



2020
№1(5)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)



**НИ Лаборатория ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
информирует о новом электронном научном журнале
"Окружающая среда и энергоснабжение".**

Журнал выходит при научно-информационной поддержке НИЛ ВИЭ Географического
факультета МГУ имени
М.В. Ломоносова и Русского географического общества.

Сведения о журнале, требованиях к публикациям и порядке электронного
представления статей размещены
на сайте: <http://jeees.ru> .

ISSN 2658-6703

Публикация статей бесплатная.

Редакция журнала предлагает направлять рукописи статей для публикации через сайт
после предварительной регистрации, либо на E-mail редакции.

*С уважением, редакция журнала
"Окружающая среда и энергоснабжение"*

<http://jeees.ru>

info@jeees.ru

Окружающая среда и энергосистемы

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2020 №1(5)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал
Scientific, educational, cultural and educational network journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and
information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации Эл № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», PublicKnowledgeProject, OpenArchivesInitiative, OpenAIRE



Главный редактор

Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зам. главного редактора

Соловьев Александр Алексеевич, д.физ.-мат.н.,
профессор, академик РИА (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь
РИА (МЭИ)

Березкин Михаил Юрьевич, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.г.н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., профессор,
член-корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Залиханов Алим Михайлович, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М.
В. Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.г.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).

Тикунев Владимир Сергеевич, д.г.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профес-
сор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Тел./ факс +7 (499) 939-42-57

e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала

<http://jeees.ru>

Окружающая

среда и энергетика. 2020 №1(5)

Научный, образовательный, культурно-просветительский
сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор К.Г.Горошкин

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 30.03.2020.

Издатель:

Закрытое акционерное общество "Глобализация и
устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии"
125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Учредитель: Соловьев Д.А.

Перепечатка или воспроизведение материалов
номера любым способом полностью или по частям
допускается только с письменного разрешения Издателя.

© Редакция журнала «Окружающая
среда и энергетика», 2019

Государственный Рубрикатор НТИ России
(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

ISSN 2658-6703



9 772658 670003

Содержание

М.Ю. Березкин, О.А. Синюгин

**Экономико-географические особенности развития
возобновляемой энергетики 4**

В.В. Бушуев

Экоразвитие и энергетика19

В.М. Зайченко, Д.А. Соловьев, А.А. Чернявский

**Перспективные направления развития энергетики России в
условиях перехода к новым энергетическим технологиям ...33**

Рс.И. Нигматулин

Энергетические возможности гидросферы Земли48

А.А. Соловьев

Электромагнетизм и механика: неголономные аналогии60

Content

M.Yu. Berezkin, O.A. Sinyugin

**Economic and geographical features of the development of
renewable energy..... 4**

V.V. Bushuev

Ecological development and energy complex19

V.M. Zaichenko, D.A. Solovyev, A.A. Chernyavskiy

**Prospective directions of Russian electric power industry
development within the framework of transition to new energy
technologies33**

Rs.I. Nigmatulin

Earth's hydrosphere energy potential48

A.A. Solovyev

Electromagnetism and mechanics: nonholonomic analogy60

Экономико-географические особенности развития возобновляемой энергетики

М.Ю. Берёзкин¹ [0000-0002-6945-2131], О.А. Синюгин² [0000-0001-5874-4342]

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1,
Российская Федерация

E-mail: ¹ mberezkin@inbox.ru,
² sinyugin.oleg@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена экономико-географическим особенностям и перспективам развития возобновляемой энергетики мира. Выделено три основных аспекта: географический и структурный, инновационный и инвестиционный. В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что структура мировой энергетики в ближайшее десятилетие сильно диверсифицируется, что будет способствовать развитию конкуренции между разными видами энергии, между странами и регионами. Высокие темпы роста инвестиций в возобновляемую энергетику, и экспоненциальный рост патентной деятельности демонстрируют существенный потенциал совершенствования, а возобновляемую энергетику можно считать высокотехнологичной инновационной отраслью. В инвестициях в возобновляемую энергетику произошел географический сдвиг: развивающиеся страны превысили по абсолютному уровню инвестиций развитые страны.

Ключевые слова: экономическая география, возобновляемые источники энергии, инновации, инвестиции.

1 Введение

Высокие темпы роста возобновляемой энергетики на рубеже тысячелетий говорят о том, что возобновляемая энергетика с разнообразием технологий претендует на серьезную роль в будущей мировой энергетике. В то время как традиционная энергетика, использующая ископаемое топливо, находилась в стагнации, возобновляемая продемонстрировала рекордные темпы роста. Интерес к возобновляемой энергетике связан уже не только с экологическими преимуществами, но и с устойчивым, безопасным энергоснабжением человечества в будущем [1, 12].

Закономерности развития возобновляемой энергетики во многом связаны с географическим положением и природными условиями. Это естественно,

учитывая зависимость возобновляемых источников энергии (ВИЭ) от природных факторов, таких, как количество поступающей на Землю солнечной энергии, сила ветров, продуктивность биосферы, наличие гидрологических и геотермальных источников.

В наши задачи входило исследование пространственных закономерностей структурных, инновационных, инвестиционных процессов в традиционной и возобновляемой энергетике мира. К методам исследования относятся большие циклы Кондратьева [10], теория инновационного развития Шумпетера, мир-системная модель Валлерстайна (Центр – Полупериферия – Периферия) [5]. Эта модель, нашедшая широкое применение в экономико-географических исследованиях, взята в качестве базового при изучении территориальной неоднородности инвестиционных процессов в возобновляемой энергетике мира. В ходе эволюции модели Валлерстайна «Мир-Системы» ее центр неоднократно перемещался: многие века этот центр находился в Китае, до XIX в. сначала был в Европе, затем – в Северной Америке. В связи с этим наблюдающийся в последнее время экономический подъем Китая можно считать началом возвращения центра «Мир-Системы» в его «естественное» место после европейско-североамериканского периода.

В работе использованы сравнительно-географический, проблемный, типологический подходы, метод сравнительного анализа временных рядов данных по инвестициям по странам и регионам и в секторах возобновляемой энергетики, а также материалы международных сетевых организаций, в том числе входящих в ООН.

2 Результаты исследования и их обсуждение

2.1 География и структура размещения возобновляемой энергетики

Общие объёмы и структура возобновляемой энергетики по регионам мира показывает сложную картину, местами прямо противоположную представлениям о лидерстве западных стран. Например, наиболее высока доля ВИЭ (включая гидроэнергетику) в энергобалансе в странах Центральной и Южной Америки (более 56%). При этом доля данного региона в мировом производстве электроэнергии на ВИЭ составляет 17,4% [15], что существенно выше его доли в мировом производстве всей электроэнергии, составляющей 6,8%.

Доля ВИЭ в Европе (29,1%) существенно превосходит среднюю мировую (23%), в то же время в США, Японии и Австралии она вдвое ниже (12,4%, 12,7% и 10,1%, соответственно), чем в мире в среднем, и заметно ниже, чем в России (16,6%). Таким образом, приходится говорить не о лидерстве, а о среднем уровне развития возобновляемой энергетики в группе стран, считающихся экономически наиболее развитыми, в то время как лидерство принадлежит Центральной и Южной Америке и ряду стран Азии и Африки. При этом, на страны Азии вне Ближнего Востока приходится, прежде всего,

наибольший абсолютный объём производства возобновляемой электроэнергии – 31,9% мирового. Примерно 2/3 этого объёма приходится на Китай.

Кроме того, доля ВИЭ в энергобалансе резко различается и внутри группы западноевропейских стран – от 21-24% в Германии и Испании и даже 50-100% в Норвегии, Исландии и Дании до 10-14% в Нидерландах и Бельгии.

Если рассматривать ВИЭ без учёта ГЭС, а включая только геотермальную, солнечную, ветровую и биологическую энергию, то и тогда зависимость от природно-географических условий не отменяется. Всего на долю ВИЭ, помимо ГЭС, приходится 5% мирового производства электроэнергии или 1069 млрд кВт·ч в 2012 году. Выделим регионы и отдельные страны, где доля ВИЭ без ГЭС выше среднемировой (табл. 1).

Среди развитых стран существуют свои пространственные различия. В частности, лидерами (с большими абсолютными объёмами и высокой долей в структуре) производства по видам источников являются: Исландия, Италия – геотермальная, Испания, Германия, Великобритания, Италия, Дания, Португалия, Ирландия – ветровая, Германия, Италия, а также Испания – солнечная и Германия, Великобритания, Италия, Швеция, Финляндия, Дания, Польша, Нидерланды – биоэнергетика.

Геотермальная энергетика чётко привязана к определённым геолого-тектоническим условиям. Ветровая энергетика в наибольшей степени развита на атлантическом побережье. Развитая солнечная энергетика в большей степени характерна для юга Европы и Средиземноморских стран. Биоэнергетика в большей степени развита в Центральной и Северной Европе, что можно связать с развитым сельским и лесным (в Финляндии и Швеции) хозяйством.

Германия, занимающая центральное положение в Европе, отличается равномерно высоким развитием всех типов возобновляемой энергетики, кроме геотермальной. При этом геотермальная энергетика практически полностью отсутствует где-либо, кроме Исландии и Италии, а солнечная отсутствует в странах Северной Европы.

Кроме того, наиболее высокая доля ВИЭ в энергобалансе характерна для небольших стран – Дания (50,7%), Португалия (31,7%), Исландия (29,9%).

В общей структуре мирового производства электроэнергии на ВИЭ (без учёта ГЭС) на Западную Европу и Северную Америку приходится более 65% мирового производства, с Китаем, Японией, Южной Кореей и Австралией – более 70%, хотя этот показатель вместе с общей долей этих стран в производстве электроэнергии постепенно снижается. Тем не менее, фактор общего экономического развития страны здесь играет ключевую роль, и доля ведущих стран мира в производстве ветровой, солнечной и биоэнергии выше их доли в общем мировом производстве электроэнергии.

Таблица 1. Доля в производстве электроэнергии на основе ВИЭ (кроме ГЭС) по странам и регионам, 2018 г. [15]

Регионы/страны мира	ВИЭ (кроме ГЭС), %	Геотерм., %	Ветер, %	Солнце, %	Биомасса, %
Северная Америка	5,4	0,3	3,3	0,1	1,7
США	5,7	0,4	3,5	0,1	1,8
Центральная и Южная Америка	5,0	0,7	0,8	0,0	3,6
Страны Центральной Америки	17,4	8,1	2,6	0,0	6,6
Страны Карибского бассейна	1,6	0,1	0,6	0,0	0,9
Бразилия	7,5	0,0	0,9	0,0	6,6
Др. страны Южной Америки	3,1	0,0	0,2	0,0	2,8
Европа	13,0	0,3	6,1	2,1	4,4
Страны СНГ	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2
Азия, страны Ближнего Востока	0,7	0,1	0,5	0,0	0,1
Африка	1,0	0,2	0,3	0,0	0,3
Азия (кроме Ближнего Востока)	3,1	0,3	1,6	0,2	1,1
Австралия	4,2	0,0	2,6	0,6	1,0
Новая Зеландия	20,6	14,3	4,8	0,0	1,5
Папуа-Новая Гвинея	11,9	11,9	0,0	0,0	0,0
Океания	1,0	0,0	0,7	0,0	0,3
Всего в мире	5,0	0,3	2,4	0,4	1,8

Основная часть геотермальной энергетики привязана к Огненному поясу Земли или Тихоокеанскому вулканическому кольцу. К этому поясу относятся острова Восточной, Юго-Восточной Азии и Океании на западном побережье Тихого океана и Америка (Центральная и западная часть Северной, в частности, запад США) на другой его стороне. Сюда же входит Япония, где на данный момент на геотермальную энергетику приходится 4,4% мирового объема, сюда же входят российские Сахалин, Курильские острова и Камчатка, где геотермальная энергетика обеспечивает около 30% энергопотребления Камчатского края (Паужетская ГеоЭС – 42,5 млн кВт·ч, Верхне-Мутновская – 63,0 млн кВт·ч МВт, Мутновская – 344,0 млн кВт·ч).

Три других заметных очага развития геотермальной энергетики отличаются сходными геолого-тектоническими условиями. Это Исландия, где повышенный потенциал геотермальной энергии связан со Срединно-Атлантическим хребтом, Италия, находящаяся в Альпийско-Гималайской зоне высокой тектонической активности и Кавказ. Третий очаг – Восточно-Африканский рифт. Наибольших

успехов в геотермальной энергетике здесь достигла Кения, но существуют планы развития геотермальной энергетике и в других восточноафриканских странах.

Более сложная картина в биоэнергетике, в которой уровень развития определяется комбинацией высокой естественной продуктивности биосферы, развитого сельского хозяйства, лесопромышленного комплекса и общим экономическим уровнем развития страны. Ведущие позиции в биоэнергетике занимают Северная и Центральная Европа, США, Центральная и Южная Америка и восточноазиатский кластер, включающий Китай и Японию. В России биоэнергетика в данный момент не играет какой-либо роли в общем производстве электроэнергии. Но в достаточной степени развитие получила в северо-западных районах, а также на юге Сибири и Дальнего Востока. Связано это с тем, что Россия является одним из ведущих мировых производителей (наряду с Канадой, США и скандинавскими странами) древесных пеллет на базе развитого лесопромышленного комплекса, основная часть которых в настоящее время идёт на экспорт в страны Западной Европы, а в последнее время также и Восточной Азии [7]. Кроме того, рост спроса позволит развивать внутренний рынок биоэнергетики.

Развитие ветроэнергетики в ещё большей степени определяется общим экономическим уровнем развития страны или региона. В то же время, наблюдается определённая неравномерность внутри развитых стран. Ветроэнергетические мощности Европы концентрируются, прежде всего, в странах атлантического побережья, в зонах стабильных и сильных ветров. В дополнение к этому обозначается очаг развития ветроэнергетики на Антильских островах и других островных территориях (Фолклендские острова), что имеет те же естественные предпосылки. В целом, наиболее перспективно использование ветроэнергии в прибрежных зонах, а также на открытых континентальных пространствах (в частности, в степях).

Солнечная энергетика, на данный момент, вероятно, в наибольшей степени из всех возобновляемых источников, зависит от общего экономического уровня развития. Большую часть мировой выработки солнечной электроэнергии приходилось на Китай, Германию, Японию, США и Италию.

Потенциально дальнейшее развитие возобновляемой энергетики в мире может быть связано с освоением новых территорий с благоприятными природными условиями. Географический фактор развития возобновляемой энергетики будет усиливаться. Это связано как с распространением технологий из стран Центра («триада» Северная Америка, Европа, Япония) в страны Полупериферии и Периферии [2], так и с общими тенденциями развития возобновляемой энергетики [8].

Что касается России, то потенциал развития возобновляемой энергетики, как природный, так и технико-экономический, использован далеко не в полной мере. Но за счет большой территории страны есть возможность развивать ВИЭ в отдалённых, труднодоступных районах, таких как Дальний Восток и Восточная Сибирь.

2.1 Инновационный потенциал развития возобновляемой энергетики

Инновацию, или инновационный процесс, можно представить как усовершенствование, так и создание новых технологий [7]. Исторически инновация – это цепь технологических переходов, функционально она проявляется в пространстве и во времени. Поэтому географию инноваций можно представить как смену технологических укладов и распространение их от стран – центров инноваций на страны периферии. Несмотря на очевидную значимость инноваций в сфере энергетики, методологических исследований, раскрывающих содержание, формы и причины территориальной неоднородности инновационных процессов, в частности по отношению к динамике развития возобновляемых источников энергии, пока очень мало [4].

Активизация инновационной деятельности и широкое распространение инновационных технологий, безусловно, приоритетное направление современного мирового развития энергетики. Под воздействием инновационных процессов формируется новая структура энергетики мира, которую можно рассматривать как цивилизацию энергетических инноваций. Во многом благодаря распространению инноваций в области энергосбережения и энергоэффективности наметилась тенденция к сокращению роста энергопотребления на душу населения в развитых странах. В последние 30 лет душевое энергопотребление в них оставалось практически неизменным, а в новых индустриальных странах, напротив, отмечается увеличение подушного потребления энергии. Подобная тенденция отражает характерные черты развивающегося постиндустриального общества, которое характеризуется ростом и распространением информационных технологий, снижением энергопотребления и ресурсоемкости в отраслях материального производства.

