

УДК 32.327.57

АМЕРИКАНСКИЙ ВАРИАНТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА БУДУЩЕГО

© 2012 г. **А.В. Корнеев***

Институт США и Канады РАН, Москва

Планируемые долгосрочные изменения в энергетической политике США, связанные с реализацией многолетней инновационной программы по постепенному снижению доли традиционного минерального топлива в структуре потребления, могут способствовать серьёзным будущим изменениям американского и мирового энергетического баланса.

Ключевые слова: *энергия, будущее, топливный баланс, возобновляемые источники, энергия океана, термоградиенты, Россия, США, геополитика.*

Долгосрочные тенденции в мировой энергетике

Наметившиеся долгосрочные тенденции в мировой энергетике заключаются в постепенном снижении относительной доли твёрдого и жидкого минерального топлива, а также в переходе к преимущественному использованию газообразных энергоносителей, включая пропан, бутан, природный газ и водород. При этом возрастает роль децентрализованных природосберегающих низкоинтенсивных энергетических технологий, а также дифференцированных энергетических рынков. Возможные геоэкономические последствия этих тенденций, соответствующие мировые политические, экономические и социальные тренды, а также их инвариантные экстраполяции представляют значительный интерес для выработки возможных сценариев трансформации мировой энергетики. Представленные в статье положения базируются на расчётах и предварительных прогнозных оценках федерального Управления энергетической информации США и Центра проблем энергетической безопасности Института США и Канады РАН.

Для России при переходе к устойчивому инновационному экономическому развитию важно своевременно использовать в своих интересах открывающиеся в связи с этим новые возможности повышения энергоэффективности и ускоренной модернизации ТЭК. В ходе возрождения традиционной геополитической роли РФ, как независимого стабилизирующего фактора регионального и

* **КОРНЕЕВ Андрей Викторович** – кандидат экономических наук, руководитель Центра проблем энергетической безопасности ИСКРАН. E-mail: setavrc@post.ru

мирового значения, ключевую роль играют новые механизмы и структуры многосторонней международной координации инициатив, направленных на реальное обеспечение энергетической безопасности, стабильности и охраны окружающей среды.

Прогнозируемые изменения мирового топливного баланса могут в определённой мере ослабить геополитический интерес США и их союзников к современной внутренней евро-азиатской зоне концентрации месторождений минеральных энергетических ресурсов, что, в свою очередь, будет способствовать снижению региональной напряжённости международных отношений и усилению влияния России.

Как показано на диагр. 1, уже сейчас природный газ обеспечивает около 23% энергетического баланса США – и его роль постоянно растёт, тогда как значение возобновляемых источников по-прежнему невелико. В последние годы дополнительную актуальность газовый фактор приобрёл благодаря резкому увеличению отдачи новых сланцевых месторождений, в результате чего общий объём подземного извлечения природного газа в США заметно превысил средний уровень его добычи в России. На данном этапе технологически извлекаемые и коммерчески рентабельные запасы сланцевого газа в Северной Америке оцениваются в 28,3 трлн. куб. м, а этого вполне достаточно, чтобы обеспечить потребности США на 45 лет вперед и быстро окупить затраты; всего в мире они могут составить до 200 трлн. куб. м [9].

