

# ЭКОНОМИКА РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАН

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЙЕМЕНЕ

М.А. Аль-Хулайди

Московский Энергетический Институт  
(Технический Университет)  
*ул. Красноказарменная, 14, Москва, Россия, 111250*

В статье дается оценка возможностей использования экономически обоснованного потенциала возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — солнечной, ветровой, гидроресурсов, приливной и тепловой энергии морей, биомассы, высоко- и низкопотенциальной геотермальной — на основании климатических данных в Йеменской Республике (ЙР). Обобщены технико-экономические данные по различным установкам. Указаны недостатки и трудности, определены основные приоритеты стратегии развития энергетической отрасли республики. Благоприятные климатические условия позволяют говорить о высоком техническом и экономическом потенциале возобновляемых источников энергии, а также об огромной социальной значимости развития их использования.

**Ключевые слова:** Йеменская Республика, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, ветроэнергетика, гидроэнергетика, энергия биомассы.

На сегодняшний день Йеменская Республика существенно отстает от развитых и многих развивающихся стран как по объему, так и по темпам освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Большая часть территории страны находится вне систем централизованного энергоснабжения. Энергоснабжение потребителей здесь осуществляется с помощью автономных энергоустановок, требующих завоза дорогого топлива, приобретение и эксплуатация которых сопряжена с большими издержками, не говоря об их отрицательном воздействии на окружающую среду. Неуклонно и быстро растут тарифы и цены на энергоресурсы. Часть населения вообще лишена каких-либо источников энергоснабжения. В целях повышения уровня жизни населения и развития экономики страны возникает необходимость ввода новых энергетических мощностей.

Необходимость ускоренного развития ВИЭ в стране обусловлена объективными факторами. В Йеменской Республике спрос на энергию продолжает расти, несмотря на усилия правительства, направленные на содействие энергосбереже-

нию. Таким образом, перед страной стоит задача по осуществлению структурных изменений экономического, социального и технологического характера, что позволит вступить в новую эру инновационных и устойчивых моделей производства и потребления энергии.

При сложившейся в стране энергетической и экономической конъюнктуре ВИЭ в ближайшей перспективе вряд ли смогут составить серьезную конкуренцию традиционной энергетике. Вместе с тем, очевидно, что уже сегодня ВИЭ могли бы внести в Йеменской Республике существенный вклад в решение обостряющихся проблем жизнеобеспечения в отдаленных районах, не имеющих централизованных систем энергоснабжения. Для решения проблем на пути к чистому, надежному, безопасному и конкурентоспособному энергоснабжению потребуется широкий набор технологий устойчивой энергетики. В Йеменской Республике в период с 1990 по 2010 г. было проведено несколько конференций по проблеме использования ВИЭ, основное внимание на которых уделялось развитию солнечной энергетики [3; 4]. Тем не менее до сих пор глубоких экономических исследований всего комплекса проблем энергообеспечения для Йемена проведено не было. Целью данной работы является оценка экономически обоснованного вовлечения в использование в массовых масштабах ВИЭ.

**Анализ технико-экономических показателей установок ВИЭ.** В настоящее время разработано и представлено на рынке большое количество различных вариантов реализации потенциала ВИЭ [5], основные обобщенные технико-экономические показатели которых представлены в таблице. В связи с отсутствием собственного производства оборудования и сложным рельефом местности затраты на транспорт могут быть велики. Стоимость монтажных и пуско-наладочных работ может существенно колебаться от 20 до 100% стоимости капитальных вложений и зависит от многих факторов: унификации оборудования, местных условий, расценок предприятий, предоставляющих эти услуги и т.д. Поэтому встает вопрос экономической целесообразности их использования в Йемене.

Таблица

**Обобщенные технико-экономические данные по установкам, использующим возобновляемые и невозобновляемые источники энергии**

Наименование электростанции	Номинальная мощность, кВт	Удельная стоимость, долл./кВт	Удельная стоимость, долл./кВтч
Солнечные фотоэлектрические модули	0,0004—2	2 500—20 000	0,05—0,2
Ветроэнергетические установки	0,15—250	1 000—22 500	0,03
Микро- и малые гидроэлектростанции	0,4—11 000	250—10 000	0,03
Биоэнергетические установки	1,5—4 400	800—2 500	0,06
Теплонасосные установки	5—1 000	200—1 000	—
Дизельные и бензиновые электростанции	0,5—1 500	100—10 000	0,1
Геотермальные установки	500—25 000	400—5 000	0,05

Источник: [5].