Новые технологические решения, в отличие от индустриальной экономики, не требуют такого же количества невозобновляемых природных ресурсов и энергии. В отношении базового энергоносителя для постиндустриальной экономики сложилась уникальная ситуация, отличная от аналогичных переходных процессов при смене технологических укладов в индустриальной экономике, когда происходило плавное замещение одного энергоресурса другим, качественно лучшим. Известно, что каждому технологическому укладу индустриального общества в терминах циклов Кондратьева соответствует свой базовый энергоноситель [7]. Исторически для 1-го технологического уклада им служила энергия воды и ветра, для 2-го и 3-го – уголь, для 4-го – нефть.

В ближайшее десятилетие базовым энергоносителем останется газ, а географическая картина энергетики мира будет формироваться на основе наиболее экономически привлекательных природных углеводородных ресурсов, находящихся в евразийской «оси», которая протягивается по меридиональной полосе от шельфа Карского моря через Западную Сибирь, Каспийское море, Иран, Персидский залив к Аравийскому п-ову. Перспективные рынки потребителей энергии расположены по краям Евразии – в Европе и Восточной Азии, как правило, на весьма значительном расстоянии от производителя (около 4-6 тыс. км).

При сохранении существующих темпов роста возобновляемой энергетики, сохранением доли газа и уменьшением доли угля, нефти и атомной энергетики в энергобалансе базовый энергоноситель выделяться не будет, как это было при смене технологических укладов в индустриальной экономике. Структура мировой энергетики в ближайшее десятилетие сильно диверсифицируется [6].

В настоящее время темпы роста возобновляемых источников энергии заметно превышают темпы роста в традиционной, углеводородной энергетике, которая за полтора столетия развития практически достигла технологического предела. Способы добычи углеводородов и производства электроэнергии отработаны и все более трудны для совершенствования. Кроме того, для поддержания уровня добычи с каждым десятилетием необходимо вовлекать в разработку месторождения из все более отдаленных и труднодоступных районов. Все больший масштаб принимает извлечение ресурсов в шельфовой зоне, большие средства затрачиваются на строительство подводных трубопроводов [2].

Между тем, постиндустриальная экономика характеризуется сокращением энергопотребления и ресурсоемкости в отраслях материального производства. В отличие от индустриальной экономики, новые технологические решения не требуют таких же количеств невозобновляемых природных ресурсов и энергии. Прирост энергопотребления наблюдается лишь в развивающихся странах, проходящих еще путь индустриального развития, тогда как в развитых постиндустриальных странах, широко внедряющих энергоэффективные и энергосберегающие технологии, темпы роста энергопотребления находятся в стагнации. Таким образом, если в ситуации с индустриальной экономикой (с высокими темпами роста энергопотребления) возобновляемая энергетика не могла достойно конкурировать с углеводородной, то при постиндустриальном развитии – это вполне возможно.

В постиндустриальной экономике иерархически многоступенчатые производства все больше уступают место специализированным, ориентированным на фрагментарное производство предприятиям. Такая же тенденция наметилась и в энергетике, где все более востребованными становятся автономные, децентрализованные энергопроизводители и энергопотребители. Вписаться в новую архитектуру энергетики, занять «экологическую нишу» вполне эффективно могут возобновляемые источники энергии [9].

Возобновляемая энергетика находится на второй восходящей фазе цикла Кондратьева, когда неуклонно происходит сокращение издержек. Например, себестоимость ветровых турбин с середины 1980-х г. снизилась почти в 5 раз, солнечных элементов – в 30 раз (на киловатт установленной мощности). Разнообразие методов и технологических решений преобразования возобновляемых энергоресурсов имеют большие перспективы развития и высокий научный потенциал. Возобновляемая энергетика заявила о себе как высокотехнологичная инновационная отрасль.

Важным показателем для оценки инновационного процесса является такой показатель, как «сумма технологий роста» – количество зарегистрированных патентов. С середины 1990-х гг. наблюдается резкий рост новых патентов в

сфере возобновляемых источников энергии. Если в 1980-е гг. количество патентов в возобновляемой, углеводородной и атомной энергетиках было примерно одинаковым, то в 2000-е в возобновляемой энергетике их стало в 2 раза, чем в других сферах энергетике, а в 2013 г. – в 3,5 раза больше. Самое значимое увеличение количества патентов по теме возобновляемых источников энергии связано с технологиями, относящимися к солнечной и ветровой энергетике. Например, в период 2004-2009 гг. количество патентов по теме использования солнечной энергии увеличивается почти на 13% в год, а по ветроэнергетике – почти на 19% [14].

В США до 2000 г. ежегодно регистрировалось порядка 200 патентов в области возобновляемых источников энергии. Однако после роста цен на нефть увеличились инвестиции в научные исследования в области энергетике, и уже к 2009 г. число патентов возросло до 1000 в год. При этом эффект от инвестиций отражается на десятилетия вперед. Аналогичные тенденции просматриваются и в других странах.

Для возобновляемой энергетике потенциал новых технологий еще далеко не исчерпан. Высокая наукоемкость, разнообразие методов и технологических решений преобразования возобновляемых энергетических ресурсов открывают большой простор для развития. Возобновляемая энергетика, начав серьезно развиваться всего 30 лет назад, сегодня отличается сравнительно низкой стоимостью энергетических установок. Например, себестоимость ветровых турбин с 1980 г. снизилась почти в 3 раза, а солнечных элементов – в 9 раз.

Спектр фундаментальных исследований возобновляемых источников энергии достаточно широк. В области материаловедения ведутся разработки новых материалов для солнечных элементов. Среди перспективных технологий – тонкопленочная на основе полупроводников субмикронной толщины или аморфного кремния, мультиузловая технология – многослойное напыление разных по эффективности полупроводников, а также полупроводниковые красители.

В биотехнологии ведется широкая работа по увеличению эффективности фотосинтеза, генетическому конструированию новых видов биоэнергетических культур, разработке технологии производства биотоплива на основе липидосодержащих водорослевых культур [11].

В ветроэнергетике технологическое совершенствование идет в направлении повышения диаметра вращающейся турбины/ротора, который увеличился с 10 м в середине 1970-х гг. до 126 м в настоящее время. Это позволило заметно снизить затраты на выработку электроэнергии на ветроустановках.

Основной массив инноваций в сфере возобновляемых источников энергии сконцентрирован в странах «триады» – Западной Европы, Северной Америки и развитых стран Восточной Азии, в которых производится половина ВВП мира (рис. 1). По абсолютному уровню финансирования выделяются США, Япония и Германия, на них приходится 70% общего расхода на развитие возобновляемой энергетике мира. В процессе диффузии инноваций производственная база возобновляемой энергетике, а вслед за ней и технологий перемещается прежде

всего в страны периферии этих трех центров, экономически связанных с ними [2].

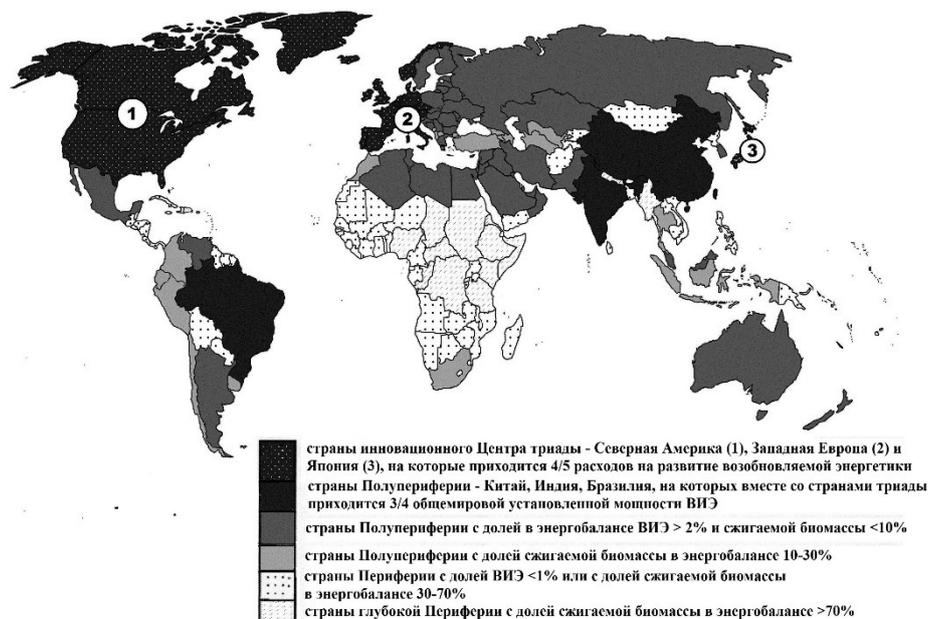


Рис. 1. География инноваций возобновляемой энергетики мира [3]

Что касается России, то здесь положение дел сложнее. С одной стороны, существуют определенные факторы в пользу развития возобновляемых источников энергии, например централизованные системы энергоснабжения охватывают лишь 1/3 территории страны. По разным оценкам 10-20 млн человек проживают вне этих систем. Надежное энергообеспечение отдаленных районов – сложная и дорогая задача для государства. Более половины административных районов энергодефицитны (импортируют энергоресурсы из других регионов). Газифицировано лишь около 50% населенных пунктов.

Несмотря на это, рост возобновляемой энергетики не столь внушителен, как в странах – лидерах в этой отрасли. При сильной зависимости экономики страны от экспорта углеводородного сырья возобновляемая энергетика пока не востребована.

2.1 Динамика инвестиций в возобновляемую энергетику

Двузначные цифры темпов прироста возобновляемой энергетики были

достигнуты на основе инвестирования масштабных научных разработок, инициированных мировым энергетическим кризисом 1970х гг. Лидерами этого процесса стали такие европейские страны как Дания, ФРГ, Великобритания, а также США, Япония, Бразилия (последняя – за счет производства биотоплива, точнее – моторного спирта из сахарного тростника). В середине 1980-х объем инвестирования в возобновляемую энергетику был значительно снижен из-за резкого падения мировых цен на нефть. Несмотря на это, на основе инвестиционного задела в 1990-х гг. был достигнут технологический прорыв в ветроэнергетике (Дания, Германия, США), в преобразовании солнечной энергии (США), в переработке биомассы в жидкое топливо (Бразилия и Китай). Наблюдался резкий рост установленных мощностей при активной государственной поддержке и инвестировании новых технологий за счет налоговых льгот, субсидий, льготного кредитования.

Начало второй пульсации инвестиций в возобновляемую энергетику наблюдается с конца 1990-х гг. Прежде всего, за счет привлечения частных инвестиций в развитых странах («страны-Центра», если оперировать терминами миросистемного анализа): производство возобновляемой энергии в них стало коммерчески выгодно. Необходимость в государственных инвестициях в условиях отсутствия платежеспособного спроса населения оставалась в развивающихся странах. Со временем активную экспансию возобновляемой энергетики в развивающихся странах стали осуществлять совместные предприятия. Для них было характерно сочетание инвестиций и технологических разработок энергетических компаний развитых стран и растущие энергетические потребности развивающихся стран. География возобновляемой энергетики стала расширяться. Крупные или локальные установки, использующие возобновляемые источники энергии, теперь можно найти практически в любой стране.

В настоящее время в развитых странах главными причинами инвестирования в возобновляемую энергетику являются как ограниченность традиционных углеводородных ресурсов, так и желание уменьшить зависимость от их импорта. В развивающихся же странах, с одной стороны, возобновляемая энергетика используется в качестве диверсификации растущей в условиях индустриального развития энергетики (как например, в Китае, Индии, где процесс индустриализации сопряжен с высокой энергоемкостью экономики). С другой стороны, возобновляемая энергетика помогает решать проблемы в слаборазвитых странах (или «странах-Периферии»), неспособных удовлетворить свои энергопотребности на хоть каком-то достойном уровне, особенно в сельских районах (как например, во многих странах Тропической Африки). После спада цен на энергию в 1997-1999 гг., вызванного азиатским кризисом и естественным циклическим спадом, возобновляемая энергия снова привлекла внимание инвесторов во всем мире. Значительное повышение цен на нефть к середине 2000-х гг. увеличило коммерческую привлекательность к возобновляемой энергетике.

На этой волне формируются новейшие технологии на основе новых материалов в фотоэлектрэнергетике, ветроэнергетике, создаются преобразо-

ватели энергии тепла Земли, океана, разнообразные биоэнергетические системы и предпринимаются попытки создать эффективную водородную энергетику. Новый всплеск роста инвестиций оказался еще более масштабным, чем в 1970-х. Если в 2004 г. инвестиции в возобновляемую энергетику составили чуть меньше 40 млрд долл. США, то в 2005 г. – 73, то есть почти в 2 раза за один год [3]. Эта волна несколько стихла во время кризиса 2008 г. Но это снижение инвестиций было лишь на 2% – меньше, чем падение в других сферах мировой экономики. Связано это было с большой инерцией, который набрал инвестиционный процесс в возобновляемой энергетике.

В 2011 г. впервые объем инвестиций в возобновляемую энергетику оказался больше, чем в генерацию на традиционных источниках энергии – 223 млрд долл. США. А через 5 лет инвестиции в возобновляемые источники энергии составили 62% инвестиций в новые мощности всей мировой энергетики. После небольшого спада, глобальные инвестиции в возобновляемую энергетику в 2015 г. достигли исторического максимума – 286 млрд долл. США, что более чем в 7 раз больше чем в 2004 г. Возобновляемые источники энергии без учета крупных ГЭС впервые составили половину от вновь введенных мощностей [16].

Таблица 1. Динамика инвестиций по странам, регионам и отраслям возобновляемой энергетики, млрд долл. США

Страны, показатели	2005	2010	2015
Развитые страны	53,0	164,0	130,0
Китай, Индия, Бразилия	14,4	55,6	120,2
Другие развивающиеся страны	5,6	16,7	35,8
США	11,9	34,6	44,1
Бразилия	2,2	7,9	7,1
Америка (без США и Бразилии)	3,4	11,5	12,8
Европа	29,4	101,3	48,8
Китай	5,8	40,0	102,9
Индия	3,2	8,7	10,2
Азия и Океания (без Китая и Индии)	8,3	18,1	47,6
Средний Восток и Африка	0,6	5,0	12,5
Солнечная энергетика	16,4	96,9	160,7
Ветроэнергетика	22,9	95,5	109,1
Малая гидроэнергетика (<25 МВт)	4,4	3,6	3,9
Биотопливо	8,2	8,5	2,2
Геотермальная энергия	1,0	3,1	2,5
Энергия биомассы и отходов	7,8	12,0	6,0
Энергия океана	0,01	0,3	0,23

Несмотря на то, что в 2013 г. объем инвестиций еще раз снизился, произошло падение цен на фотоэлементы, рост установленных мощностей продолжился. Это означало, что рекордное количество введенных фотоэлектрических мощностей произошло за меньшие деньги, чем в 2012 г. Кроме того, если

средняя стоимость акций на рынке возобновляемых источников непрерывно падала с 2008 г. по 2012 г., то, начиная с 2013 г., она неуклонно росла.

В посткризисный период происходит географический сдвиг в инвестициях в возобновляемую энергетику: так если в 2007 г. развитые страны инвестировали в возобновляемые источники в 2 с лишним раза больше, чем развивающиеся страны, то уже в 2013 г. этот разрыв сократился до 30%, а в 2015 г. впервые инвестиции развивающихся стран превзошли инвестиции развитых – 156 и 130 млрд долл. США соответственно (табл. 2). При этом существенное различие между данными группами стран состоит в том, что развивающиеся страны лидируют по инвестициям в крупномасштабные проекты, а развитые страны – по инвестициям в распределенные установки возобновляемой энергии малой мощности на уровне домохозяйств.

С 2010 г. среди секторов возобновляемой энергетики лидер отрасли – солнечная энергетика. Доля инвестиции в солнечную энергетику неуклонно растет – за 5 лет она выросла с 40 до 56% от доли общих инвестиций и достигла 160,7 млрд долл. США – это более чем в 1,5 раза превышает инвестиции во второй по значимости сектор возобновляемой энергетики – ветроэнергетику, которая до 2010 г. лидировала по объему инвестиций (табл. 2). Ускорение развития солнечной энергетики в мире вызвано значительным ростом инвестиций в Китае (с 22% в 2010 г. до 36% в 2015 г. от общемировых инвестиций в солнечную энергетику). Кроме Китая лидерами с полным циклом солнечно-энергетического комплекса являются Германия, США и Япония.