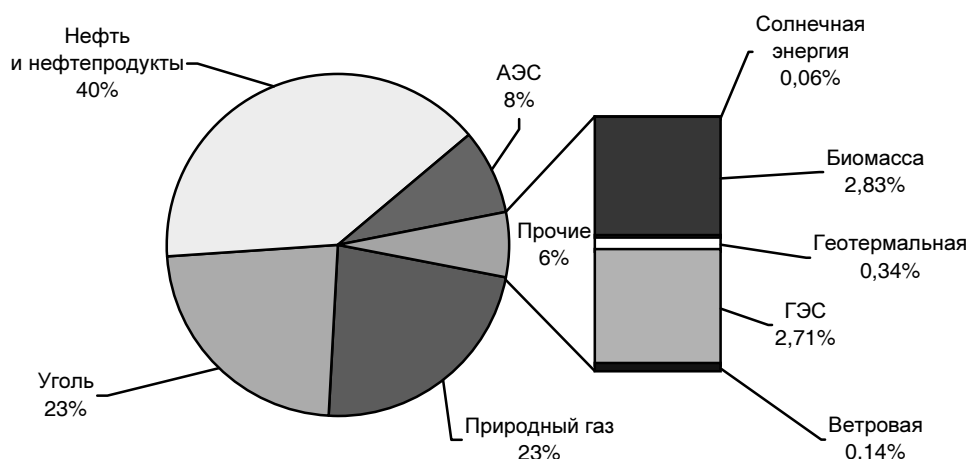
Наметившиеся качественные тенденции соответствуют долгосрочным историческим мировым трендам и, по данным Национальной системы энергетического моделирования США – НСЭМ (*National Energy Modeling System – NEMS*), продолжатся на обозримую перспективу до 2035 г. [14, р. 1]. НСЭМ – это компьютерная система математического моделирования Министерства энергетики США, которая состоит из взаимосвязанных модулей эконометрических оценок производства, импорта, преобразования, потребления и цен на энергоносители; она также учитывает экспертные предположения о динамике макроэкономических и финансовых факторов на мировых энергетических рынках, наличные ресурсы и затраты, поведенческие и технологические критерии выбора, стоимостные и эксплуатационные характеристики энергетических технологий, а также демографические показатели.

Исходя из этого в более отдалённом будущем, как показано на схеме 1, можно ожидать постепенного выхода сначала американской, а затем и всей мировой энергетики в долгосрочную зону постепенного перехода от нефти и угля сначала к природному газу, а затем и к топливному водороду; впоследствии он сможет быть использован в качестве единого универсального монокомпонентного энергоносителя, полностью интегрирующего традиционные минеральные и возобновляемые энергоресурсы.

Эти процессы будут осуществляться на фоне предстоящей неизбежной замены современного (пятого) технологического уклада мировых производительных сил с преобладанием приоритетов дешевизны и внеэкономического принуждения малоквалифицированной рабочей силы, освоения микроэлектроники, информатики, биотехнологий, новых видов энергии и конструкционных материалов, освоения океана, космоса и использования спутниковой связи.

Диаграмма 1

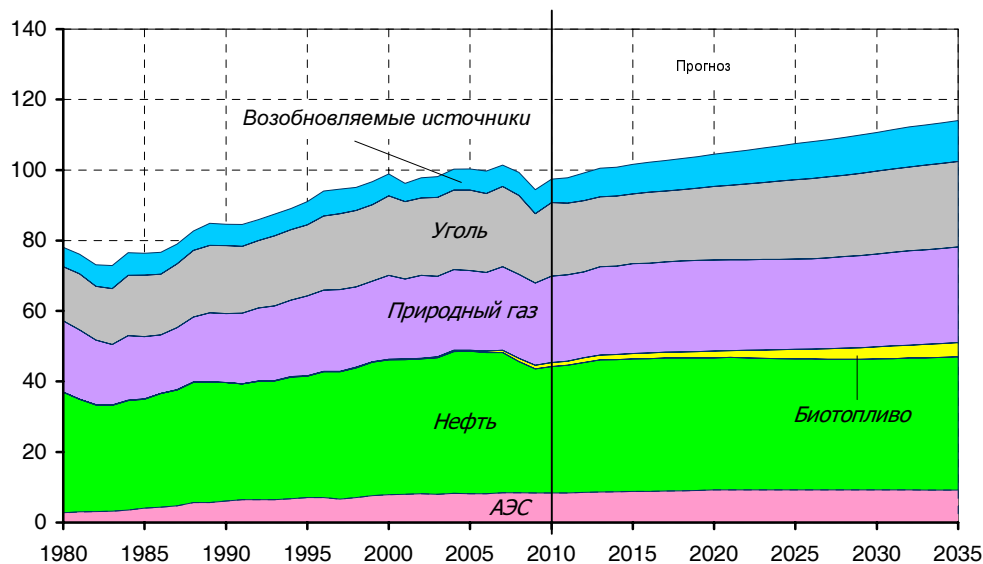
Современный обобщённый энергетический баланс США



Составлено по: [8, р. 1].

Диаграмма 2

Прогноз структуры обеспечения энергетического баланса США первичными источниками энергии до 2035 г., кв. британских тепловых единиц



Составлено по [6, р. 115].