Как показывает таблица, электроэнергия, производимая на малых ГЭС, ветроустановках и геотермальных скважинах, — одна из самых дешевых и со временем становится все дешевле. На электростанциях, использующих биомассу, себе-

стоимость электроэнергии несколько выше, хотя уже сопоставима с производством на угле, однако удельная стоимость 1 кВт мощности одна из самых низких. Использование энергии солнца остается самым дорогим видом электроэнергии, но уже может конкурировать с традиционными способами. При переходе на централизованную энергосистему приемлемым считается период окупаемости 5—10 лет при удельных капитальных вложениях не более 1500 долл./кВт и использования установленной мощности не менее 2200 ч/год. Для автономных энергообъектов эти величины составляют 2000 долл./кВт и 1500 ч/год. Для нетрадиционной энергетики в зависимости от проекта период окупаемости может составлять от 3 до 15 лет.

Сопоставить стоимость электроэнергии, производимой различными электростанциями малой мощности, сложно, так как она зависит от многих факторов: мощности, места строительства и трудозатрат на строительство объекта, многофункциональности инженерных сооружений, условий финансирования проекта, влияния на окружающую среду и социальные условия и пр. Поэтому выбор оптимального варианта необходимо обосновывать с помощью современных методов оценки экономической эффективности инвестиционных проектов.

Диапазоны мощности установок ВИЭ могут широко варьироваться в условиях Йемена в зависимости от потребителей — от нескольких киловатт для индивидуальных потребителей до 182 мегаватт, например, для разрабатываемой в рамках международного проекта в городе Ходайда ветровой электростанции, крупнейшей на Ближнем Востоке.

Необходимо оценить технический потенциал различных энергетических ресурсов, имеющихся на территории Йемена.

**Солнечная энергетика.** Йемен — горная страна со сложным географическим рельефом. Ее климат резко континентальный. В межгорных долинах и котловинах в летнее время дневная температура воздуха достигает 32—40 °С, а ночью опускается до 9—10 °С и ниже [1; 2]. В зимнее время наблюдается аналогичная картина. Йемен нельзя строго разделить на отдельные районы с одинаковыми климатическими условиями. Условно выделяются четыре природно-хозяйственные зоны: горные, прибрежные, пустынные и островные области. В каждой зоне свой микроклимат. Например, в Адене среднегодовая температура воздуха составляет 23,5 °С, в то время как в Сане она не превышает и 16,3 °С.

Количество солнечных часов в Йемене очень велико и составляет более 2,5 тыс. ч на севере страны, превышает 3 тыс. ч в центральном Йемене и достигает почти 3,5 тыс. ч в южных районах. В летний период (с июня по сентябрь) число солнечных часов в процентах от возможного составляет в стране 70—85% (в Ходайде почти 90%). Осенью (октябрь—ноябрь) вероятность безоблачной погоды тоже очень велика: на севере страны больше 60%, в Ходайде около 80%, на юге — от 70 до 85%. В зимнее время (с декабря по февраль) на севере примерно  $\frac{2}{3}$  времени приходится на пасмурную погоду с низкими облаками и частыми осадками. Поэтому число солнечных часов в северных районах составляет зимой 40—50%, в Ходайде — 60%, а на юге — 70% от возможного.

В [1; 2] представлены данные по четырем климатическим зонам Йемена по среднемесячной дневной солнечной радиации. Она составляет от 2,33 до 8,19 кВт·ч/м<sup>2</sup> в день, откуда следует, что годовое количество солнечной радиации, поступающей на 1 м<sup>2</sup>, составит около 1800 кВт·ч. Эти данные дают право сказать, что Йемен богат ресурсами солнечной энергии. И, сравнивая этот потенциал с другими источниками возобновляемой или невозобновляемой энергии, можно с уверенностью сказать, что он является наибольшим.