3 Выводы

– с увеличением доли газа и возобновляемых источников энергии и снижением доли угля и нефти в энергобалансе базовый энергоноситель выделяться не будет. Структура мировой энергетики в ближайшее десятилетие сильно диверсифицируется, что будет способствовать развитию конкуренции между разными видами энергии, между странами и регионами;

– высокие темпы роста инвестиций в находящуюся на восходящей фазе технологического развития возобновляемую энергетику, и экспоненциальный рост патентной деятельности демонстрируют существенный потенциал совершенствования, и возобновляемую энергетику можно считать высокотехнологичной инновационной отраслью;

– по объему расходов на возобновляемую энергетику, доле в мировой установленной мощности возобновляемых источников энергии, а также по доле возобновляемой энергетики в страновом энергобалансе можно выделить страны Центра, Полупериферии и Периферии.

– в отличие от инвестиций в другие сектора мировой экономики, возобновляемая энергетика не претерпела какого-либо спада и успешно преодолела финансово-экономический кризис 2008-2010 гг., достигнув новых максимумов по объемам инвестиций и темпам роста установленной мощности;

– в посткризисный период избыточное предложение, снижение издержек

производства и большой объем мощностей возобновляемых источников энергии приводит к уменьшению капиталоемкости, поэтому в развитых странах поток инвестиций от крупных государственных программ переходит к частным;

– произошел географический сдвиг в инвестициях в возобновляемую энергетику: развивающиеся страны превысили по абсолютному уровню инвестиций развитые страны, прежде всего за счет Китая.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Госзадания «География и рациональное использование возобновляемых источников энергии» (ГЗ) (госбюджет, раздел 0110, номер 1.22, номер ЦИТИС АААА-А16-116032810088-8)

Литература

1. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость. – М.: Лесная страна, 2007. 120 с.
2. Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А., Соловьев А.А. География инноваций в сфере традиционной и возобновляемой энергетик мира // Вестник МГУ: Сер. 5. География. 2013. №1. С. 28-32.
3. Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А. География инвестиций в возобновляемую энергетику мира // Вестник МГУ: Сер. 5. География. 2018. №4. С. 59-65.
4. Бушуев В.В., Телегина Е.А., Шафраник Ю.К. Мировой нефтегазовый рынок: инновационные тенденции. – М.: ИАЦ «Энергия», 2008. – 358 с.
5. Валлерстайн И. Миросистемный анализ. – М.: ИД «Территория будущего», 2006. – 248 с.
6. Глобальная энергетика и устойчивое развитие. Мировая энергетика-2050 / Под ред. В.В. Бушуева, В.В. Каламанова. М.: Изд. дом «Энергия», 2011. 360 с.
7. Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика в контексте экспортно-сырьевой ориентации российского ТЭК // Малая энергетика. 2014. №1-2.
8. Дегтярев К.С. Энергетика на возобновляемых источниках – от энтузиазма к прагматизму // Журнал С.О.К. 2015. №4.
9. Киушкина В.Р. Возобновляемые источники энергии в распределенной генерации малой энергетики // Молодой ученый. 2016. № 26. С. 45-47.
10. Кондратьев Н. Д. Большие циклы экономической конъюнктуры: Доклад. 2-е изд. // Проблемы экономической динамики. — М.: Экономика, 1989. — С. 172-226.
11. Соловьев А.А. Инновации в возобновляемой энергетике // Вести. РАЕН. 2009. № 2. С. 223-230.
12. Стребков Д.С., Харченко В.В. Роль и место ВИЭ в развитии глобальной энергетики // Малая энергетика. 2011. № 3-3. С. 3-12.
13. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. – М.: ЭКСМО, 2007. 864 с.

-
14. Massachusetts Institute of Technology News. 10 October 2013 / <http://news.mit.edu/2013/innovation-in-renewable-energy-technologies-booming-1010> (дата обращения 31.10.2019).
 15. U.S. Energy Information Administration (EIA). Интернет-ресурс: www.eia.gov.
 16. World Energy Outlook 2014. OECD/IEA. Paris, 2015.

References

1. Bezrukikh P.P. Renewable energy: today is reality, tomorrow is necessity. M.: Forest Country, 2007. 120 s.
2. Berezkin M.Yu., Sinyugin O.A., Soloviev A.A. Geography of innovations in the field of traditional and renewable energetics of the world // Moscow State University Bulletin: Ser. 5. Geography. 2013. No1. P. 28-32.
3. Berezkin M.Yu., Sinyugin O.A. Geography of investments in renewable energy of the world // Moscow State University Bulletin: Ser. 5. Geography. 2018. No4. P. 59-65.
4. Bushuev V.V., Telegin E.A., Shafranik Yu.K. World oil and gas market: innovative trends. - M.: IAC "Energy", 2008. – 358 p.
5. Wallerstein I. Mirosystem analysis. – M.: Publishing House "Territory of the Future", 2006. - 248 p.
6. Global energy and sustainable development. World Energy-2050 / Ed. V.V. Bushueva, V.V. Kalamanova. – M.: Publishing. House "Energy", 2011. 360 p.
7. Degtyarev K.S. Renewable energy in the context of the export-raw orientation of the Russian fuel and energy complex // Small Energy. 2014. No. 1-2.
8. Degtyarev K.S. Energy on renewable sources - from enthusiasm to pragmatism // Journal S.O.K. 2015. No4.
9. Kiushkina V.R. Renewable energy sources in the distributed generation of small energy // Young scientist. 2016. No. 26. P. 45-47.
10. Kondratiev N. D. Large cycles of economic conditions: Report. 2nd ed. // Problems of economic dynamics. – M.: Economics, 1989. - P. 172-226.
11. Soloviev A.A. Innovations in renewable energy // Weight. RANS. 2009. No. 2. P. 223-230.
12. Strebkov D.S., Kharchenko V.V. The role and place of renewable energy in the development of global energy // Small Energy. 2011. No. 3-3. P. 3-12.
13. Schumpeter J.A. Theory of economic development. M.: EKSMO, 2007. 864 s.
14. Massachusetts Institute of Technology News. 10 October 2013 / <http://news.mit.edu/2013/innovation-in-renewable-energy-technologies-booming-1010> (дата обращения 31.10.2019).
15. U.S. Energy Information Administration (EIA). Интернет-ресурс: www.eia.gov.
16. World Energy Outlook 2014. OECD/IEA. Paris, 2015.

Economic and geographical features of the development of renewable energy

M. Yu. Berezkin¹, O.A. Sinyugin²

Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Leninskie Gory, 1, Russia

E-mail: ¹ mberezkin@inbox.ru, ² sinyugin.oleg@yandex.ru

Abstract. The work is devoted to economic and geographical features and prospects for the development of renewable energy in the world. Three main aspects are distinguished: structural, innovative and investment. The structure of world energy in the next decade is greatly diversified. High growth rates of investments in renewable energy demonstrate a significant potential for improvement. Renewable energy can be considered a high-tech innovative industry. A geographic shift has occurred in investments in renewable energy: developing countries have exceeded developed countries in terms of absolute level of investments.

Keywords: economic geography, renewable energy, innovation, investment

Acknowledgments. The study was carried out in the framework of the State Assignment “Geography and Rational Use of Renewable Energy” (registration number AAAA-A16-116032810088-8)

УДК 330.341:504.05

Экоразвитие и энергетика

В.В. Бушуев¹ [0000-0001-9288-4699]¹Объединённый институт высоких технологий РАН (ОИВТ РАН),
Россия, 125412, Москва, ул. Ижорская, д.13/2¹Институт энергетической стратегии,
Россия, 125009, Москва, Дегтярный пер., д.9

E-mail: vital@geogr.msu.ru

Аннотация. «Экономика без экологии - это дорога в тупик, а экология без экономики - это путь в никуда» (из тезисов конференции по устойчивому развитию в Рио де Жанейро, 1992г.). Определяющим фактором в этом конфликте тенденций мирового развития является энергетика. Экономика невозможна без энергопотребления за счёт как топливных, так и ВИЭ; а экология - это социоприродный климат в нашем планетарном Доме, напрямую зависящий от масштабов энергетического производства. Автор пытается перейти от диады противопоставления этих двух факторов нашей жизни к триаде энерго-эколого-экономического восприятия будущего, к обоснованию неизбежной гармонии в единой системе «природа - общество - человек».

Ключевые слова: экономика, энергетика, экология, цивилизация.

1 Почему диада разрушает, а триада формирует устойчивое развитие?

Диада - это всегда противопоставление, отрицание одного другим. И сегодня, как никогда остро, и в науке, и в обществе, и в политике ставится вопрос: может ли будущее быть продолжением настоящего или нам придётся выбирать между двумя альтернативами: развитием материального производства как базы для приумножения национального богатства и качества жизни, и постиндустриальным развитием - движением к «зелёному» будущему с ограничением использования «невозобновляемых» природных ресурсов, в том числе и углеводов, и ориентацией на их замену человеческими, в первую очередь, интеллектуальными ресурсами, массовым и эффективным использованием природоподобных безотходных технологий и интернет-цифровизацией всех сторон нашего мира.

Поспешный отказ от традиционного пути и объявленный в середине 70-х годов прошлого века переход на постиндустриальное развитие серьезно дискредитировал саму идею этого нового этапа развития цивилизации. И вскоре мы заговорили о реиндустриализации, ибо две трети человечества остались жить «при лучине и кизьяках», а в развитых странах обострились многие экологические и социальные проблемы за счёт т. н. «глобализации». Глобальная битва за ресурсы, в т.ч. и топливно-энергетические, ушла в прошлое в связи с массовым освоением нетрадиционных источников ресурсов благодаря развитию и глобальному применению новых энергетических технологий. Однако и этот этап развития глобальной цивилизации уступил место развитию глобальной информатизации и переходу на массовую цифровизацию экономики и всей общественной жизни. При этом сохранились и прежние проблемы глобализации: массовой миграции населения из бедных районов земного шара, кризиса мультикультуризма, безработицы и социальной несправедливости в обществе. Богатые стали богаче, а бедные - беднее. Не обошли эти проблемы и новую Россию.

Но обострились и новые проблемы - глобального потепления, непредсказуемого изменения климата, в чем стали обвинять продолжение экстенсивного роста материального производства и неизбежное увеличение спроса на энергию. А нынешняя тепловая энергетика на угле и даже на газе неизбежно выбрасывает в атмосферу все новые и новые порции CO₂, который считается многими основным источником повышения температуры в окружающей среде, что (якобы) угрожает миру социоприродной климатической катастрофой.

Частичным выходом из положения стала неоиндустриализация - не просто возврат к прежнему материальному росту спроса и производства товаров, что естественно потребовало и дополнительного спроса на энергию в развивающихся странах, прежде всего, в Китае, Индии, странах Ближнего Востока и Африки. Энергетические ресурсы значительно выросли в цене, что позволило странам - экспортерам поднять свой экономический уровень, а странам - импортерам перейти на более активное энергосбережение и повышение энергоэффективности в быту и на производстве. Неоиндустриализация - это развитие энергоинформационных человеко-машинных (эргатических) систем. Казалось бы, кризис исчерпан, но это только временная передышка, некий компромисс между ростом материального производства и проблемами сохранения природы для нынешнего и будущих поколений. Мы стоим перед неизбежностью и необходимостью глобального переустройства земной цивилизации, в том числе перехода к новой энергетике, устраняющей противоречия материального и экологического развития цивилизации.

Цивилизация, по определению В. Даля - это «общезитие народов», наш социоприродный планетарный Дом - Экос (от греч. oikos - местопребывание, жилище). И этот дом, в котором мы - не временные квартиранты, а жильцы и хозяева, должен быть тёплым и светлым, уютным и чистым, добротным и богатым. Жизнедеятельность в этом Доме должна быть не просто разумно

хозяйственной (экономической), но и экологически эффективной и нравственно насыщенной, ибо *Homo sapiens* - это одновременно и материальное и духовное существо. Противопоставление этих двух начал: «материи» и «духа», обрекает нас не только на бессмысленные философские споры о том, что первично, а что вторично, но и на бескомпромиссную борьбу с окружающим социоприродным миром. Природа, общество и человек - это триадическая Миро-система, которая может существовать и устойчиво развиваться только в гармоническом единстве всех трёх субъектов. А само функционирование Миро-системы основано на триадическом единстве экономики, экологии и энергетики.

Именно энергетика (в широком смысле этого понятия) замыкает триаду хозяйственного и экологического развития и общей жизнедеятельности в социоприродном Экосе, подобно тому, как «энергия» замыкает «материю» и «дух» в общую триадическую Миро-систему (рис.1).

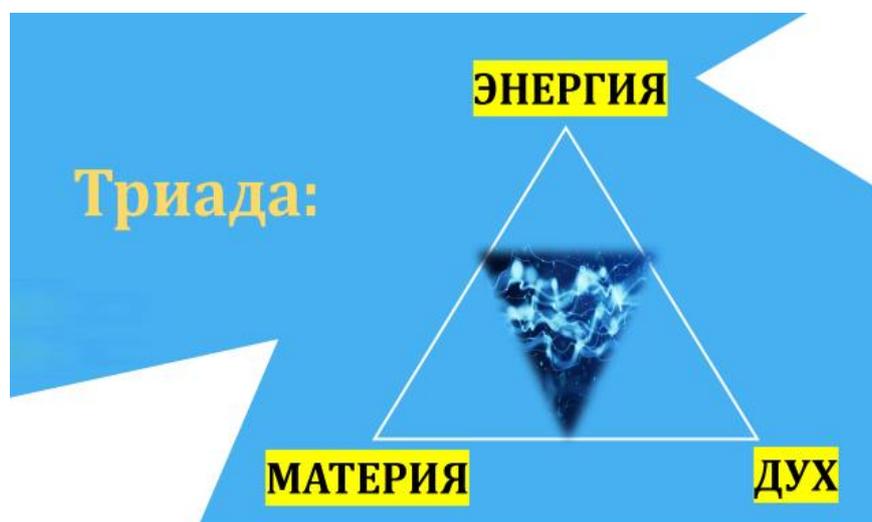


Рис. 1. Триада «Энергия – Материя – Дух»

При этом энергия воспринимается не просто как механическая и физическая работа, а как «всякое действие (движение, развитие, жизнь) в противовес потенции как возможности» осуществлять это действие (Аристотель). При этом энергия воспринимается уже не только как физический процесс, но и как процесс энергоинформационный, интегрирующий материальные (силовые) действия и действия метафизического характера (духовные практики, мыслительные процессы, когнитивные сознательные и подсознательные действия). Именно такое расширенное представление «энергии» позволяет исключить противопоставление любых дуальных «начал» мира, обрекающих его на бесконечные споры и войны об истоках эволюции (от «Большого взрыва» и божественного создания мира) к «тепловой смерти Вселенной». Именно такое расширительное толкование самого понятия «энергия» снимает противоречие

между физическим ростом спроса на традиционную тепловую энергию и увеличением спроса на конечные энергоносители, в том числе и на энергоинформационные услуги новой цивилизации.

2 Энерговедение и энергология

Для понимания единой сути и многочисленных форм «энергии» очень важно развитие соответствующих научных знаний и представлений о данном предмете, являющемся основой всякой энерго- и жизнедеятельности. Этим предметом занимается «энерговедение» как тезаурус (библиотека) - система знаний об энергии всяких видов (космической, геологической, биологической, социальной, физической, технической, информационной, когнитивной). Энерговедение как и другие «...ведения» (природоведение, обществоведение, науковедение) происходит от древнеславянского слова «ведать» (веды - это исторически сохранившиеся знания о мире). Энерговедение объединяет представления о всяких внешних формах энергетических проявлений в социоприродной среде, в виде библиотеки знаний об энергии и энергетике в природе и обществе, в космосе и в человеке. Оно гораздо шире, чем «энерговедение», используемое в эзотерике для описания «тонких энергий» духовного мира человека. Эзотерики «видят» своим внутренним зрением «тонкую» энергию, циркулирующую в физическом и духовном мире человека. Но ведь и силовую энергию мы «видим» только косвенно, через проявления магнитного и электрического полей, фиксируемые с помощью соответствующих приборов. Более того, мы не видим коронных разрядов на высоковольтных электропередачах, хотя косвенно «слышим» имеющие место разряды. А вот свечение Киллиан на кончиках пальцев мы видим реально. Поэтому проводить водораздел между физической и «тонкой» энергией неправомерно.