Новые производственные системы следующего (шестого) технологического уклада, базирующегося на относительно малочисленных, более дорогих и высококачественных трудовых ресурсах, когнитивном мышлении, энергосберегающем природопользовании, молекулярной профилактической медицине, гибкой адаптивной робототехнике, квантовых компьютерах, геной инже-

рии, нанотехнологиях, использовании искусственного интеллекта, активно-адаптивных информационных и энергетических сетях, высокоскоростных унифицированных транспортных сетях, неизбежно приведут к значительному росту энергоэффективности и наукоёмкости конечной товарной продукции.

Прогнозируемые изменения топливного баланса США

Следует отметить, что если с твёрдым и жидким углеводородным топливом исторически были связаны синхронизированные и централизованные капиталоемкие технологии производства и распределения энергии, то после современного кризисного переходного периода можно ожидать, что будет установлен режим более устойчивого экономического развития (*sustainable energy development*) на основе гибких децентрализованных природосберегающих низкоинтенсивных технологий модульного распределённого производства и энергопотребления. Неустойчивость современного переходного состояния национальных и международных энергетических систем дополнительно обусловлена, таким образом, сменой качественной базисной парадигмы входных и выходных потоков основных применяемых энергоносителей.

Диаграмма 3

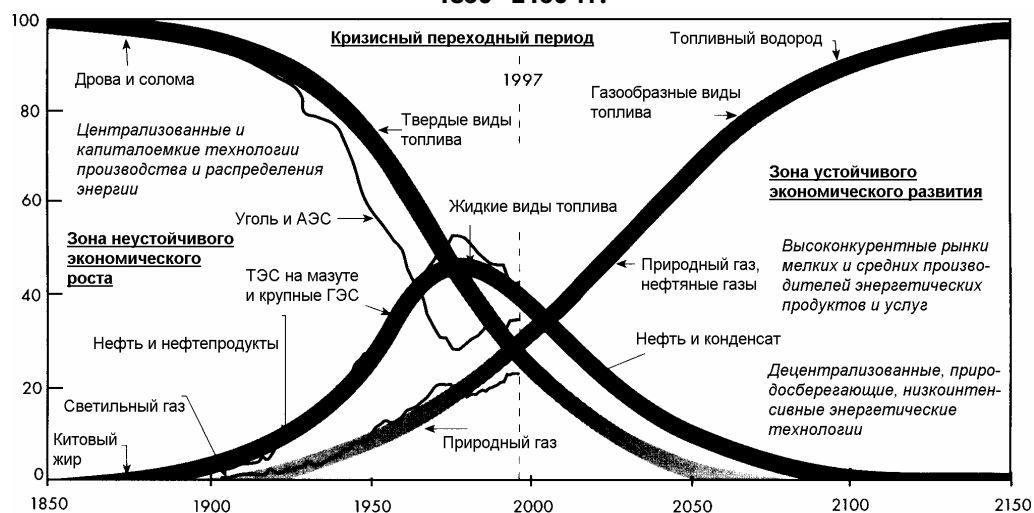


Составлено по [13, р. 24] (по вертикали – млрд. кВт · час).

Не связанные с ГЭС возобновляемые первичные источники смогут покрывать до 41% ожидаемого общего роста производства электроэнергии США с 2008 г. по 2035 г. Вместе с тем, к концу этого периода минеральное топливо скорее всего будет продолжать обеспечивать не менее 78% всего американского энергопотребления.

Схема 1

**Последовательные этапы перехода к энергетике устойчивого развития,
1850–2150 гг.**



Составлено по данным Управления энергетической информации США с дополнениями автора. По вертикальной шкале отложена процентная доля различных видов топлива на мировых энергетических рынках.