**Ветроэнергетика.** Ветроэнергетические установки (ВЭУ) представляют собой экологическую аппаратуру, предназначенную для преобразования энергии ветра в электроэнергию, а скорость ветра является главным элементом при проектировании и использовании ветроустановки.

Эффективное применение ветроустановок целесообразно при среднегодовой скорости ветра более 4 м/с на высоте 10 м, а ветер с меньшей скоростью может использоваться для водоподъемных устройств [8]. Максимальная проектная мощность ВЭУ определяется для некоторой стандартной скорости ветра примерно 12 м/с, при этом снимаемая с 1 м<sup>2</sup> площади мощность порядка 300 Вт. При сильном ветре (например, больше 12 м/с) ветроустановки вырабатывают достаточно электроэнергии, и ее излишек можно накапливать в аккумулирующих установках или передавать централизованной энергосистеме. В каждом конкретном случае требуется тщательный выбор параметров ветроустановок применительно к местным метеословиям.

Для определения потенциала ветровой энергии в Йемене используются данные, которые показывают, что Йемен располагает достаточными условиями для использования энергии ветра на большей части своей территории [1; 2]. Среднемесячная скорость ветра в прибрежных, горных и пустынных районах составляет 4—8 м/с, а на островах — 6—16 м/с. Практическое использование энергии ветра в Йемене, особенно на островах, представляется перспективными.

**Гидроэнергетические ресурсы.** Под гидроэнергетикой принято понимать преобразование энергии речных потоков в электрическую энергию. Гидрографическая сеть Йемена своеобразна и включает только водохранилища, собирающие воду горных потоков. Гидроэнергию в Йемене нецелесообразно применять для расширенного комплексного использования в народном хозяйстве в связи с недостатком ресурсов, несмотря на низкую себестоимость производства энергии на всех типах гидростанций и ряд несомненных достоинств. Кроме того, по оценкам экспертов ООН [6], Йемен может в ближайшее время стать первой страной, которая останется без пресной воды.

**Энергетические ресурсы морских приливов.** Приливы в морях и океанах возникают в результате взаимодействия гравитационных сил системы Солнце—Земля—Луна. В практическом отношении преобразование энергии приливов имеет смысл в тех местах побережья Мирового океана, где огромные массы воды из океанской акватории выходят на пологое дно шельфа.

На юге Йемен омывается водами Аравийского моря и Аденского залива, на западе — Красного моря. Йемену принадлежат также о-ва Камаран в Красном море,

Перим в Баб-эль-Мандебском проливе, Сокотра в Аденском заливе. Кроме того, Йемен претендует на о-ва Курия-Мурия, расположенные у побережья Омана. Поэтому Йемен можно отнести к районам наиболее значительных приливов.

По расчетам энергия волн для побережья Йемена за год составит  $208 \cdot 10^3$  кВт · ч/м. Длина побережья составляет 2500 км, за год энергия волн вдоль всего побережья составит 520 млн МВт · ч/г. Технический потенциал позволяет извлечь лишь от 5 до 30% энергии волн.

Высота прилива на побережье Йемена является заслуживающей внимания в практическом отношении использования его энергии. Актуально использование энергии морских приливов на островах, расположенных в Аденском заливе. В частности, остров Сокотра, где население составляет более 120 тыс. человек, объявленный ЮНИСЕФ экологически чистой зоной, остро нуждается в возобновляемых ресурсах, и приливная энергия могла бы наряду с ветровой и солнечной составить основную составляющую энергообеспечения.

**Энергия биомассы.** Одним из перспективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использование энергии биомассы. Это органическое вещество растительного или животного происхождения, преобразование которого путем термохимической или биологической реакции позволяет получить энергию или топливо. Основными требованиями к биомассе как к сырью являются: массовость, низкая стоимость, быстрая трансформация в метан.

Йемен является аграрной страной. Три четверти населения — крестьяне. Основными товарными культурами являются зерно, хлопок, кофе и фрукты, поэтому ценным сырьем для получения жидкого и газообразного топлива могут стать отходы зерно- и хлопководства. Развито и животноводство (разведение овец, коров, верблюдов) [1; 2], отходы которого являются массовым видом органических отходов и могут послужить основным источником получения энергии биоэнергетическими установками. Проблема утилизации отходов остро стоит при создании крупных животноводческих комплексов.