Так же между «ведением» и «видением» нет непреодолимых преград, как и между практическими знаниями и интуитивными представлениями. И те и другие «знания» обогащают наше представление о себе, о нашей энергетической жизнедеятельности, об окружающей социоприродной среде, о мире в целом. Эти знания составляют энергоинформационное пространство, в котором мы живем. Информация - это иная форма нашего представления о мире, существующая в виде математической символики, его образного видения. А цифровизация (ци- энергия, фор - форма), основанная на информационном видении мира - это иная форма нашего понимания и представления энергетических процессов в мире, составляющих суть нашей жизнедеятельности. Аналогично и «цивилизация» (ци - энергия, вил, вл - владение) есть большая энергоинформационная система, реализующая природный и искусственный информационный ресурс в виде энергетического потенциала, как возможности осуществления энергетической жизнедеятельности в мире и его различных частях.

При этом энергетика включает сведения об энергетической реакции Мировой системы на проявление солнечной активности в нашем планетарном Доме - Экосистеме, проявления геологической и хозяйственной активности на различных территориальных участках земной ойкумены, жизненной активности (пассионарности) человеческих сообществ, активности человеческого сознания и поведения. Активность - это проявление энергетической деятельности субъектов и объектов Мировой системы. Энергетика включает в себя не только физические знания, но и информационные представления о различных энергетических проявлениях в мире.

Но система знаний об энергии и ее различных проявлениях сама по себе ещё не определяет законы энергетических трансформаций, эффективной реализации различных видов энергетического потенциала (природных ресурсов и технических средств, информационных и организационных начал, человеческих мыслей и идей) и перехода к новому результату и новому качественному (информационному) ресурсу всякой жизнедеятельности. Эти законы формируются в новой науке об энергии - энергетологии [1]. Эта наука уже не является просто библиотекой знаний об энергии - она формирует само понятие «энергия» как единый процесс жизнедеятельности в космической и социоприродной среде, в биотехноценозе и в интеллигентном (умопостижимом) мире человеческого разума, определяет законы и правила осуществления энергетических трансформаций и расширенного воспроизводства энергетического потенциала в виде культурно - интеллектуального ресурса, устанавливает единство энергетических представлений «физического» и «тонкого» миров как разных ипостасей общей Мировой системы.

Энергетология устанавливает фрактальность (временное и пространственное подобие) энергетического образа Человека и Вселенной. Недаром древние восточные мудрецы говорили: хочешь познать Вселенную - познай Человека. И наоборот. Подобно тому как Человек взаимодействует с окружающим миром посредством «тонких тел» - 7 аур (по представлениям восточной философии), так и Земля окружена различными полевыми структурами, посредством которых осуществляется ее энергетическая связь с космосом и ноосферой (рис.2). Эти полевые структуры взаимодействуют между собой и с космосом через соответствующие «чакры», где проводимость каналов энергетического взаимодействия обеспечивается наилучшим образом. Так же организованы и «тела» самого человека. Через чакры на поверхности человеческого тела происходит подпитка его внутренней энергии внешними космическими, физическими и духовными (информационными) воздействиями. Через «чакры» на поверхности земли также происходит подпитка ее недр энергией солнца, формирующей энергетические ресурсы планеты путём рудообразования, формирования «возобновляемых» углеводородов. И наоборот, эти же «чакры» позволяют облегчить выход накопленной энергии земли на ее поверхность, что проявляется в виде залежей углеводородного сырья и других ресурсов, в виде извержений вулканов, в виде водных источников, которые находят опытные

«лозопроводцы». А чакры на социоприродном «теле» нашего Экоса являются местом активного взаимодействия человека и ноосферы.



Рис. 2. Структуры связи человека и Земли с внешним миром

И в космосе, и на земле, и в человеческом теле одинаково проявляется принцип симметрии (рис.3). Принцип энергетического (структурного и функционального) подобия является аксиоматическим утверждением энергологии, а его использование позволяет не только понять энергетическое единство Миров-системы, но и прогнозировать ее развитие на основе циклической повторяемости основных этапов и форм энергетического проявления в различных частях этой системы.



Рис.3. Проявления симметрии в космосе, на Земле и в человеческом теле

Энергия является не только средством жизнеобеспечения всякой развивающейся системы, но и общим видом процесса всякой

жизнедеятельности. Посредством энергии взаимодействуют различные материальные и духовные «тела». И это процесс бесконечен и безграничен. В этих «телах» сосредоточен энергетический потенциал (что в школьных учебниках не совсем корректно названо потенциальной энергией, ибо потенциал - это скрытая возможность, а определено как энергия - действие по ее реализации), энергетическое взаимодействие этих «тел» позволяет замкнуть «материю» и «дух» в единую систему жизнедеятельности. И не надо задаваться некорректными и бессмысленными вопросами: что первично (материя или сознание), курица или яйцо, Бог создал человека или человек придумал Бога в своём внутреннем мире. Материя, дух и энергия - это триада жизни (рис.1).

3 Цикличность - основное свойство развивающегося мира

Энергология подчеркивает, что основной закон эволюции - это циклический характер структурных и функциональных изменений. Первичным элементом любых энергетических отношений является осциллятор - колебательное звено, образованное замкнутыми прямыми и обратными динамическими связями (принцип будстрапа), в простейшем случае энергетический процесс развивается по спирали, которые во времени разворачиваются в периодические колебания - циклы. Временное подобие в сложных динамических системах дополняется пространственным фрактальным подобием. «Что наверху, то и внизу» и «что было, то и будет» - эти изречения древних мудрецов сохраняют свою обоснованность повсюду и всегда. В энергологии этот принцип означает, что все динамические процессы (и космические, и социоприродные, и информационные) имеют подобные (фрактальные) участки как на временной, так и на пространственной оси. Спектральный анализ этих динамических кривых позволяет выявить доминирующие частоты и периоды этих колебаний, а аппроксимация этих динамических рядов позволяет представить их в виде волновых конструкций (например, в виде волн Эллиота, имеющих три восходящих и одну корректирующую волну). Эти волны Эллиота имеют энергетическую подоснову, а соотношение лучей, формирующих соседние волны, полностью подчиняется «золотой пропорции». Известно, что «золотая пропорция» между собственными частотами системы определяет минимизацию расхода энергии на ее гармоничное устойчивое развитие [2]. Поэтому волновые фракталы являются отражением гармоничного развития динамических систем любого вида. Пролонгация этих фракталов назад и вперед, вверх и вниз позволяет вести как ретроспективный анализ, так и прогнозирование будущего. Этот структурный прогноз использован нами для построения различных динамических рядов. В частности, он позволяет выстроить структуру исторической динамики социально- политических событий и выделить т.н. «имперские» циклы длиной в 144 года в истории России, начиная со времён Московии (после Золотой Орды) и до конца династии Романовых, а также 72 - летний исторический цикл существования СССР (1917 - 1989 гг.) и аналогичный цикл существования новой России (1989 - 2061 гг.) [3]. Каждый из

этих циклов включает в себя 36-летние и 12-летние субгармоники, отражающие подобие политического рассвета, экономического расцвета и военного противостояния различных цивилизационных систем. После 2025 года сменится не только персоне руководителя страны – сменится ее курс на более «мягкое» цивилизационное развитие. Затем последует новая волна экономического подъема за счет энергоинформационных технологий, в том числе освоения блокчейн – технологий распределенных систем и малого бизнеса. Экологическая политика приведет не только к развитию ВИЭ и «зеленой» экономики. Изменится само отношение к проблеме устойчивого развития нашего мира. Он станет не просто компромиссом между материальным и духовным развитием. Новая энергетика, основанная на интеграции физической и тонкой системы жизнеобеспечения и жизнедеятельности в «гибридном» (энергоинформационном) мире станет основой новой волны устойчивого развития Мировой системы. А в заключение имперского цикла нас ждет обострение информационного противостояния цивилизаций и – новая волна информационных войн между всеми и вся. На этом можно ожидать завершения длинного имперского цикла и превращение государства в сетевую структуру организации общественной жизни. Поживем – увидим. Но фрактальное прогнозирование позволяет увидеть и более близкие перспективы. Так, построенная на фрактальном принципе нейронная модель экономического развития и динамики мирового энергетического рынка уже дали своё подтверждение. Прогнозы, сделанные ещё в 2003 году, показали, что в 2008 и 2009 гг. мир окажется в глубоком экономическом кризисе, что и произошло на самом деле. Рецессия экономики США и Китая, ожидаемая по нашим прогнозам в 2022 году и подтверждаемая ожиданиями ФРС США, уже не за горами, несмотря на рост американской экономики во время первого срока правления Д.Трампа. Только не надо искать ее причину в нынешнем коронавирусе. Он может послужить поводом для нового мирового экономического кризиса, но никак не его причиной. Просто все природные и техногенные катастрофы и экономические кризисы имеют подобную 12-летнюю цикличность: 1986г – Чернобыль; 1999 г. – азиатский экономический кризис, 2011 – Фукусима, 2023 г. – новый глобальный кризис?

4 Энергетика и климат

Спектральный анализ динамических кривых изменения глобальной температуры Земли позволил выявить три доминирующих периода ее циклических изменений, в том числе 60-, 20- и уже упоминаемый цикл 10-12 - летних колебаний (рис.4.). Глобальный вейвлет-спектр (Global Wavelet Spectrum) – показывает наиболее характерные периоды для анализируемого ряда данных чисел Вольфа. Эта цикличность связана с энергетической активностью Солнца, имеющей явно выраженные «юпитерский» (12 лет) и «сатурновский» (36 лет) циклы. Периодичность солнечной активности связана с динамикой изменения центра масс планет солнечной системы относительно

центра самой звезды, а именно эти две планеты доминируют в формировании этой динамики.

Климат - это не просто одна из характеристик нашей планеты. Климат – это, прежде всего, энергетическое состояние нашего планетарного Дома - Экоса. Поэтому можно говорить и о внешних социоприродных факторах (температура, влажность, давление, определяющих тепловой баланс планеты и текущую погоду) и «погоду в доме», которая определяет наше самочувствие и состояние наших взаимоотношений с близкими. И погода, и климат - это результат и внешнего энергетического воздействия (солнечной активности), ибо мы все «живем в объятиях Солнца» и нашего собственного (индивидуального и социального) энергетического состояния. Гармония с окружающим нас миром - это энергетический баланс приводящей и отражаемой энергии различного вида: физической и ментальной, формируемой нашими собственными действиями.

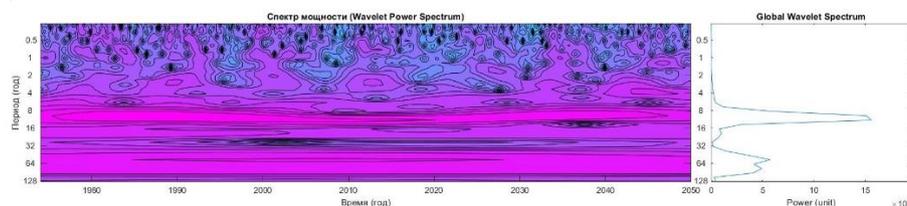


Рис.4. Спектр мощности и глобальный вейвлет-спектр для прогноза солнечной активности (чисел Вольфа) до 2050 г. Источник: [1], расчеты автора.

Солнце - это не только трансформатор космической энергии, превращая ее потоки к различным видам полевой электромагнитной энергии, но и создатель нашего индивидуального состояния (удовлетворенности и хорошего настроения). Оно воздействует на нас не только напрямую в виде волн тепла и света, но и опосредованно - через «природную благодать», через красоту природы и ее обитателей, через насыщение нашего внутреннего мира особой энергией - пассионарностью, побуждающей нас не только созерцать и блаженствовать, ощущая гармонию внутри себя и с окружающим миром, но и активно действовать, выплескивая избыток этой энергии на «благие дела».

«Климат» - это более «долгое» состояние «погоды». Климат в семье - это гармония межличностных отношений на протяжении долгих лет совместной жизни, в том числе и с представителями прошлого и будущего поколений. Климат в Доме - Экосе - это гармония индивидуального и общественного восприятия и поведения. В России, как и во многих других странах Евразии (и в бывшем Советском Союзе), в этих отношениях преобладало чувство коллективизма, тогда как «западный» атлантический мир развивался на протестантской этике индивидуализма и доминирования материального благосостояния людей. И эти отличительные особенности различных цивилизаций не исчезают ни с годами, ни со сменой общественных формаций. Они являются «долгоиграющим» ресурсом общественного развития

цивилизаций востока и запада, а попытки перенести эти ментальные представления на другой мир чреватые общественным диссонансом и противостоянием представителей разных цивилизаций. Мы наблюдаем это и сегодня, когда под видом «общечеловеческих ценностей» запад навязывает нам и особенно исламской цивилизации свои особые представления об отношениях в общем Доме. Но гармония - это не «унификация» всех отношений, а разумное и ментальное сочетание всех «радостей» жизни - и материальных и духовных. «Пусть расцветают все цветы» на общей поляне жизни, в нашем общем Доме - Экосе - и в этом разнообразии залог устойчивого развития Мировой системы.

Наглядно проявляется это разнообразие мнений и представлений в вопросах о климатической повестке дня будущей цивилизации. Запад напуган предстоящим «глобальным потеплением» планеты и пытается напугать этим весь мир. Но ведь глобальное потепление - это только один из факторов текущего материального развития цивилизации. Да и само «потепление» - это лишь один из проявляемых сегодня температурных социоприродных факторов. Температура – это еще не весь климат. И уж тем более неправомерно связывать глобальное потепление сугубо с техногенными выбросами CO₂. Подобного рода процессы, приводящие к всемирным потопам, были и ранее, когда не было никакой углеродной топливной энергетики, а вся энергетическая деятельность в Экосе была связана с сугубо природной и космической деятельностью, то есть, теми самыми природными возобновляемыми природными факторами – солнечной деятельностью. И сегодня существует немало причин считать потепление не фактором индустриального энергетического развития, а неизбежным и преходящим этапом циклического изменения климата за счет функционирования планетарных энергетических факторов - изменения скорости вращения Земли и прецессии ее оси. Климат – это результат внешнего энергетического воздействия, проявляемого в виде отношений океана и атмосферы, вулканической деятельности геологических объектов и водно-хозяйственной деятельности человека. Конечно, сегодня нельзя сбрасывать со счета производственный фактор индустриального развития Экоса. Но человеческий фактор по своим физическим возможностям несравним с энергетической мощностью природы. Человек является не главным энергофизическим объектом. И пока ему далеко до того, чтобы своими техногенными воздействиями менять климат на планете. Но своими даже мысленными усилиями он может провоцировать триггерные процессы в природе, особенно, если она находится на границе своего устойчивого состояния. Но выход – не в том, чтобы исключить техногенную деятельность человечества, а в том, чтобы совместными усилиями, понимая общие законы энергетического развития, отодвинуть эту границу устойчивости, сделать Мир-систему менее критичной к энергетической жизнедеятельности. А «наевшийся» запад ищет дорогу к будущему на путях ограничения экономического развития. А в Азии и Африке без такого развития нет будущего. Наш социоприродный Дом - Экос - это «и храм, и мастерская». И доминирование тех или иных функций не сохраняет, а разрушает наш Дом. А гармония - это не противопоставление двух альтернатив, а их разумное

сочетание с учетом цикличности доминирования различных физических и ментальных начал: рабского поклонения природе как источнику всех благ и представлению о том, что человек - «царь природы», и может делать с ней все, что угодно. Меняются доминанты религиозного и производственного мироощущения и мирообустройства нашего Дома, начавшийся 21-й век и все 3-е тысячелетие - это период перехода от доминанты материального развития к воскрешению духовных начал. И экология как новая современная парадигма общественного развития ищет пути гармонического сочетания этих начал.