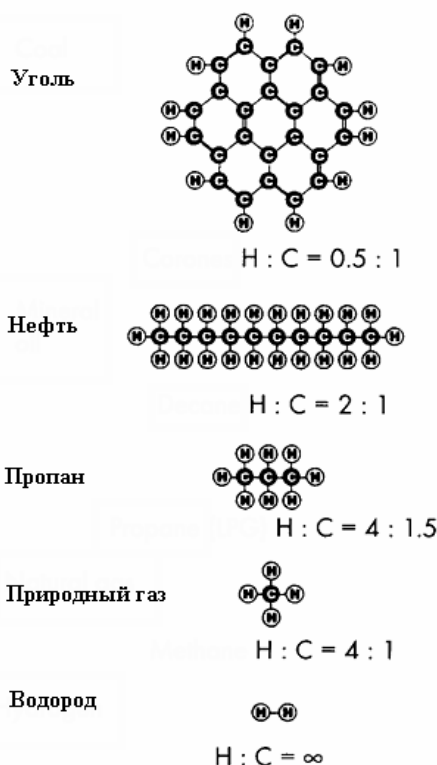
Как свидетельствуют данные схемы 1, меняется и характер господствующих энергетических рынков — происходит переход от прежнего жёсткого монополизма крупных вертикально интегрированных транснациональных корпораций к высококонкурентным динамичным рынкам мелких и средних национальных и региональных производителей диверсифицированных энергетических продуктов и услуг. Для США и других развитых стран в этом процессе можно выделить три последовательных этапа: начальную зону неустойчивого экономического роста, кризисный переходный период и последующую зону устойчивого экономического развития.

Ещё одной характерной и постоянной чертой исторического развития мировой энергетики является постоянное снижение молекулярного содержания углерода в господствующих наборах энергоносителей каждой новой общественно-исторической формации — от каменного угля до чистого топливного водорода, как показано на схеме 2.

Каждый такой переход повышает удельную энергонасыщенность топлива, обуславливает создание новых, более сложных транспортных и производственных технологий, общих способов материального производства, освоение новых военных стратегий и тактических возможностей, уменьшение уровня загрязняющих выбросов в окружающую среду. Однако эти переходы одновременно выдвигают качественно более высокие требования к технологической инфраструктуре ТЭК и обеспечению энергетической безопасности, практически не достижимые или нерентабельные на базе предшествующих технологических укладов.

Резкий рост эффективности и сложности технологических процессов вынуждает для снижения аварийности постепенно выводить производственный персонал из первичных контуров прямого ручного управления на более высо-

Исторический процесс снижения содержания фазообразующего углерода в ведущих энергоносителях



Составлено автором.

кие уровни автоматизированного процедурного контроля. Тем не менее, так как при этом цена каждой ошибки из-за неадекватных решений в критических стрессовых ситуациях резко возрастает, на повестку дня выходит необходимость резко повышать качество профессионального обучения и периодической переподготовки кадров.

Как показывает исторический опыт, количественные и качественные изменения указанных базисных энергетических характеристик экономических систем рано или поздно оказывают прямое воздействие на геополитические и геоэкономические интересы ведущих мировых держав.

Переход к газовой энергетике резко повысит значение криогенных технологий, а также новых энергетических транспортных систем. Ключевое значение в том, что касается безопасности, в первую очередь будут иметь магистральные трансграничные трубопроводы, окраинные припортовые промышленные зоны и морские пути. Геополитическое значение внутренних материковых районов размещения стратегических месторождений твёрдого и жидкого топливного минерального сырья в международных и внутренних конфликтных зонах при таком сценарии может заметно снизиться.

Возможности океанической энергетики на возобновляемых источниках

Другой очевидной тенденцией последующих этапов перестройки региональной и мировой энергетической инфраструктуры может стать переход к значительно более широкому использованию разнообразных возобновляемых источников энергии и созданию гибридных энергосистем с элементами разнородной внутренней промежуточной аккумуляции. Об этом, в частности, наглядно свидетельствует активное строительство в последние годы во всех развитых странах ветровых турбогенераторов, гидротермальных и гидроаккумулирующих электростанций, подключаемых к «интеллектуальным» сетям электропередач. Тем не менее, главным препятствием для развития возобновляемой энергетики на суше остаётся низкая пространственная концентрация её ресурсов, требующая значительных и более дефицитных наземных площадей. Именно поэтому всё большее внимание промышленно-развитых стран привлекают потенциальные морские энергетические источники, которые могут стать основой для локальных энергоустановок прибрежного и океанического базирования.

