этих соединений, надо разорвать его ковалентную связь с атомами других элементов, образующих молекулу конкретного вещества. Для воды, например, необходимо разорвать связь вида $\text{H}=\text{O}=\text{H}$. Разрыв водородных связей можно осуществить как прямыми, так и косвенными методами. В первом случае к расщепляемой молекуле извне подводится энергия какого-либо вида: тепловая, электрическая, химическая, радиационная. Косвенные методы предполагают многоступенчатое преобразование исходного вещества с участием вспомогательных реагентов. Такие методы сложны, но менее энергоемки [5].

Для получения водорода из воды используют следующие способы: термический, электролитический, термохимический и фотохимический [5, 6].

Термический способ (термолиз) [5] состоит в высокотемпературном воздействии на воду. Термодинамические расчеты показывают, что для осуществления термолиза необходимо поддерживать температуру около 3500°C .

Проводить такой процесс в производственных условиях сложно. Поэтому термический способ представляет лишь теоретический интерес.

Электрохимический способ (электролиз) [5] состоит в разложении воды электрическим током. КПД электростанции, на которой теплота сгорания водорода превращается в энергию, составляет не более 40 %. Это означает, что из каждых 100 кВт·часов, затраченных на получение водорода, только 32 кВт·часа можно вновь преобразовать в электроэнергию, а остальная энергия теряется из-за несовершенства рабочих процессов в энергетических установках электростанции — парогенераторе, турбине, электрогенераторе, конденсаторе. Электролиз воды является в настоящее время основным способом получения водорода.

Термохимические способы [5] заключаются в последовательном проведении нескольких химических реакций, одним из конечных продуктов которых является водород. Многостадийность процесса очень затрудняет его крупномасштабное промышленное внедрение. Достоинством же является то, что они не требуют подвода электроэнергии и осуществляются при относительно невысоких температурах. Разработанный учеными Евратома термохимический способ трехстадийного получения водорода с использованием хлористого железа, оксида железа и соляной кислоты позволил получить чистый водород. Температура проведения химических реакций изменялась от 120 до 650 °С.

Фотохимический способ (фотолиз) [5] основан на расщеплении воды под действием солнечной энергии. Однако промышленное применение этого метода ограничено из-за использования в процессе фотолиза дорогостоящих фотокатализаторов — красителей.

4.2. Использование тепловой энергии водорода для получения теплоизоляционных строительных материалов

Разработан новый состав и технология получения сырьевой смеси для производства легкого огнеупорного бетона, не требующего тепловой обработки [3]. Это достигается применением сырьевых компонентов, в результате смешивания которых при обычных температурах и атмосферном давлении выделяется чистый водород.

Требуемый технический результат, полученный в результате решения поставленной задачи, достигается тем, что сырьевая смесь для производства легкого огнеупорного бетона, включающая алюминиевую пудру, ортофосфорную кислоту 60%-й концентрации, глиноземистый шлак, дополнительно содержит сернокислый шлак и вермикулит при следующем соотношении компонентов (мас. %):

алюминиевая пудра	3—4,
указанная ортофосфорная кислота	22—25,
глиноземистый шлак	40—42,
сернокислый шлак	12—14,
вермикулит	15—23.

высоких огнеупорных свойств, позволило получить строительные изделия плотностью до 550 кг/м^3 .

Сырьевую смесь готовят в следующей последовательности. К сернокислому шламу добавляют ортофосфорную кислоту 60%-й концентрации в количестве 30 % от общего объема, и полученную смесь перемешивают в течение 1—2 минут. Аллюминиевую пудру, глиноземистый шлак и вермикулит фракции 0—5 мм перемешивают до однородной массы. Подготовленные смеси сернокислого шлама и ортофосфорной кислоты, а также аллюминиевой пудры, глиноземистого шлака и вермикулита соединяют и затворяют оставшимся количеством (70 %) ортофосфорной кислоты. Полученную смесь перемешивают до начала тепловыделения и формуют в изделия. Время твердения изделий составляет 25—30 минут после смешивания компонентов смеси.

Использование сырьевой смеси позволит повысить огнеупорные свойства при увеличении прочности и снижении плотности изделий, улучшить экологическую обстановку и снизить стоимость за счет использования не утилизируемых отходов производства и полного отсутствия тепловой обработки [3].

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Основным методом оценки экономической эффективности использования гелио-, ветроэнергетических установок, биотоплива, малых ГЭС и других нетрадиционных источников энергии является способ сравнительной эффективности [4—6]. По этому методу сопоставляются затраты, связанные с сооружением и последующей эксплуатацией рассматриваемого энергетического объекта, с аналогичными затратами по альтернативному проекту, обеспечивающему такой же энергетический эффект.