Климат является своего рода «лакмусовой бумажкой» для проявления этих начал общего гармонически устойчивого развития мира. В теории управления есть версия, что наиболее эффективным (с точки зрения быстрого действия) перехода от одного состояния системы к другому является биполярное воздействие - от максимального - в одну сторону до максимального - в обратном направлении. Но главное - найти точку перехода от одного вида воздействия к другому. И здесь важно знать динамику социоприродных циклов. И действовать сообразно с ними, а не пытаться жить только по собственным представлениям. Понимание синхронности природных и хозяйственных циклов, энергетического и духовного мирообустройства является залогом их успешного гармонического развития. А «быстродействие» (без учета этой синхронности) - это способ революционного слома системы и выстраивания на ее месте другого образования. Но «поспешность нужна...» далеко не всегда. Весь ход исторического социоприродного развития говорит о том, что противостояние двух начал, их конкуренция и переход от одних крайностей к другим - далек от принципов эволюционного развития. Подобно тому, что человек стал *Homo sapiens* не потому, что взял в руки палку как инструмент для умножения своих сил в борьбе с природой, а тогда, когда научился общаться с себе подобными не только для физического выживания (элемент двухсторонних сексуальных отношений для продолжения рода и чувство стадности присуще и животным), но и для более полного мироощущения своего единства с миром природы и себе подобных. «Человек - это общественное животное, наделённое индивидуальным и коллективным мироощущением».

Одним из первых факторов этого коллективного мироощущения является его отношение к климату. На заре цивилизационного развития климат был для человека фактором физического выживания, и в ледниковые периоды и периоды глобального потепления человеческие «стада» устремлялись в поисках более благоприятных климатических мест, обеспечивающих жизненные физиологические условия и условия пропитания. Но научившись адаптироваться и преодолевать эти климатические факторы, человек перешёл от занятий отхожим промыслом к оседлости. С одной стороны, аграрная революция сняла с повестки дня вопрос продовольственной выживаемости; а с другой, оседлость лишила людей охоты к перемене мест в поисках лучшей природной пассионарности, заменив энергию природных воздействий на энергию общественных отношений. Климат для человека перестал быть фактором выживаемости и стал фактором социоприродной гармонии в Доме - Экосе. Эко-номика как система хозяйственных отношений стала доминировать

на пути к материальному развитию жизни. Но чрезмерное варварское отношение производителя к природной среде выразилось в том, что человек стал испытывать ее негативное отношение к себе самому. И выразилось это нарушение гармонии социоприродных отношений в виде климатических изменений, создающих негативные условия в среде обитания и даже ставящих под сомнение его мироощущение. Вырубая леса для развития сельскохозяйственных угодий, добывая уголь и руду в чрезмерном для устойчивости природной среды объеме, строя ГЭС и затопляя земли, образуя незамерзающие полыньи в нижнем бьефе (например, на Красноярском гидроузле), человек стал заложником местных природных и климатических изменений, нарушающих его привычную среду обитания. Адаптационные возможности самого человека и самой среды ограничены, и эти противоречия дают не только о себе знать, но и приводят к непредвиденным и труднопреодолимым последствиям. Предвидение является залогом нормального взаимного соответствия социально-производственной деятельности человека и его социоприродной среды обитания. Нарушения этого соответствия уже вызвали ответные энергетические меры противодействия со стороны природы, выразившиеся не только в пассивном изменении климатических условий проживания людей, но и привели к активным проявлениям природных аномалий: засухам и наводнениям, землетрясениям и участвовавшим ураганам. Природная среда выходит из равновесия и поражает мир энергетическими катаклизмами.

5 Заключение

Сегодня уже недостаточно заниматься охраной природной среды, необходимо не просто снижать давление индустриального общества на эту среду посредством снижения спроса на энергоресурсы и ограничения экономического развития. Необходимо переходить в этих отношениях на путь экологической эффективности - помогать природе как «живой» системе восстанавливать свои ресурсы и переходить к их расширенному воспроизводству. Не надо идти по пути «отхожего промысла», переходя в геологии на освоение новых необжитых пока территорий и, в частности, Арктики. Эти районы нужно осваивать, но в другом порядке. Неосваиваемые территории не умножают наше природное богатство, они превращаются в своего рода «болота» для окружения нашего Дома, которые негативно влияют и разрушают саму нашу среду обитания. Не надо думать, что, оставляя среду в нетронутом состоянии, мы помогаем природе. Лес без прореживания и плановой вырубке превращается в малопродуктивную и необитаемую чащу. Вода в нетронутых человеческой деятельностью условиях заливается и перестаёт быть пригодной для самостоятельного воспроизводства биоресурсов. Земля без периодической вспашки засоряется и перестаёт плодоносить. Конечно, природа саморегулируется и не создаёт ненужных отходов. Все не просто самовосстанавливается, но и используется в новых энергетических

процессах вторичного и третичного производства. Но человек может и должен помочь природе в совместном развитии. Ведь развитие - это эффективный процесс энергоэволюционизма (М.Веллер). И только осознанная совместная энергетическая деятельность человека и природы, эффективная (с минимальными затратами дополнительной энергии) трансформация природных ресурсов в блага цивилизации и и расширенное воспроизводство этих ресурсов за счёт «умной» деятельности Homo sapiens позволит человечеству перейти от пассивного созерцания и варварского потребительства к устойчивому энергетически эффективному развитию нашего общепланетарного социоприродного Дома - Экоса.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Госзадания ОИВТ РАН (регистрационный номер НИОКТР АААА-А19-119020690085-9)

Литература

1. Бушуев В.В. Введение в энергологию. – М.: ИД «Энергия», 2019.– 252 с.
2. Балакшин О.Б. Гармония саморазвития в природе и обществе. Подобие и аналогии. – М.: Изд.ЛКИ. 2008. – 344 с.
3. Бушуев В.В. Энергия и судьба России. Изд.2-е. – М.: ИД «Энергия», 2015. – 292 с.

References

1. Bushuev V.V. Introduction to Energology. – М.: ID “Energy”, 2019.– 252 p.
2. Balakshin O.B. Harmony of Self-Development in Nature and Society. Similarity and Analogies. – М.: LKI ed.. 2008. – 344 p.
3. Bushuev V.V. Energy and the Fate of Russia. 2nd ed. – М.: ID “Energy”, 2015. – 292 p.

Ecological development and energy complex

V.V. Bushuev¹

¹Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS),
Russia, 125412, Moscow, Izhorskaya str., 13/2

¹Institute of Energy Strategy,
Russia, 125009, Moscow, Degtyarny Lane, 9

E-mail: vital@guies.ru

Abstract. As it was said on the Rio-de-Janeiro sustainable development conference in 1992, economy without ecology is a way to a deadlock, and ecology without economy is a way to nowhere. The determining factor in this conflict of

tendencies is energy. Economy is impossible without energy consumption for account of both fuels and renewables, and ecology is socio-natural planetary Home that directly depends on the scales of energy production. The author tries to change this contradictory dyad of our life for the triad of energy-ecology-economy of our future perception and validate harmony of the united nature-society-human system.

Key words: economy, energy, ecology, civilization.

Acknowledgments. The study was carried out in the framework of the State Assignment (registration number R&D AAAA-A19-119020690085-9)

УДК: 620.9

Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям

В.М. Зайченко^{1,1} [0000-0002-5979-4234], Д.А. Соловьев^{1,2} [0000-0001-5591-3067],
А.А. Чернявский^{2,3} [0000-0002-3291-4750]

¹ Объединённый институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), г. Москва, Россия

² Институт «Ростовтеплоэлектропроект», г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: ¹zaitch@oivtran.ru, ²solovev@guies.ru,
³mr.1936@bk.ru

Аннотация. В 2011–2012 гг. наступил паритет стоимости энергии ТЭС на органическом топливе и стоимости энергии от ВЭС и СЭС. С 2017 года мощности вводимых возобновляемых источников энергии в мире превысили объёмы вводимых мощностей традиционной энергетики. Поэтапно происходит переход от традиционных энергетических технологий на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), которые становятся более выгодными с экономической точки зрения и позволяют минимизировать отрицательное воздействие энергетики на окружающую среду. Рассматривается перспективность применения комбинированных схем с использованием ВИЭ для получения энергии. Обсуждаются важнейшие направления развития энергетики нашей страны.

Ключевые слова: энергетика России, возобновляемые источники энергии, окружающая среда, энергетика будущего

1 Введение

В настоящее время в Российской Федерации потребности в электрической и тепловой энергии обеспечиваются, в основном, за счет трех источников генерации:

- тепловые электростанции и установки, работающие на ископаемом топливе;
- гидроэлектростанции;
- атомные электростанции.

Традиционная тепловая энергетика, доля которой в общем энергобалансе РФ самая большая – около 70%, является одновременно и самым большим техногенным источником вредных выбросов в атмосферу, почву, водные источники,

выбросов парниковых газов, основным из которых является углекислый газ. Наибольшие запасы органического топлива и за рубежом, и в России – это каменный и бурый угли. Но угольные тепловые электростанции характеризуются наибольшими вредными выбросами. КПД большей части существующих крупных паротурбинных ТЭС составляет 38–40%, у новых ТЭС с применением парогазовых технологий КПД достигает 55–60%. То есть 40–60% энергии сжигаемого на ТЭС топлива выбрасывается в окружающую среду.

По данным утвержденной Энергетической стратегии РФ до 2035 г. [1], к концу рассматриваемого периода объём ТЭС в энергобалансе России планируется на уровне 67.6%, т.е. практически таким же, что и в настоящее время (см. рис.1). При этом валовый объём вредных выбросов от ТЭС прогнозируется на уровне 2.6 млн т/год, а парниковых газов – 580 млн т/год.

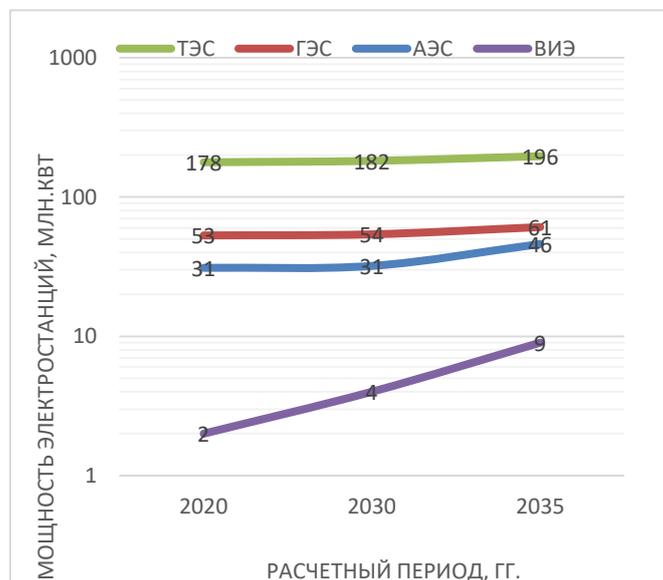


Рис. 1. Планируемая установленная мощность. Источник: [1].

Содержащиеся в выбросах ТЭС оксиды серы и азота приводят к появлению кислотных дождей, оказывают пагубное влияние на здоровье человека и животных, а также на растения. Серьезные проблемы связаны также с золой и шлаками ТЭС. Сброс подогретых вод из систем охлаждения ТЭС в поверхностные водные источники обуславливает их тепловое загрязнение, ведущее к снижению насыщения воды кислородом.

Сооружение крупных ГЭС, доля которых в общем энергобалансе страны составляет ~20%, также сопряжено с отрицательным воздействием на окружающую среду. Водоохранилища, необходимые для регулирования производительности ГЭС, занимают значительные территории, изымаемые из сельхозоборота.

Со строительством водохранилищ связано нарушение гидрогеологического режима рек, изменение свойств экосистем и видового состава гидробионтов.

Отметим, что крупные ГЭС не относят к объектам, функционирующим на базе ВИЭ. К таким объектам, согласно существующей классификации, относят малые ГЭС мощностью до 25 МВт и микроГЭС.

АЭС – электростанции, вызывающие наибольшие экологические проблемы и протесты населения, как в России, так и за рубежом. Особенно после крупных аварий на АЭС «Three Mile Island» в США в 1976 г., на Чернобыльской АЭС в России в 1986 г., на АЭС «Фукусима» в Японии в 2011 г. Если количество ядерных реакторов в мире будет увеличиваться, частота радиационных аварий будет возрастать. Необходимо принимать во внимание и большие тепловые выбросы АЭС, поскольку КПД ядерных реакторов меньше, чем парогенераторов ТЭС.

Строительство АЭС обходится в 2.0–2.5 раза дороже угольных паротурбинных ТЭС и в 3.0–3.5 раза дороже современных ТЭС с парогазовыми технологиями. В докладе Международного энергетического агентства IEA "Обновленная оценка капитальных затрат станций, производящих электроэнергию", еще в 2010 г. удельные инвестиции в новые атомные электростанции были оценены в размере 5339 дол/кВт. [2]. Необходимость учёта в расчётах себестоимости энергии АЭС затрат на вывод станций из эксплуатации, которые сопоставимы с затратами на их строительство, приводит к тому, что фактическая себестоимость производства электроэнергии на АЭС оказывается выше, чем на ТЭС, ГЭС и электростанциях на базе ВИЭ.

Во многих странах отказываются от использования АЭС. Италия еще в 1987-1990 гг. после Чернобыльской аварии закрыла все имевшиеся АЭС и полностью отказалась от ядерной энергетики [3]. В 2010 г. Швеция ликвидировала свой последний ядерный реактор. Бельгия, Германия, Испания, Нидерланды, Тайвань, Швейцария, проводят мероприятия по планомерному закрытию АЭС. Литва и Казахстан временно прекратили использование ядерной энергетики. Австрия, Куба, Ливия, КНДР, Польша после аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии не стали завершать начатое строительство своих первых АЭС. Также отказались от программ развития атомной энергетики Австралия, Азербайджан, Греция, Грузия, Дания, Ирландия, Латвия, Норвегия, Португалия и ряд других стран [4].

Доля ядерной энергетики в мировом производстве электроэнергии снизилась с 17.6% в 1996 г. до 10.7% в 2015 г. Агентство Bloomberg New Energy Finance прогнозирует общее падение доли АЭС в мире до 4% к 2040 г.

В то же время сегодня отмечается значительный рост энергетических мощностей с использованием ВИЭ, что в последние 5–7 лет связано с резким падением цен на используемое на этих станциях оборудование. Особенно разительно падение цен на кремниевые являющиеся основой большинства сооружаемых современных солнечных электростанций (СЭС).

Высокие цены на фотоэлектрические модули (ФЭМ) вплоть до 2010-2012 гг. сдерживали использование СЭС. В настоящее время при стоимости ФЭМ 400–600 дол/кВт они являются самыми дешевыми источниками генерации электрической энергии. И, по мнению многих экспертов, сейчас уже становится эконо-

мически невыгодным строительство АЭС и ТЭС, по крайней мере, в странах ЕС, Китае, Индии, а также в южных регионах России [4-8].

В 2017 г. получение энергии на базе ВИЭ утвердилось не только в качестве самого быстрорастущего и быстрокупаемого, но и в качестве основного сектора энергетики. Было введено в эксплуатацию более 150 ГВт новых солнечных и ветровых мощностей в мире – больше, чем объектов традиционной энергетики. В 2018 г. осуществлен ввод в эксплуатацию СЭС суммарной мощностью более 120 ГВт, ВЭС – суммарной мощностью 60 МВт [8]. Привычными стали цены порядка 0.03 дол/(кВт·ч) на электрическую энергию на установках с ВИЭ, создаваемых без господдержки. Отметим в качестве примера, что в Саудовской Аравии цена электроэнергии ВЭС составила 0.0234 дол/(кВт·ч), на мексиканских СЭС зафиксирована цена 0.0197 дол/(кВт·ч): сегодня установки, использующие ВИЭ, уверенно выходят на самоокупаемость.

2 Закономерности изменений стоимости электроэнергии и развитие ВИЭ

Статистический анализ многочисленных публикуемых данных позволил выявить основные закономерности изменений стоимости электроэнергии, генерируемой традиционными и нетрадиционными источниками, которые представлены на рис.2.