Установки для производства биогаза являются наиболее характерными и самыми простыми для изготовления в индивидуальных хозяйствах по сравнению с малыми энергоустановками, использующими другие виды возобновляемой энергии. Эффективности производства биогаза будет способствовать и тот факт, что Йемен — южная страна с высокой среднегодовой температурой воздуха.

**Ресурсы тепловой энергии морей и океанов.** Принцип использования тепловой энергии морей и океана заключается в том, что при нагревании солнцем воды в верхнем слое океана температура становится выше, чем на глубине.

Морскую территорию Йемена можно разделить на две части. Первая часть ограничивается линией равной глубины 200 м и берегом моря, а вторая часть условно начинается от этой линии в сторону от берега. В первой части температура придонного слоя воды примерно 12—17 °С, а поверхностного слоя 25—28 °С. Таким образом, разность температуры между верхним и нижним слоями составляет  $\Delta T \approx 11—13$  °С. При таком показателе в этом районе невыгодно осваивать ресурсы тепловой энергии морской воды.

Во второй части, где глубина моря существенно больше, разность температуры придонного и поверхностного слоев воды составляет  $\Delta T \approx 20\text{—}24\text{ }^\circ\text{C}$ , но освоение тепловой энергии океана в этом районе ограничено в связи с территориальными вопросами и техническими возможностями, а также требует совместных усилий стран, прилегающих к этой зоне. Таким образом, океанские (морские) тепловые электростанции в морских границах территории Йемена имеют малую перспективу. При тщательном изучении влияющих факторов и при условии развития технологий не исключена возможность освоения этого источника энергии в будущем.

**Ресурсы геотермальной энергии.** Геотермальная энергия широко используется для теплообеспечения и выработки электроэнергии во многих регионах мира. Принцип использования геотермальной энергии заключается в извлечении внутреннего тепла из глубины земной коры. Геотермальный источник обладает огромным потенциалом тепловой энергии, и в среднем геотермальный поток составляет около  $0,06\text{ Вт/м}^2$  при температурном градиенте менее  $30\text{ }^\circ\text{C/км}$ .

Йемен расположен вблизи границ плит. Потенциал геотермальной энергии страны достаточно велик. Тепловая мощность, которую можно получить от геотермальных источников Йемена, оценивается до  $20\text{ МВт/км}^2$ . Вместе с тем вывод о целесообразности извлечения тепла из-под земли можно делать лишь после специальных разведывательных работ. Для оценки экономического потенциала геотермальной энергии на территории Йемена необходимо проводить широкомасштабную геологоразведческую работу. Поскольку геотермальной энергией богаты многие страны Ближнего Востока, для осуществления таких исследований оптимальной может стать разработка межгосударственной программы по определению и использованию потенциала геотермальной энергии на всем Ближнем Востоке.

**Низкопотенциальная энергия поверхности суши и моря.** Количество среднетемпературного и низкотемпературного геотермального и сбросного тепла на много порядков больше, чем количество высокотемпературного тепла, пригодного для выработки электроэнергии. Практически оно есть везде.

Теплонасосное теплоснабжение из всех видов нетрадиционной энергетики является наиболее быстро развивающейся отраслью. В соответствии с прогнозами Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. в развитых странах 75% тепла для отопления и горячего водоснабжения будет поступать от тепловых насосов.

Основное преимущество теплового насоса — гарантированное получение  $4\text{—}5\text{ кВт}$  тепловой энергии при расходовании  $1\text{ кВт}$  электрической энергии на обеспечение работы теплового насоса. Тепловой насос может нагревать, охлаждать и поставлять теплую воду.

Источником тепла для тепловых насосов могут использоваться энергия воздуха, воды и земли. В условиях Йемена рекомендуется использовать тепловые насосы с грунтовыми зондами.

Для автономных потребителей необходимо использование дополнительного источника электроэнергии наряду с тепловым насосом. На практике чаще всего

используются дизельные или бензиновые генераторы или солнечные установки с аккумуляторами.