Обобщающей экономической характеристикой варианта строительства установки, использующей нетрадиционный возобновляемый источник энергии (УНВИЭ), и альтернативного решения в соответствии с типовой методикой эффективности капитальных вложений являются приведенные затраты [4].

Альтернативным вариантом для УНВИЭ может служить, например, ТЭЦ. Приведенные затраты для теплоэлектроцентрали можно определить как [4], руб/год

$$Z_1 = E_n K_1 + I_1 + C_1 B_1, \quad (15)$$

где K_1 — единовременные капитальные вложения, руб.; I_1 — годовые эксплуатационные издержки, руб/год; E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год; C_1 — стоимость используемого топлива, руб/т; B_1 — годовой расход топлива, т/год.

Годовой расход топлива можно определить через количество вырабатываемой электроэнергии (W_1 , кВт·ч) и удельного расхода топлива на один кВт·ч (β , т/кВт·ч). После преобразования (15) можно записать [4], руб/год

$$Z_1 = E_n K_1 + I_1 + C_1 \beta W_1. \quad (16)$$

При строительстве в рассматриваемом районе УНВИЭ потребитель будет получать от нее часть электроэнергии (W_2), а недостающее количество ($W_1 - W_2$) — от ТЭЦ. Приведенные затраты (Z_2) в этом случае, руб/год

$$Z_2 = E_n K_1 + I_1 + C_1 \beta (W_1 - W_2) + E_n K_2 + I_2, \quad (17)$$

где K_2 и I_2 — капитальные затраты (руб.) и суммарные годовые издержки (руб/год) на УНВИЭ.

В зависимости (17) при более точных подсчетах необходимо учесть снижение потерь электроэнергии в системе при уменьшении передачи через нее электроэнергии на величину W_2 . Однако погрешность в данном случае будет невелика, так как определенные потери электроэнергии будут и в случае питания потребителя от УНВИЭ.

Электроснабжение потребителя от УНВИЭ будет целесообразно, если будет выполняться условие [4]

$$Z_1 = Z_2 \quad (18)$$

или

$$E_n K_1 + I_1 + C_1 \beta W_1 = E_n K_1 + I_1 + C_1 \beta (W_1 - W_2) + E_n K_2 + I_2. \quad (19)$$

После преобразования равенство (19) принимает вид

$$C_1 \beta W_2 = E_n K_2 + I_2. \quad (20)$$

Выражение (20) показывает, что применение УНВИЭ экономически целесообразно, если годовые приведенные затраты на нее будут равны стоимости вытесняемого топлива на ТЭЦ.

Суммарные годовые издержки (I_2) можно определить как [4]

$$I_2 = \sum E_i K_2, \quad (21)$$

где E_i — нормы отчисления на амортизацию, текущий ремонт и т.п.

Для УНВИЭ величину E_n можно принять равной 0,12, величину E_i — равной 0,06 [4].

Рассмотрим эффективность использования *солнечной энергии* в двух вариантах [4]:

при непосредственном преобразовании в электрическую;

при получении тепловой энергии с помощью солнечных коллекторов.

Для непосредственного преобразования *солнечной энергии в электрическую* служат солнечные батареи. Значения КПД этих батарей в промышленных установках может достигать 0,15. Тогда выражение (20) можно преобразовать [4]

$$K_{уд} = \frac{C_1 \beta W_2 \eta_{сб}}{E_n + \sum E_i}, \quad (22)$$

где $K_{уд}$ — удельная стоимость 1 м² солнечного коллектора, руб., соответствующая условию (18); C_1 — стоимость угля, принималась равной 385 руб/т; β — принималась равной 335 г у.т./кВт·ч; W_2 — годовая суммарная поступающая солнечная энергия, кВт·ч/м²; $\eta_{сб}$ — КПД солнечной батареи [4].

При получении *тепловой энергии с помощью солнечных коллекторов* экономический эффект следует искать в сопоставлении двух вариантов [4]. В одном из них теплоснабжение осуществляется от котельной, во втором — от солнечных коллекторов и котельной. Расчет в данном случае можно вести по аналогии с уравнением (17), имея в виду, что КПД солнечных коллекторов составляет около 50 %; а КПД котельной на твердом топливе — около 65 %. Минимальная стоимость солнечных коллекторов составляет около 70 дол./м². Приняв эту величину за расчетную, определим предельное значение стоимости органического топлива, при котором для данного района экономически целесообразно использование энергии солнца для производства тепловой энергии. Расчеты показывают, что применение солнечной энергии для тепловых целей экономически оправдано при стоимости органического топлива от 250 до 300 руб/т [4].