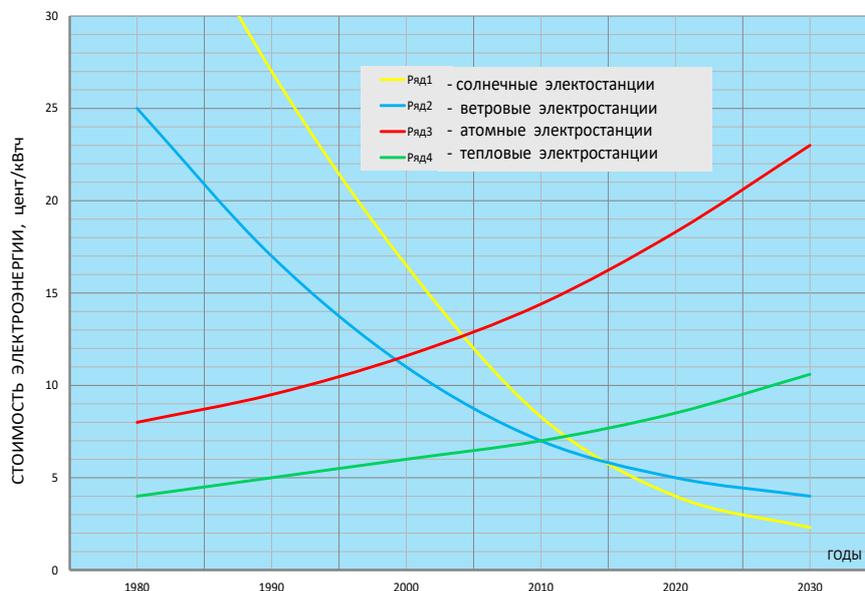


Рис. 2. Сравнительные изменения цен на электроэнергию. Источник: данные авторов.

Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что еще в 2011–2012 гг. наступил паритет стоимости энергии ТЭС на ископаемом топливе и стоимости энергии, генерируемой ВЭС и СЭС.

Важным моментом является также то, что после 2015 г. стоимость «солнечной» энергии стала дешевле «ветряной». Это определило опережающее развитие солнечной энергетики в мире в последние годы.

В настоящее время общая доля энергии, получаемой за счет ВИЭ, составляет в Дании – 42%, в Германии – 33%, в Австрии – 27%, в Великобритании – 21%, в России – 1%. В нашей стране еще не наступило понимание актуальности вопросов использования ВИЭ. Во многом это определяется наличием значительных запасов углеводородов, особенно каменного угля: разведанных его залежей хватит более чем на 300 лет при теперешних темпах расходования.

3 Новые технологии в создании систем аккумулирования электрической энергии большого объема в индустрии ВИЭ

Одной из важных составляющих в развитии возобновляемой энергетики являются успехи последних лет в создании систем аккумулирования большого объема электрической энергии. К ним относится строительство гидроаккумулирующих и воздушно-аккумулирующих электростанций, появление новых систем электрохимического аккумулирования (редокс-ванадиевых, серно-натриевых, металл-воздушных и др.), развитие систем с конденсаторами сверхвысокой емкости (суперконденсаторами – ионисторами), систем со сверхпроводящими индуктивными накопителями (СПИН), с гравитационными накопителями, с водородным аккумулированием и использованием электрохимических генераторов на топливных элементах [5, 8-10].

Пока новые высокоёмкие накопители электроэнергии достаточно дороги. И даже самые дешевые из них увеличивают общую стоимость электростанций на базе ВИЭ в 1.5–1.8 раза, заметно снижая их рентабельность. Поэтому весьма рациональным является создание комбинированных электростанций, в которых различные виды ВИЭ, дополняя друг друга, обеспечивают возможность минимизировать саму потребность в аккумулировании электроэнергии. Например, сочетание ветроэлектрических и солнечных электроустановок.

На рис. 3 в качестве примера показано, как можно обеспечить почти равномерную выработку электроэнергии в течение всего года на комбинированной солнечно-ветряной установке со среднегодовой мощностью около 340 кВт (проект опытной установки в Ростовской области, разработанный институтами ОИВТ РАН и Ростовтеплоэлектропроект).

При правильно выбранном соотношении мощностей солнечной и ветряной частей установки суммарная выработка электроэнергии в течение всего года будет почти одинаковой, с небольшими колебаниями по отношению к заданному значению – w_x . В те периоды времени, когда суммарная выработка электроэнергии установкой превышает заданное значение, избытки электроэнергии

аккумулируются тем или иным способом. В периоды со значениями выработки, меньшими w_x , запасенная в накопителях энергия отдается потребителям.

Как показано на рис. 3 при использовании данной схемы емкость накопителя электроэнергии в солнечно-ветряной установке будет в десятки раз меньше, чем для случаев, когда необходимо обеспечить сезонное аккумулирование энергии отдельно для солнечной или для ветряной установки.

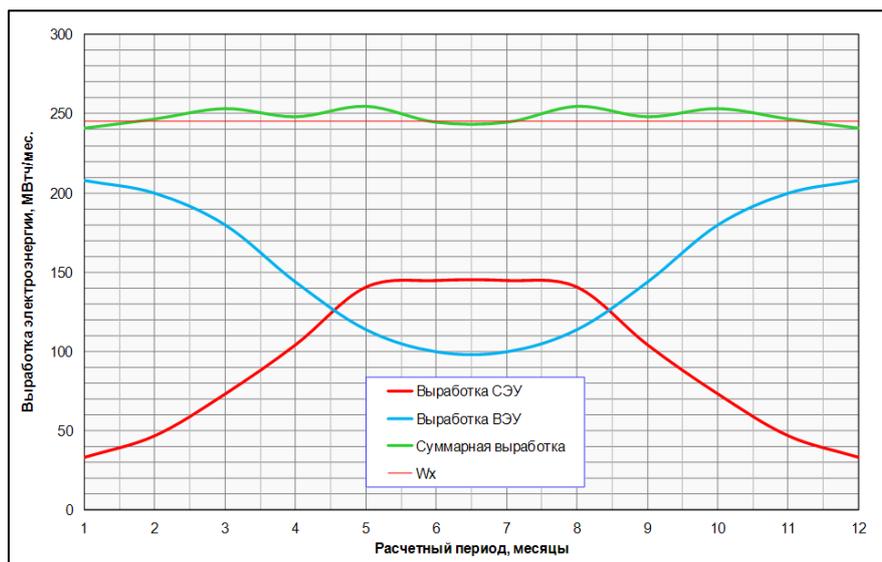


Рис. 3. Суммарная выработка электроэнергии комбинированной солнечно-ветряной установкой в течении года. Источник: данные авторов.

Для снижения требований к ёмкости накопителей электроэнергии можно строить комбинированные системы и с другими видами ВИЭ, например, по схемам ВЭС–ГЭС, СЭС–биоТЭС и др., в зависимости от видов ВИЭ, преобладающих на территории, где планируется размещать электростанции с использованием ВИЭ. Интересными являются варианты с использованием био-ТЭС, т.е. ТЭС, использующей для работы энергию биомассы.

4 Перспективы развития новых биоэнергетических технологий в России

Практически на всей территории России можно найти те или иные виды биомассы для использования в качестве местного исходного сырья для получения электроэнергии. Это могут быть торф, сельскохозяйственные и древесные отходы, отходы жизнедеятельности различных видов и др.

Для России биоэнергетика является одним из наиболее перспективных видов использования возобновляемых источников энергии. В нашей стране сосредото-

точены около 48% мировых запасов торфа и 23-24% древесины. И именно в области энергетического использования биомассы в сочетании с водородными технологиями в России предложены новые эффективные технические решения, которые могут вывести страну на передовые рубежи [5, 11-14].

Общий технический потенциал биомассы в РФ оценивается в 15-20 тысяч МВт. По данным [5], стоимость одного киловатта установленной мощности энергетических установок с использованием биотоплива по разрабатываемым в стране технологиям находится в пределах от 2000 до 4000 евро – на уровне новых ТЭС на традиционном топливе.

Потенциально возможное получение электрической энергии из биотоплива в РФ составляет 151–200 ГВт·ч/год, тепловой энергии – 344 ГВт·ч/год [15].

Эффективная отечественная технология конверсии биомассы предложена ОИВТ РАН [5, 11-14, 16]. Эта технология, позволяющая получать горючие газы методом обращенной газификации и последующей термической деструкции летучих газов с конверсией их в синтез-газ, обеспечивает получение энергетического газа практически не содержащего жидкой фракции. Это позволяет использовать получаемый синтез-газ непосредственно, без дополнительной очистки, в качестве топлива для газопоршневых агрегатов. При этом обеспечивается безотходная переработка биомассы с получением энергетического газа с повышенными теплотехническими характеристиками. Свойства получаемого газового топлива в зависимости от температуры ведения процессов изменяются, как показано в табл.1.

Таблица 1. Параметры газовых смесей, получаемых при высокотемпературной переработке биомассы. Источник: данные авторов, [5].

Температура ведения процесса, °С	Объёмная доля горючих компонентов			Теплота сгорания, МДж/м ³		Удельный объём V, м ³ /кг	Эффективность конверсии η, %
	H ₂	CO	C _n H _m	Q _B	Q _H		
850	0.40	0.27	0.08	11.7	10.6	0.76	42
950	0.43	0.40	0.02	11.3	10.4	1.10	60
1000	0.49	0.41	0.01	11.7	10.6	1.39	78
Стандартный пиролиз	0.23	0.19	0.13	10.4	9.6	0.29	15

Основным достоинством технологии ОИВТ РАН является высокая степень конверсии перерабатываемой биомассы в энергетический газ. В существующих технологиях эта величина не превышает 18%, в технологии ОИВТ РАН достигает 78%. Суммарный выход горючих газов составляет 1.4 м³ на 1 кг биомассы,

а средняя теплота сгорания ~ 11.5 МДж/м³. Получаемый синтез-газ может также являться основой для выработки жидкого биотоплива [18].

По основным финансово-коммерческим показателям малые ТЭЦ, использующие биомассу в качестве топлива, практически идентичны ТЭЦ аналогичной мощности на природном газе.

Россия является одним из ведущих экспортеров древесного топлива на мировые рынки. Из России отправляется на экспорт более 90% всего отечественного выпуска топливных гранул – пеллет [17]. Внутренний рынок топливных гранул в России только начинает интенсивно развиваться. Под этот вид топлива разработаны и выпускаются серийно автоматические котлоагрегаты.

Большие преимущества пеллеты приобретают, если провести несложную их обработку при температуре 250–300°C без доступа кислорода – *торрефикацию*. Проведение торрефикации позволяет увеличить на 30–40% теплоту сгорания пеллет, увеличить их насыпную плотность, снизить их гигроскопичность. Последнее делает возможным хранения пеллет на открытом воздухе без существенного ухудшения их качества даже при наличии осадков. Теоретические основы процессов торрефикации и практические рекомендации по проведению этих процессов разработаны в ОИВТ РАН [11].

Отметим, что растительная биомасса является экологически нейтральным топливом: потребление CO₂ из атмосферы при росте растений соответствует эмиссии CO₂ при их сжигании.

Весьма востребованы в мире различные виды жидких биотоплив. К ним относятся биоэтанол, биометанол, биодизель, биокеросин, растительные масла со специальными присадками и др. МЭА прогнозирует, что к 2030 г. мировое производство биотоплива увеличится до 150 млн тонн в нефтяном эквиваленте. Ежегодные темпы прироста производства составят 7–9%. В результате к 2030 г. доля биотоплива в общем объеме топлива в транспортной сфере достигнет 4–6%.

5 Экономика перспективных энергетических технологий

Появившаяся экономическая основа для повсеместного использования ВИЭ позволяет строить новую энергетику с меньшими удельными инвестициями в 1 кВт установленной мощности и с получением более дешевой электрической энергии. В табл. 2 приведены результаты сравнительных расчетов основных параметров традиционных и нетрадиционных электрических станций для условий России. Сравнение выполнено для АЭС, ТЭС, работающей на угле; ТЭС на природном газе; ГЭС; а также сетевых ВЭС и СЭС без аккумуляирования.

За основу для сравнения принята условная АЭС установленной мощностью 1000 МВт, работающая в базовом режиме при среднем коэффициенте использования установленной мощности (КИУМ) 70%. Это соответствует годовому времени использования установленной мощности 6132 часа. Все остальные генерирующие мощности имеют среднестатистические КИУМ меньше, чем АЭС, как показано в табл. 2.

Расчётный отпуск электроэнергии условной АЭС составляет 5825.4 ТВт·ч/год. Для адекватного сравнения принимается такой же расчётный отпуск электроэнергии и для всех остальных сравниваемых типов электростанций. Чтобы выполнить это условие при значительной разнице в КИУМ для разных технологий генерации, оказалось необходимым принять следующие значения установленных электрических мощностей: для ТЭС на угле – 1097.2 МВт, для ТЭС на природном газе – 1647.1 МВт, для ГЭС – 1758.8 МВт, для ВЭС – 2000.0 МВт, для СЭС – 2800.0 МВт.

Но, несмотря на то, что требуемые мощности ВЭС и СЭС значительно больше, чем для всех прочих электростанций, сооружение ВЭС и СЭС требует, тем не менее, при сложившейся рыночной конъюнктуре, самых малых инвестиций.

При этом важно, что и себестоимость отпускаемой электроэнергии на ВЭС и СЭС также имеет самые низкие значения.

В табл. 2 приведены полные сроки окупаемости инвестиций при условии, что тариф на отпуск электроэнергии на оптовый рынок энергии и мощности принимается равным 70 дол/(МВт·ч) с минимальным превышением наибольшей себестоимости из ряда рассматриваемых генерирующих источников.

При этих условиях только ВЭС и СЭС будут иметь приемлемые сроки окупаемости, не превышающие половину срока службы станции. Все остальные технологии генерации электроэнергии не обеспечивают окупаемость в течение всего срока жизни этих объектов, составляющего, как правило, 40 лет. При этом для всех энергообъектов, кроме ВЭС и СЭС, чистый доход за весь период эксплуатации является отрицательной величиной. При таких значениях экономических критериев интерес к инвестированию капитала в подобные проекты отсутствует.

Приемлемые финансово-коммерческие показатели для строящихся или реконструируемых электростанций на практике обеспечиваются за счет государственных субсидий. Бюджетное датирование на предоставляемую энергосистеме мощность осуществляется с использованием так называемых договоров о предоставлении мощности (ДПМ). На практике это означает доплаты из бюджета на производимую мощность для того, чтобы снизить до приемлемых значений тарифы на электроэнергию для потребителей. В табл. 2 представлен пример реализации ДПМ. При этом чтобы сравнение было корректным, в расчётах были приняты равные условия для всех типов электростанций: во всех случаях принято одно и то же повышенное значение эквивалентного одноставочного тарифа на отпуск электроэнергии, равное 120 дол/(МВт·ч). В этих условиях полные сроки окупаемости инвестиций становятся удовлетворительными для всех рассматриваемых вариантов.

Таблица 2. Сравнительная оценка основных показателей электростанций.