Главное достоинство всех подобных технологических схем заключается в том, что они смогут использовать в основном практически неисчерпаемую и непрерывно поступающую на Землю энергию солнечных лучей, естественным природным аккумулятором которой является Мировой океан. В отличие от АЭС и тепловых электростанций на топливных углеводородах, для которых решающим экономическим фактором являются кумулятивные затраты на топливо, такие новые нетрадиционные энергоустановки потребуют только начальных капиталовложений на строительство и сравнительно небольших последующих расходов на эксплуатацию и текущий ремонт. Отсутствие постоянных загрязняющих выбросов продуктов сгорания позволит избежать многих сложных проблем охраны окружающей среды, остающихся даже в случае успешного освоения пока ещё недоступной энергии термоядерного синтеза.

Морские возобновляемые энергетические ресурсы могли бы в перспективе дать возможность рентабельного бесперебойного получения коммерческой энергии за счёт использования вертикальных перепадов температур вод океана, поверхностных волн, морских течений, приливов, океанических ветров, естественных перепадов солёности, ресурсов биомассы водных растений, а также подводных геотермальных источников. Потенциальная мощность океанических ресурсов с использованием уже известных технических систем более чем в 2 раза превышает аналогичный суммарный показатель всей современной энергетики, причём свыше половины этой величины приходится на вертикальные термоградиенты.

Именно в этой области в ряде стран уже осуществлялись успешные технические разработки и длительная эксплуатация опытных установок. В то же время освоение прочих указанных источников пока ещё не вышло из стадии предварительных расчётов и лабораторных экспериментов.

Один из перспективных будущих способов получения топливного водорода из воды может быть связан с использованием вертикальных океанических

термоградиентов в экваториальных районах с помощью крупных плавучих генерирующих систем [15, р. 1]. Тепловая электростанция может быть размещена на плавучей заякоренной цилиндрической платформе диаметром около 100 м, изготовленной из напряжённого пористого бетона. Вокруг платформы расположены четыре идентичных вертикальных энергоблока мощностью по 100 тыс. кВт, каждый из которых состоит из теплообменников, турбогенераторов и насосных систем. Забор холодных глубинных вод может осуществляться с помощью колонны пластиковых труб диаметром 15–20 м и длиной 1200 м. Для защиты от штормов и ураганов, закрытая надстройка поста управления, имеющая по сравнению со всей системой незначительный диаметр и высоту, может временно погружаться ниже уровня поверхности океана.

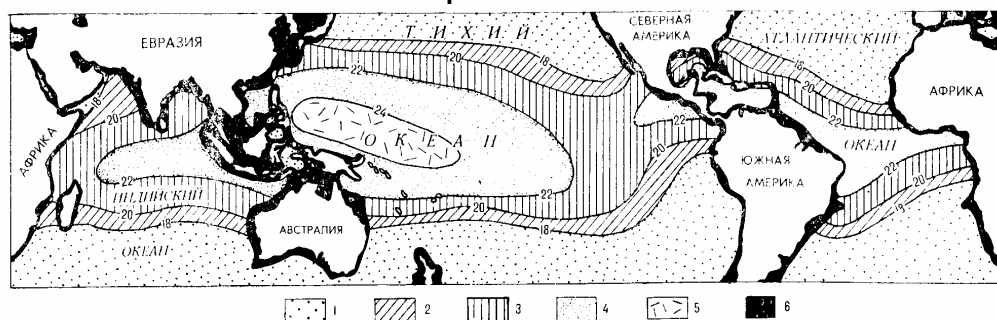
Стоимость строительства подобной станции водоизмещением от 500 тыс. т оценивается от 500 млн. до 900 млн. долл. Проекты практического использования энергии термальных градиентов основаны на концепции строительства специальных крупномасштабных установок там, где на основе преобразования солнечной энергии естественным путём поддерживаются постоянные различия температур водной или воздушной среды [1, с. 326; 2, с. 1; 10, р. 132; 5, с. 92–99; 11, р. 218–221.] .

В 70-е и 80-е годы прошлого века были предложены экваториальные и арктические схемы генерации. В последних планировалось использовать значительный перепад температур (до 30–40°C) между подледными слоями незамерзающей морской воды и охлаждёнными приземными воздушными массами, однако негативными факторами в таком варианте могут стать неблагоприятные климатические и транспортные условия возможных районов их базирования, а также неравномерный сезонный режим эксплуатации агрегатов. Как значительно более приемлемые оцениваются экваториальные схемы, рассчитанные на утилизацию температурных перепадов не менее 20°C между холодными водами на глубине около 1 тыс. м и тёплыми поверхностными слоями [3, с. 4–5].