Для расчета технико-экономической эффективности использования *ветроэнергетических установок* используется выражение (20) в виде [4]

$$C_1 \beta W_2 = K_2 (E_n + \sum E_i), \quad (23)$$

где C_1 — стоимость органического топлива, руб/т у.т.; β — расход органического топлива, г у.т. (кВт·ч); W_2 — количество электроэнергии, вырабатываемое ветроэнергетической установкой за год, кВт·ч; K_2 — капитальные вложения на ветроэнергетическую установку, руб.; E_n — нормативный коэффициент эффективности; $\sum E_i$ — нормы отчисления на амортизацию, текущий ремонт и т.п.

Выражение (23) преобразуем, поделив левую и правую части на величину номинальной мощности генератора ветроэнергетической установки (P_n). В результате получаем удельную стоимость одного кВт, которая будет экономически оправдана, т.е. количество сэкономленного топлива на электростанции будет по стоимости больше, чем затраты на ветроэнергетическую установку [4], руб / кВт

$$K_{уд} = \frac{K_2}{P_n} = \frac{C_1 \beta \frac{W_2}{P_n}}{E_n + \sum E_i} \quad (24)$$

Количество вырабатываемой энергии определяется для ветроэнергетической установки типа АВЭУ-6-4 м. В расчетах значение β принимается равным 335 г у.т. / кВт·ч, а значение $(E_n + \sum E_i) = 0,18$ [4].

Для оценки технико-экономической эффективности использования энергии малых рек используют выражение (20) [4].

Количество выработанной электроэнергии W_2 выражают через установленную мощность $P_{уст}$ и время её использования t [4], кВт·ч

$$W_2 = P_{уст} t. \quad (25)$$

С учетом (20) и (25) выражение (24) примет вид

$$C_1 \beta P_{уст} t = (E_n + \sum E_i) K_2. \quad (26)$$

Тогда экономически целесообразные удельные капиталовложения на сооружения малых ГЭС будут равны

$$K_{уд} = (C_1 \cdot \beta \cdot t) / (E_n + \sum E_i). \quad (27)$$

Для гидроэнергетических объектов нормативный коэффициент эффективности принимается равным 0,12. При большом влиянии их на развитие экономики района коэффициент может быть снижен до 0,08. Сумма ежегодных отчислений для миниГЭС по применяемым в настоящее время нормам принимается в пределах 2—6 % от капитальных затрат. В расчете по формуле (27) принята стоимость угля $C_1 = 385$ руб. и стоимость газа $C_1 = 250$ руб. за тонну условного топлива, а значение $\beta = 335$ г у.т./кВт·ч [4].

Для экономического сравнения за косвенный показатель установленной мощности при прочих равных условиях (площади водосбора, напора) принят модуль стока (M , л/с·км²). Обеспеченный модуль стока определялся для среднего по водности года ($P = 50\%$). Для определения времени использования одной и той же мощности в условиях различных гидроэнергетических районов исследуемой территории используются кривые распределения среднемесячных модулей стока по районам [4].

Исходя из вышеизложенного, для всех районов исследуемой территории по формуле (27) строятся зависимости экономически целесообразных капиталовложений в сооружение малых ГЭС от стоимости органического топлива для $M = 2, 4$ и 6 л/с·км², что соответствует для усредненных условий $P_{уст} = 60, 120$ и 180 кВт [4].

Эта методика позволяет оценить экономическую целесообразность возведения установок НВИЭ при существующих ценах на органическое топливо для любого района с учетом установленной мощности установки. При фикс-

сированной стоимости топлива по мощности установки можно определить пределы эффективных капиталовложений. С помощью этой методики можно решить и обратную задачу — по проектным удельным показателям энергетической установки определить, при какой стоимости органического топлива экономически целесообразно её строительство [4—6].

Библиографический список

1. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Саранск, МордовГУ им. Н.П. Огарева, 2004.
2. ГОСТ 28310—89. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. М. : Госстандарт, 1990.
3. Патент на изобретение № 2257363. Сырьевая смесь для производства легкого огнеупорного бетона / В.А. Перфилов, Ю.С. Агеев. Бюллетень № 21 от 27.07.05.
4. Саплин Л.А. Уточненная методика оценки эмпирических характеристик с помощью кривых распределения Пирсона для Южного Урала / Л.А. Саплин, В.Л. Орлов // Труды ЧИМЭСХ. Челябинск, 1990.
5. Ушаков В.Г. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Учебное пособие / НГТУ. Новочеркасск, 1994. 120 с.
6. Шиликин Н.Д. Малые энергоэкономичные комплексы с возобновляемыми источниками энергии. М. : Готика, 2000. 236 с.