Источник: данные авторов.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ							
Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметров					
		АЭС	ТЭС		ВИЭ		СЭС
			на угле	на газе	ГЭС	ВЭС	
1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент использования установленной мощности, КУИМ	%	70,0	63,8	42,5	39,8	35,0	25,0
Приведенная установленная мощность, N	МВт	1000,0	1097,2	1647,1	1758,8	2000,0	2800,0
Число часов использования установленной мощности, Т	ч/год	6132,0	5588,9	3723,0	3486,5	3066,0	2190,0
Выработка электроэнергии: $Wэл = N \cdot T / 1000$	ТВтч/год	6132,0	6132,0	6132,0	6132,0	6132,0	6132,0
Затраты на собственные нужды и потери электро-энергии - 5%: $Wсн = 0,05 \cdot Wэл$	ТВтч/год	306,6	306,6	306,6	306,6	306,6	306,6
Отпуск электроэнергии потребителям: $Wотп = 0,95 \cdot Wэл$	ТВтч/год	5825,4	5825,4	5825,4	5825,4	5825,4	5825,4
Период проектирования и строительства, Тстр	лет	6,0	3,0	3,0	5,0	2,0	1,5
Общая сумма требуемых инвестиций: $K = N \cdot T$ куд	млн. US\$	5000,0	3291,5	3705,9	5276,4	2800,0	2520,0
Расчетный срок службы электростанции, Тсл	лет	40	40	40	40	30	30
Затраты на топливо - ЗТ:	млн.US\$/год	40,5	137,4	147,2	-	-	*
Сумма амортизационных отчислений: $A = a \cdot K$ (a = 0,03)	млн.US\$/год	150,0	98,7	111,2	158,3	112,0	100,8
Общая сумма эксплуатационных издержек - Из	млн.US\$/год	351,3	344,4	382,5	322,0	199,2	179,4
Себестоимость отпускаемой электроэнергии: $СС = 1000 \text{ Из} / Wотп$	US\$/МВтч	60,30	59,12	65,66	55,28	34,20	30,80
Показатели финансово-коммерческой эффективности инвестиций при прямой продаже электроэнергии на ОРЭМ							
Планируемый эквивалентный одноставочный средневзвешенный тариф на отпуск электроэнергии на оптовый рынок энергии мощностью (ОРЭМ), Тэл	US\$/МВтч	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Объем реализации электроэнергии: $R = Tэл \cdot Wотп$	млн.US\$/год	407,778	407,778	407,778	407,778	407,778	407,778
Валовая прибыль: $ВП = R - Из$	млн.US\$/год	56,48	63,38	25,28	85,78	208,58	228,35
Чистая прибыль - после уплаты налоговых платежей, ЧП	млн.US\$/год	-53,52	-9,03	-56,25	-30,30	117,58	138,33
Дискретный срок окупаемости инвестиций: $СО = K / (ЧП + A)$	лет	51,8	36,7	67,5	41,2	12,2	10,5
Полный срок окупаемости инвестиций: $ПСО = СО + Тстр$	лет	57,8	39,7	70,5	46,2	14,2	12,0
Чистый доход за расчетный период: $NV = ЧП \cdot Тсл$	млн.US\$	-2140,9	-361,4	-2250,1	-1212,1	3527,5	4149,9
Чистый дисконтированный доход, NPV	млн.US\$	-178,4	-30,1	-187,5	-101,0	391,9	461,1
Индекс доходности: $PI = (K + NPV) / K$		0,96	0,99	0,95	0,98	1,14	1,18
Рентабельность инвестиций: $P = 100 / ПСО$	%	1,73	2,52	1,42	2,16	7,04	8,31
Показатели финансово-коммерческой эффективности инвестиций при использовании государственных субсидий							
Планируемый эквивалентный одноставочный средневзвешенный тариф на отпуск электроэнергии с учетом государственных субсидий, Тэл'	US\$/МВтч	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
Объем реализации электроэнергии: $R' = Tэл' \cdot Wотп$	млн.US\$/год	699,048	699,048	699,048	699,048	699,048	699,048
Валовая прибыль: $ВП' = R' - Из$	млн.US\$/год	347,75	354,65	316,55	377,05	499,85	519,62
Чистая прибыль - после уплаты налоговых платежей, ЧП'	млн.US\$/год	190,20	225,79	188,01	208,77	350,60	371,35
Дискретный срок окупаемости инвестиций: $СО' = K / (ЧП' + A)$	лет	14,7	10,1	12,4	14,4	6,1	5,3
Полный срок окупаемости инвестиций: $ПСО' = СО' + Тстр$	лет	20,7	13,1	15,4	19,4	8,1	6,8
Чистый доход за расчетный период: $NV' = ЧП' \cdot Тсл$	млн.US\$	7607,9	9031,5	7520,6	8351,0	10518,0	11140,4
Чистый дисконтированный доход, NPV'	млн.US\$	634,0	752,6	626,7	695,9	1168,7	1237,8
Индекс доходности: $PI' = (K + NPV') / K$		1,13	1,23	1,17	1,13	1,42	1,49
Рентабельность инвестиций: $P' = 100 / ПСО'$	%	4,83	7,61	6,50	5,16	12,42	14,63

При этом наилучшая и весьма удовлетворительная окупаемость будет иметь место при инвестировании средств в строительство ВЭС и СЭС. Эти же виды электростанций обеспечивают и наибольший чистый доход на вложенный капитал, наибольший индекс доходности, наивысшую рентабельность инвестиций. К настоящему времени многие энергетические компании пришли к выводу, что нет смысла, по экономическим соображениям, вести строительство АЭС, ТЭС и крупных ГЭС, а предпочтение следует отдавать технологиям на базе ВИЭ.

Знаменательно, что такая всемирно известная компания как SIEMENS уже сокращает производство своих высокоэффективных газовых турбин из-за значительного снижения спроса на них.

6 Анализ перспективных направлений развития энергетики России и программа действий

Сегодня модернизация российских ТЭС на базе традиционных технологий с заменой турбин и котлов, отработавших свой ресурс, на новые, пусть даже с несколько лучшими параметрами, приведёт только к ещё большему отставанию нашей энергетики от мирового уровня. Устанавливая сегодня новое паротурбинное оборудование взамен изношенного, мы обрекаем себя на использование устаревающих энергетических технологий еще, как минимум, на 40 лет – период, равный сроку службы этого оборудования. И если еще всего 3-4 года назад эти вопросы не стояли так остро, то теперь уже недопустима потеря времени без внедрения новых технологий на основе ВИЭ.

Становится очевидным, что действующие ныне «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» [1] и «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года» [19], в которых перспективная структура энергетических мощностей сохранена на сегодняшнем уровне с большей долей производства электроэнергии за счёт ископаемого топлива, уже не отвечает мировым тенденциям, социально-экономическим потребностям страны и требуют коренного пересмотра.

Напомним, что, в соответствии с решениями Парижской конференции ООН 2015 г. по климату [21] перед мировым сообществом поставлена цель: ограничить рост температуры на планете к 2050 г. в пределах 2°C. Эта цель может быть достигнута только в том случае, если к 2050 г. будет использоваться не более 10% от уже имеющихся запасов углеводородных топлив. В рамках обозначенных ограничений примерно 80% мировых запасов угля, 50% природного газа и 30% нефти должны будут остаться неиспользованными.

Если данные подходы справедливы, то затраты на разведку и освоение новых месторождений ископаемых топлив не имеют смысла. Необходимо финансировать не разведку и освоение новых месторождений природных топлив, а исследования, направленные на создание новых методов получения энергии без использования этих топлив.

Сегодня основные статьи дохода Государственного бюджета – это отчисления от прибылей корпораций, продающих за границу газ, нефть и уголь. Однако спрос на ископаемые топлива будет быстро сокращаться. В распоряжении России остается не более 10–15 лет для того, чтобы найти источники получения доходов, отличных от экспорта природных углеводородов.

Основная доля российского экспорта углеводородов приходится на страны ЕС. Развитие экономики этих стран приводит к значительному росту потребности в электрической энергии и биотопливе. Поэтому, само собой напрашивается и решение: планировать источники бюджетного дохода именно за счёт производства в России и экспорта за рубеж энергетической продукции взамен сырьевых компонентов. В этом свете, на наш взгляд, целесообразно выполнение следующей программы действий:

- Проведение маркетинговых исследований с целью определения возможных объёмов продаж за границу электрической энергии и биотоплива.

- Подготовка схемы размещения в приграничных регионах новых энергогенерирующих мощностей, преимущественно солнечных электростанций, дающих сегодня наиболее дешевую электроэнергию и требующих минимальных инвестиций в их строительство. Для целей сбыта электроэнергии в страны Европы, в Турцию, Иран, Ирак, Сирию и другие страны целесообразно планировать создание крупных СЭС в южной части европейской территории РФ: в Краснодарском и Ставропольском краях, в Адыгее, в Ростовской области, в Республике Крым, где имеются тысячи гектар земли, непригодной для ведения сельхозработ и списанных с сельхозоборота (пески, заболоченные земли, овраги, неудобья, засоленные и закисленные земли и др.), которые вполне пригодны для строительства СЭС.

- Проведение научных исследований для повышения эффективности фотоэлектрических модулей, отработки новых технологий производства ФЭМ с целью обеспечения максимального их удешевления, разработки принципиально новых схем СЭС и передачи энергии, вырабатываемой ими, на большие расстояния. К этим работам могут быть привлечены российские научно-исследовательские институты, имеющие большой научно-технический задел, мало реализованный на практике.

- Создание полигонов для проведения крупномасштабных экспериментальных исследований в области использования ВИЭ. Такие полигоны могут быть созданы в Дагестане на базе Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, в г. Севастополь на базе Севастопольского государственного университета, в г. Дубна Московской области на базе Международного университета Природы, общества и человека «ДУБНА». Эти полигоны могут иметь разную технологическую направленность в соответствии с особенностями их территориального размещения.

- Проведение НИОКР по созданию эффективных технологий конверсии различных видов биомассы в электрическую и тепловую энергию, технологий по производству дешевых твердых, жидких и газообразных биотоплив.

- Проектирование и строительство новых крупных предприятий по производству биотоплив. Организация продажи биотоплив зарубежным и российским потребителям, а также потребителям в странах СНГ.

- Строительство СЭС за рубежом с последующей их продажей или поставкой электроэнергии местным потребителям.

Использование возобновляемых источников энергии уже стало нормой практически во всем мире. В странах же СНГ оно до сих пор вызывает определенное недоверие. Это привело к серьезному отставанию СНГ и, в частности, РФ в вопросах создания современной базы развития энергетики.

7 Выводы

Отказ от использования ископаемых топлив – общее направление развития мировой энергетики. В настоящее время происходит повсеместное замещение традиционных технологий получения энергии на использование возобновляемых источников. Переход от экспорта ископаемых топлив на экспорт электро-

энергии, производимой с использованием возобновляемых источников, позволит получить для нашей страны значительные бюджетные преференции.

В нашей стране имеются значительные запасы торфа и древесины. Именно эта ресурсная база может сыграть определяющую роль в переходе на новые энергетические технологии в нашей стране. В настоящее время в мире не существует эффективных промышленных технологий энергетической утилизации биомассы. Имеющиеся отечественные разработки новых технологий энергетического использования биомассы позволяют рассчитывать на передовые позиции в модернизации энергетической отрасли в этом направлении.

Благодарность. Работы выполнены в рамках госзадания ОИВТ РАН тема № ГР АААА-А19-119020690085-9.

Литература

1. Новак А.В. Энергетическая стратегия России до 2035 года. – М.: Минэнерго РФ, 2015 – 23 с. http://www.rsppvo.ru/attachment/energ.strategi_novac.pdf
2. Пергаменщик Б.К., Теличенко В.И., Темишев Р.Р., Возведение специальных строительных конструкций АЭС. – М.: МЭИ, 2011 – 240 с.
3. Лепин Г.Ф., Смоляр И.Н. Атомная энергетика – «мирный убийца» / Под ред. чл.-корр. НАН Беларуси проф. Б.Н. Нестеренко. Минск: Белорусский институт радиационной безопасности «Белград». – 2008. – 352 с.
4. Сидорович В. Возобновляемая энергетика становится безальтернативной // «Ведомости», 05.02.2016.
5. Зайченко В.М., Чернявский А.А., Автономные системы энергоснабжения. – М.: «Недра». 2015 – 285 с.
6. Сидорович В. Мировая энергетическая революция. Как ВИЭ изменят наш мир. М.: Альпина. – 2015.
7. Губарев А., Трансформация энергетике – стратегия России. – Bloomberg New Energy Finance. – 2017.
8. Фортов В.Е., Попель О.С., Энергетика в современном мире – Долгопрудный: изд. дом «Интеллект». 2011 – 168 с.
9. Денщиков К.К. Комбинированные энергетические установки на основе суперконденсаторов // Материалы конференции ОИВТ РАН «Результаты фундаментальных исследований в области энергетике и их практическое применение». – М. 2008.
10. EE Energy Media. Генерация и хранение. Во Франции реализуют «идеальный» ВИЭ-проект. – [EEnergy.Media / Electrovesty.net.](http://Energy.Media/Electrovesty.net) – Май 2018 г.
11. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Синельщиков В.А. Численное моделирование энерго-технологического комплекса с реактором торрефикации // ТВТ, 55:1. – 2017, с. 133-140.
12. Батенин В.М., Бессмертных А.В., Косов В.Ф., Синельщиков В.А. Теплоэнергетика 2010, № 11, стр. 36-42.
13. Батенин В.М., Зайченко В.М., Косов В.Ф. и др. Пиролитическая конверсия биомассы в газообразное топливо // Доклады Академии наук, т.446, №2, 2012, стр. 179-182
14. Демьяненко Ю.В., Ильичев В.А., Мальшенко С.П. и др., Энергоустановка // Патент РФ №RU2393358. – М.: БИ 2010, №6.
15. Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетике», Утвержденная Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 №321.

16. Larina O.M., Zaichenko V.M. Energy production from Chicken Manure by Pyrolysis and Torrefaction // Proceedings of the 25th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE-2017. – Stockholm, Sweden. – 2017, p.1205-1209.
17. Никоноров С.М., Штепа М.В., Анализ рынка пеллетного производства в России / Международная биоэнергетика. – 2017.
18. Larina O.M., Sinelshchikov V.A., Sitchev G.A. Comparison of Thermal Conversion Methods of Different Biomass Types into Gaseous Fuel // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Volume 774/012137 / - doi: 10.1088 / 1742-6596/774 / 1 / 012137.
19. «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года», Утв. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2017 №1209-р.
20. Конференция ООН по климату в Париже (COP21). М.: INTERFAX. – 2015.

References

1. Novak A.V. The energy strategy of Russia until 2035. - М.: Ministry of Energy of the Russian Federation, 2015 - 23 p.
http://www.rsppvo.ru/attachment/energ.strategi_novac.pdf
2. Pergamenschik BK, Telichenko VI, Temishev RR, Construction of special building structures of nuclear power plants. - М.: MPEI, 2011 - 240 p.
3. Lepin G.F., Smolyar I.N. Nuclear Power - "Peace Killer" / Ed. Corr. NAS of Belarus prof. B.N. Nesterenko. Minsk: Belarussian Institute of Radiation Safety. - 2008. - 352 p.
4. Sidorovich V. Renewable energy is becoming uncontested // Vedomosti, 02/05/2016.
5. Zaichenko V. M., Chernyavsky A. A., Autonomous energy supply systems. - М.: "Nedra". 2015 - 285 p.
6. Sidorovich V. World energy revolution. How renewables will change our world. М.: Alpina. - 2015.
7. Gubarev A., Energy Transformation - Russia's Strategy. - Bloomberg New Energy Finance. - 2017.
8. Fortov V.E., Popel OS, Energy in the modern world - Dolgoprudny: ed. Intellect House. 2011 - 168 p.
9. Denshchikov K.K. Combined power plants based on supercapacitors // Materials of the conference JIHT RAS "Results of fundamental research in the field of energy and their practical application". - М. 2008.
10. EE Energy Media. Generation and storage. In France, they are implementing an "ideal" RES project. - [EEnergy.Media / Electrovesty.net](http://EEnergy.Media/Electrovesty.net). - May 2018
11. Director LB, Zaichenko V.M., Sinelshchikov V.A. Numerical modeling of an energy-technological complex with a torrefaction reactor // TVT, 55: 1. - 2017, p. 133-140.
12. Batenin V.M., Immortals A.V., Kosov V.F., Sinelshchikov V.A. Thermal Engineering 2010, No. 11, pp. 36-42.
13. Batenin V.M., Zaichenko V.M., Kosov V.F. et al. Pyrolytic conversion of biomass to gaseous fuel // Doklady Akademii Nauk, vol. 466, No. 2, 2012, pp. 179-182
14. Demyanenko Yu.V., Ilyichev VA, Malysenko SP et al., Power installation // RF Patent №RU2393358. - М.: BI 2010, No. 6.
15. The state program "Energy Efficiency and Energy Development", Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014 No. 321.

16. Larina OM, Zaichenko VM Energy production from Chicken Manure by Pyrolysis and Torrefaction // Proceedings of the 25th European Biomass Conference and Exhibition EUBCE-2017. - Stockholm, Sweden. - 2017, p.1205-1209.
17. Nikonorov S. M., Shtepa M. V., Analysis of the pellet production market in Russia / International bioenergy. - 2017.
18. Larina OM, Sinelshchikov VA, Sitchev GA Comparison of Thermal Conversion Methods of Different Biomass Types into Gaseous Fuel // Journal of Physics: Conference Series. - 2016. - Volume 774/012137 / - doi: 10.1088 / 1742-6596 / 774/1 / 012137.
19. "General layout of electric power facilities until 2035", Approved. By order of the Government of the Russian Federation dated 09.06.2017 No. 1209-r.
20. UN Climate Change Conference in Paris (COP21). M.: INTERFAX. - 2015.