Общая площадь такой зоны Мирового океана составляет около 60 млн. кв. км; не нарушая теплового баланса водной среды уже на первом этапе освоения здесь стабильно можно получать суммарную электрическую мощность в десятки млрд. кВт. Предварительные оценки американских и российских специалистов показали, что мощность тепловых ресурсов, которую без ущерба для окружающей среды можно забрать в тропической части океана, составляет не менее 11 млрд. киловатт. Это позволяет в год вырабатывать около 90 трлн. кВт ч. электроэнергии, или около трети предполагаемого потребления энергии человечеством в ближайшем будущем. Полученные выше оценки были сделаны для тропического пояса океана, где могут работать непрерывно также станции ОТЕС (*Ocean Thermal Energy Conversion*).

Вместе с тем, установки ОТЕС также могут работать сезонно в субтропических и даже умеренных широтах, когда в летнее время поверхностный слой достаточно глубоко прогревается. С учётом этого обстоятельства общий уровень доступных ресурсов тепловой энергии будет значительно выше. В отличие от традиционной тепловой энергетики, где эксплуатируются разница температур рабочих сред в сотни и тысячи градусов, сравнительно неболь-

**Расположение наиболее перспективных районов Мирового океана
для получения энергии за счёт вертикальных океанических термоградиентов
экваториального типа**



Пространственное распределение среднегодовых термоградиентов Мирового океана между поверхностью воды и слоями на глубине 1000 м

Интервалы изолиний: 1 — менее 18° C; 2 — от 18 до 20° C; 3 — от 20 до 22° C; 4 — от 22 до 24° C; 5 — более 24° C; 6 — прибрежные акватории с глубинами менее 1000 м.

Источник [5, с. 130].

шой уровень океанических термоградиентов вызывает необходимость использования замкнутых тепловых циклов, рассчитанных на применение специальных вспомогательных рабочих средств с низкой температурой кипения — фреона, пропана, бутана, аммиака, а также проектирования установок с массой в сотни тысяч тонн. Важная особенность подобных океанических станций — это возможность одновременно с электроэнергией на месте производить ряд дополнительных энергоёмких продуктов, таких как аммиак, водород, пресная вода, различные другие химические продукты из морской воды.

Существуют также проекты создания плавучих промышленных комплексов по выращиванию аквакультур, выплавке алюминия, переработке угля в жидкое и газообразное топливо, по обогащению донных полиметаллических конкреций непосредственно в местах их возможной добычи в открытом море. В военных кругах США активно обсуждались возможности создавать в будущем автономные плавучие базы снабжения судов ВМФ топливом и продовольственными концентратами, производимыми непосредственно в океане, особенно на случай длительного интенсивного остаточного радиоактивного заражения суши после гипотетического обмена ядерными ударами с потенциальным противником [7, р. 70-73].

По удельным капитальным затратам — 1000–2500 долл./кВт и стоимости производимой электроэнергии от 4 центов/кВт·ч, проектные варианты американских термоградиентных установок уже вполне сопоставимы с действующими современными атомными электростанциями. В конце 70-х годов прошлого века две опытные термоградиентные электростанции мощностью 50 кВт и 1 тыс. кВт успешно проработали несколько лет у побережья Гавайских островов. В 1980 г. в США был принят закон «О тепловой океанической конверсии» (*Ocean Thermal Energy Conversion Act of 1980, United States Code, Title 42, Chapter 99*). Он, в частности, предусматривал придать плавучим тепловым электростанциям юридический статус судов под американским флагом, выделить целевые субсидии разработчикам оборудования, а также создать специ-

альный федеральный фонд для страхования опытных демонстрационных установок. Следует отметить, что, определив процедуру выдачи лицензий на размещение термоградиентных установок за границами национальных территориальных вод в пределах континентального шельфа США, этот закон по существу создал в одностороннем порядке специальные американские прибрежные и океанические зоны коммерческой эксплуатации тепловой энергии океана, пока ещё не признанные другими государствами.