Итак, энергетика на возобновляемых источниках должна стать приоритетной в инновационном развитии экономики Йемена. Она считается ключевой составляющей в возможности удовлетворения основных потребностей в энергоснабжении населения, улучшении качества окружающей среды. Это также важный элемент процессов социального развития, поскольку на данный момент только 47% жителей в Йемене имеют доступ к электроэнергии, в то время как спрос на энергию продолжает расти.

Экономические показатели применения возобновляемых источников энергии, такие как стоимость электроэнергии и единицы установленной мощности, находятся на том же уровне или несколько выше аналогичных показателей традиционной энергетики. Для повышения эффективности нужно применять типовые проектные решения, стандартизированное оборудование и по возможности полностью автоматизировать работу станций. Некоторые технологии возобновляемой энергетики близки к коммерческому использованию и должны первыми получить широкомасштабное применение, другие, с большим потенциалом, но менее разработанные, должны рассматриваться в расчете на будущее по мере снижения их стоимости. Это потребует совместных усилий со стороны исследователей, разработчиков и демонстрационных структур, а также изучения технологий на основе рыночного применения.

Йемен располагает богатыми ресурсами возобновляемых источников энергии — солнца, ветра, внутреннего тепла Земли, морских приливов, биомассы, а также низкопотенциального тепла Земли. На основании приведенных выше материалов можно сделать выводы по их использованию.

Энергия ветра характеризуется доступностью, дешевизной и широким диапазоном мощности. Применение в Йемене возможно для выработки электроэнергии как в объединенную энергосистему, так и для изолированных потребителей.

Стоимость строительства современных волновых электростанций пока достаточно велика, и поэтому в Йемене освоение этого источника энергии может начинаться не с возведения крупномасштабных объектов, а с обеспечения электроэнергией местного населения вдоль побережья.

Развитию геотермальной энергетики в Йемене и выбору площадок для строительства местных и системных электростанций, работающих на внутреннем тепле Земли, должны предшествовать достаточно масштабные геологоразведочные работы.

Биомасса является богатейшим источником возобновляемой энергии, поэтому следует уделить основное внимание переработке отходов жизнедеятельности. Установки для производства биогаза являются наиболее характерными и самыми простыми для изготовления в индивидуальных хозяйствах.

Для повышения надежности снабжения электроэнергией индивидуальные установки должны работать в комплексе с дублирующими источниками энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Republic of Yemen Ministry of planning and int. coop. Central statistical organization. [www.Cso-yemen.org](http://www.Cso-yemen.org)
- [2] Republic of Yemen Ministry of electricity and energy. Public Electricity Corporation (PEC). [ypecnt@y.net.ye](mailto:ypecnt@y.net.ye)
- [3] Альтернативные источники энергии. Региональный форум. Сана, Йеменская Республика, 21—22 апреля 2004.
- [4] Солнечные фотоэлектрические установки для Запада Азиатского региона. Конференция. Аден, Йеменская Республика, 1 декабря 2005.
- [5] Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / Под ред. В.И. Виссарионова. — М., 2004.
- [6] Программа организации объединенных наций по окружающей среде UNEP. [www.unep.org](http://www.unep.org)
- [7] *Бенишик О.* Возобновляемая энергетика в изменяющемся мире: успехи и потребности // Энергетический вестник. — 2009. — Январь — февраль.
- [8] *Виссарионов В.И., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Дерюгина Г.В., Шван Д.Э.* Расчет ресурсов ветровой энергетики. — М.: Изд-во МЭИ, 1997.

## ECONOMIC POTENTIAL OF RENEWABLE ENERGY SOURCES USE IN YEMEN

**M.A. Al Khulaidi**

The Moscow Power Energetic Institute (Technical University)  
*Krasnokazarmennaya str, 14, Moscow, Russia, 111250*

The article represents the evaluation of opportunities of economical potential use of renewed energy sources (solar, wind, hydro resources, tidal and thermal energy of the seas, biomass, high and low potential energy of geothermal) based on climatic data of Yemen. Technical and economic data on various device are generalized. Lacks and problems are indicated, the basic strategy priorities of power branch development of the country are defined. Favorable climatic conditions allow to speak about high technical and economic potential of renewed energy sources, and also about the high social importance of their use development.

**Key words:** Republic of Yemen, renewable energy, solar energy, wind power, hydropower, biomass energy.