В 1981 г. японские фирмы запустили на о. Науру в Тихом океане в эксплуатацию первую в мире береговую наземную термоградиентную электростанцию с закрытым циклом мощностью 100 кВт. Позднее, в 1982 г. на японском о. Токуносима было завершено строительство ещё одной опытной гибридной наземной дизельно-термоградиентной установки мощностью 50 кВт. Она использовалась для опреснения морской воды и обеспечивала непрерывную подачу теплых вод для попутного разведения пищевых аквакультур [12].

К концу 80-х годов прошлого века в условиях временного падения мировых цен на энергоносители интерес к этим проектам снизился, однако в последнее время термоградиентные установки были вновь включены в действующие программы перспективных НИОКР по водородной энергетике США и других стран [15, р. 2–4]. Расчёты американских экспертов показывают, что достаточно легко доступный непрерывный возобновляемый энергетический потенциал океана в несколько раз превышает мощность всего современного мирового энергопотребления. Важную роль при этом могут сыграть такие недавние инновационные разработки российских ученых, как геликоидные гидротурбины большого диаметра и теплообменные системы с повышенным коэффициентом полезного действия.

В целом, рассмотренные данные показывают, что такие нетрадиционные новые схемы электрогенерации и энергоснабжения вполне рентабельны и после начала эксплуатации способны существенно изменить привычную систему геозкономических интересов развитых и развивающихся стран. Данные направления следует учитывать и при дальнейшей реализации инновационной энергетической стратегии России. Это могло бы обеспечить нашей стране оптимальный уровень будущего влияния на региональную и глобальную энергетическую политику, освоение и экспорт новых технологий, а также надёжный доступ к новым видам перспективных и безопасных энергетических ресурсов.

Список литературы

1. Акуличев В.А. Возобновляемые энергетические ресурсы океана // Энергетика России: проблемы и перспективы. Труды научной сессии РАН. М.: Наука, 2006. С. 326–335.
2. Горлов А.А. Энергетика океана для океанологических исследований. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2012. 11 с.
3. Горлов А.А. Энергия океана: фантастика и реальность. М.: Знание, 1988. 48 с.
4. Корнеев А.В. По разные стороны океана: США – Япония: борьба за природные ресурсы Тихого океана. М.: Мысль, 1985. 192 с.
5. Корнеев А.В. Энергия Мирового океана в планах Вашингтона // США: экономика, политика, идеология. 1984. № 12. С. 92–99.

6. Annual Energy Outlook 2011. Washington: U.S. Energy Information Administration. April 2011. viii, 235 p.
7. *DiChristina M.* Sea Power // Popular Science. May 1996. P. 70-73.
8. How Much Renewable Energy Do We Use? Washington: U.S. Energy Information Administration. September 1, 2010. 3 p.
9. *Jaffe A.M.* Shale Gas Will Rock the World // The Wall Street Journal. 10.05.2010.
10. *Korneyev A.V.* Energy Generation from the Sea (O.T.E.C.): Some Disputable Problems // Pacific Science Association 15th Congress: Programme, Abstracts and Congress Information. Dunedin: Pacific Science Association, 1983. Vol. 1. P. 132.
11. *Korneyev A.V.* Marine Renewable Energy, Transportation and Economic Development in the Pacific Basin // Pacific Science Association 5th Inter-Congress «Transportation and Communication in the Pacific Basin»: Proceedings. Manila, Pacific Science Association, 1988. P. 218-221.
12. *Mitsui T., Ito F., Seya Y., Nakamoto Y.* Outline of the 100 kW OTEC Pilot Plant in the Republic of Nauru // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1983. Vol. PAS-102. No. 9. P. 3167-3171.
13. *Newell R.G.* The Current Global Energy Outlook. Looking Beyond the Deep-water Horizon: Meeting Global Energy Needs in the 21st Century. Washington: U.S. Energy Information Administration. October 1, 2010. 25 p.
14. The National Energy Modeling System: An Overview. Washington: U.S. Energy Information Administration. October 2009. vi, 77 p.
15. *Van Ryzin J., Grandelli P., Lipp D., Argall R.* The Hydrogen Economy of 2050: OTEC Driven? Honolulu, Makai Ocean Eng. Inc., 2005. 8 p.