Prospective directions of Russian electric power industry development within the framework of transition to new energy technologies

V.M. Zaichenko ^{1,1}, D.A. Solovyev ^{1,2}, A.A. Chernyavskiy ^{2,3}

¹Joint Institute for High Temperatures RAS, Moscow, Russia

²"ROSTOVTEPLOELECTROPROJECT", Rostov-on-Don, Russia

E-mail: ¹zaitch@oivtran.ru, ²solovev@guies.ru,
³mr.1936@bk.ru

Аннотация. In 2011-2012 The parity of the cost of energy of thermal power plants on fossil fuels and the cost of energy from wind farms and solar power stations had come. Since 2017, the capacities of introduced renewable energy sources in the world have exceeded the volumes of commissioned capacities of traditional energy. The transition from traditional energy technologies to renewable energy sources (RES), which are becoming more profitable from an economic point of view and can minimize the negative impact of energy on the environment, is being phased. This article gives a review of the prospects of application of the combined schemes using renewable energy sources to generate energy. The paper discusses the most important areas of energy development in our country.

Keywords: energy of Russia, renewable energy sources, environment, the energy of the future

Acknowledgment. The work was carried out as part of the state task topic No. GR AAAA-A19-119020690085-9.

УДК 620.97

Энергетические возможности гидросферы ЗемлиРс.И. Нигматулин¹, [0000-0001-5960-9206]

Научный Центр нелинейной волновой механики и технологии РАН, г. Москва, Россия

E-mail: info@jeees.ru

Аннотация. В докладе рассматриваются отдельные примеры реализации наиболее распространенных используемых в мире искусственных и естественных способов преобразования энергии гидросферы. Большинство из них было открыто достаточно давно, но до последнего времени практически не применялись на практике для получения энергии из-за сложности реализации и низкой экономической эффективности. В настоящее время эти ограничения постепенно снимаются. Современный уровень развития техники позволяет успешно преодолеть большинство из этих трудностей.

Ключевые слова: гидросфера, возобновляемые источники энергии, водные ресурсы.

¹ *Вниманию читателей предлагается публикация доклада, посвященная памяти замечательного ученого, доктора технических наук, профессора Раиса Искандеровича Нигматулина (1946-2014). За годы своей работы он как ученый и педагог реализовался значительными научными достижениями в самых разных областях науки: молекулярной физики, гидроаэромеханики, гидрофизики, возобновляемой энергетики и экологической физики. Научно-исследовательская работа Раиса Искандеровича осуществлялась в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук где он долгие годы работал заведующим лабораторией. Педагогическая деятельность – профессором в Московском авиационном институте, где он читал лекции по физике, термодинамике, прикладной гидромеханике, теплотехнике. Рс. И. Нигматулин - автор более 80 научных трудов, в том числе десятка монографий и учебников по механике, теплофизике, физической гидродинамике, безопасности энергетических систем в чрезвычайных ситуациях. Настоящий доклад, был им подготовлен, представлен и прочитан на международной конференции «Физические проблемы экологии» в ИПМ РАН, г.Москва, в 2010 году, но не публиковался в материалах конференции. Ссылка на персональную страницу Нигматулина Рс.И на портале Math-Net.Ru: <http://www.mathnet.ru/rus/person101434>*

1 Введение

Несмотря на значительные достижения в последние десятилетия во многих областях науки, проблемы обеспечения населения Земли достаточным количеством природных и энергетических ресурсов до сих пор в полной мере не решены. Эта проблема приобретает особую актуальность по мере роста дефицита и истощения многих видов традиционных источников природного сырья. Во многих регионах мира возникают энергетические, сырьевые и продовольственные кризисные ситуации. За последние 200 лет глобальное потребление энергии возросло более, чем в 30 раз, и составило 13 ГТонн условного топлива. По крайней мере, к 2050 г. ожидается практически удвоение потребления всех видов энергоресурсов [1]. Сегодня мировое сообщество все больше внимания уделяет развитию и изучению новых возможностей решения этих проблем на основе использования возобновляемых энергоресурсов [2], к которым относятся и ресурсы водной оболочки нашей планеты – гидросферы. Гидросфера Земли является потенциальным источником большинства ресурсов, необходимых для жизнедеятельности и жизнеобеспечения всего человечества и его дальнейшего устойчивого развития. Именно по этой причине так резко повысилось внимание во всех странах к развитию всего комплекса наук о Земле и, едва ли не в первую очередь, изучению энергетических возможностей Мирового океана. Во всех передовых странах ассигнования на развитие этой тематики за последние годы существенно возросли. Также становится очевидно, что сохранение жизнеобеспечивающей экологической обстановки на нашей планете стало проблемой первостепенного значения, и в решении этой проблемы океаны, моря, реки и озера и др. водные ресурсы играют одну из ведущих ролей. Гидросфера нашей планеты содержит и аккумулирует в себе огромные запасы энергии различных видов. Совокупность водных масс океанов, морей, рек и озер представляет собой до сих пор не раскрытый потенциал физической, химической, тепловой и других, возможно до сих пор не открытых, видов энергии. Раскрыть этот потенциал и найти применение этой практически неисчерпаемой природной энергии воды – главная задача ученых и цель мировой энергетической стратегии [3].

2 Оценка энергетического потенциала гидросферы Земли

По оценкам разных авторов [4], доступная часть энергии Мирового океана (энергетический потенциал гидросферы), т.е. та часть, которая может быть практически использована при современном уровне техники преобразования, почти в два раза превышает уровень современного потребления энергии в мире, который определяется цифрой около 0,3 Зетта Джоуль ($0,3 \cdot 10^{21}$ Дж) в год (рис.1 и 2). Больше всего в океане тепловой энергии, поскольку океан — гигантский тепловой аккумулятор энергии Солнца. Так, например, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана, по сравнению с донными, на 20 градусов, имеет величину порядка 10^{26} Дж. Кинетическая

энергия океанских течений оценивается величиной порядка 10^{18} Дж. Таким образом, суммарная энергия мирового океана превышает величину 10^{34} Дж.

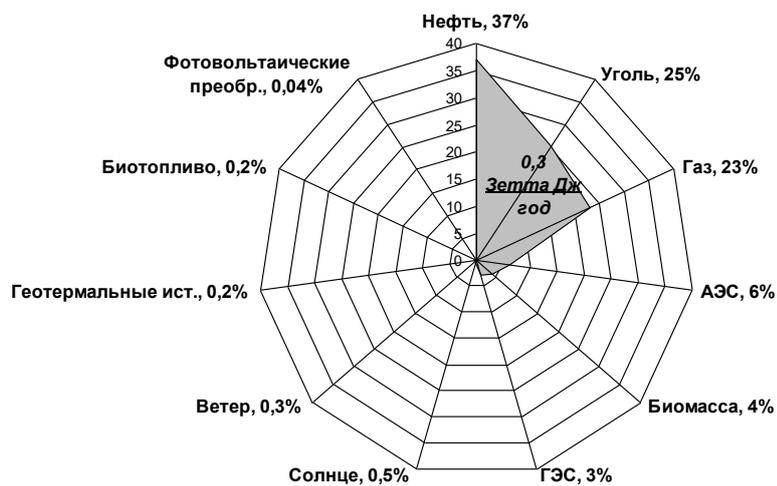


Рис. 1. Соотношение потребления энергетических ресурсов в мире в 2010 г. [5].

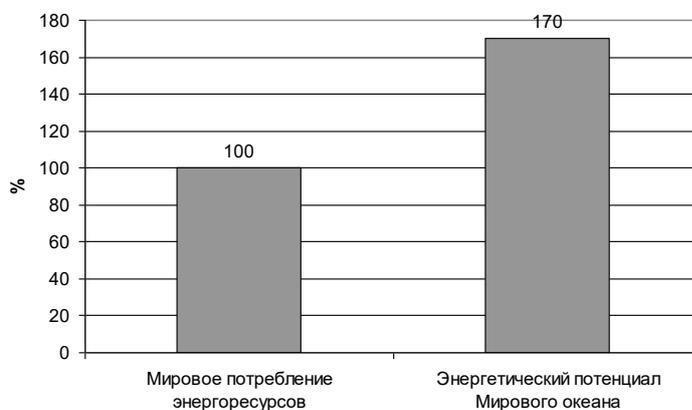


Рис. 2. Энергетический потенциал источников энергии Мирового океана.

Однако в настоящее время используются лишь доли этой энергии, потому, что такая энергетика до сих пор считалась малоперспективной. В то же время,

происходящее быстрое истощение запасов ископаемых топлив, использование которых связано с существенным загрязнением окружающей среды (включая тепловое "загрязнение", грозящее глобальными климатическими последствиями), и ограниченность запасов ядерного топлива заставляет уделять все большее внимание поискам возможностей экономически обоснованного использования энергии не только перепадов уровня воды в реках, но и других альтернативных видов энергии гидросферы Земли. В ближайшей перспективе массовое замещение углеводородных энергоносителей на современном уровне технологии возможно за счет строительства новых гидро- и атомных электростанций, а также за счет развития биоэнергетики и ВИЭ. Широкое развитие неуглеводородных видов энергетики рассматривается в дополнительном сценарии МЭА (Международное Энергетическое Агентство), предполагающем активное вмешательство государства в мировую энергетику в случае сохранения стабильно высоких цен на ископаемые энергоносители [5]. Вероятность наступления этого сценария подтверждается и форсайтом потребления энергии до 2050 года по методу Дельфи, проведенным МЭА [5], а также альтернативным сценарием МЭА [6] и ГУ «ИЭС» [7]. Мировой энергобаланс выглядит следующим образом (Рис.3):

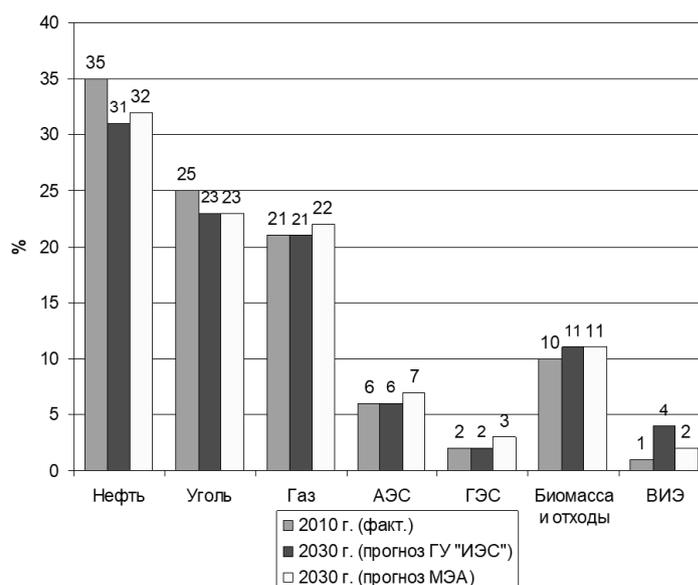


Рис. 3. Современное состояние и прогноз структуры мирового потребления ТЭР до 2050 г. [5,6,7].

Океан содержит в себе множество различных видов энергии: энергию приливов и отливов, океанских течений, термальную энергию, и многие другие, кото-

рые необходимо эффективно трансформировать для последующего использования.

Для количественной оценки энергетического потенциала гидросферы [4], как правило, используют обобщенную внесистемную единицу измерения — метр водяного столба (1 метр водяного столба равен гидростатическому давлению столба воды высотой в 1 м при наибольшей плотности воды (то есть при температуре около 4 °С) и ускорении свободного падения $g = 9,80665 \text{ м/сек}^2$). Эта величина называется плотностью потока и характеризует степень концентрации данного вида энергии. С помощью этого понятия удобно сравнивать между собой различные виды энергии в океане. Например, для теплового градиента (т.е. разности температур между теплым и холодным слоями) 20°С плотность потока составляет 570 м водяного столба, ее напор — как в грандиозном водохранилище, подпертом плотиной высотой более полукилометра. А для градиента 12°С плотность потока равна 210 м. Обе цифры (210 и 570 м) рассчитаны с учетом КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно.

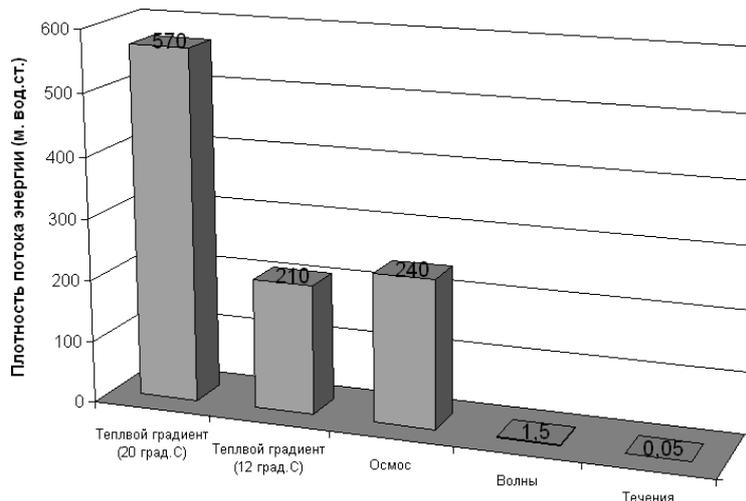


Рис. 4. Плотность потоков некоторых видов энергии в океане [4].

Такую плотность потока в океане имеет еще только энергия градиента солености (осмоса) — 240 м. Другие виды энергии океана имеют значительно меньшие значения плотности потока. Так, для ветровых волн она составляет 1,5 м, а для океанских течений — лишь 0,05 м (Рис.4.).

Основные способы трансформации энергии гидросферы Земли можно условно разделить на два вида: искусственные и естественные (таблица 1.). К искусственным способам трансформации энергии гидросферы относятся способы, связанные с применением различных технических (механических, электрических, и т.п.) устройств преобразования тепловой, кинетической и химической энергии. Данные способы характеризуются определенной степенью сложности

их применения и технической реализации. Естественные способы трансформации энергии гидросферы характеризуются, прежде всего, преимущественным использованием природных процессов и материалов, потенциально доступных в качестве первичного ресурса получения энергии.

Таблица 1. Основные способы трансформации энергии гидросферы Земли.

I. Искусственные	II. Естественные
Вид источника трансформируемой энергии:	
1.1. Приливы, течения, волны	2.1. Биота (планктон, нектон, бентос)
1.2. Градиент температуры	2.2. Синтез биомассы (фотосинтез, хемосинтез)
1.3. Градиент солености	2.3. Сырьевые ресурсы (нефть, газ, химические элементы, газовые гидраты)
1.4. Химические связи (получение водорода, изменение химической структуры воды)	2.4. Гидротермы («Черные курильщики»)

Ниже, следуя [1,4,7, 8, 9, 10], приведем краткую характеристику основных способов преобразования энергии гидросферы.

2.1 Трансформация кинетической энергии океана

Энергия течений Мирового океана по величине близка к энергии, получаемой от сжигания всех видов топлива на Земле в течение года (примерно 1020 Дж). Начаты работы по использованию энергии Гольфстрима, самого мощного течения в Мировом океане. Предполагается использовать около 1 % его энергии. Авторы проекта считают, что эта цифра не должна заметно отразиться на общем балансе энергии течения.

Весьма перспективный вид кинетической энергии Мирового океана - это энергия волн. В океане много видов волн. Однако с точки зрения выработки электрической энергии заслуживают внимания лишь три их типа: приливные волны, ветровые волны и зыбь. Ветровые волны обладают большой разрушительной силой, т. е. несут значительную энергию. Несколько миллионов штормов ежегодно случается в Мировом океане. Было подсчитано, что 1 км² водной поверхности с волнами высотой около 5 м обладает мощностью около 3 млн. кВт. А штормовая погода может охватить площадь в несколько тысяч квадратных километров. Соответственно, волновая мощность Мирового океана оценивается цифрой около 3 млрд. кВт. Запасы энергии ветровых волн и зыби огромны, по степени разработанности проблемы ее использования пока недостаточна, лишь в последнее десятилетие были сделаны некоторые шаги в деле практиче-

ского использования энергии ветровых волн и зыби для выработки электрической энергии.

Значительно раньше началось использование энергии приливных волн, отличающихся чёткой регулярностью: два раза в сутки в определенное время появляются приливные волны заранее известной высоты. Эти свойства — строгая периодичность и определенная высота, позволили людям очень рано научиться использовать их энергию: уже в XI в. в Европе строили мельницы, работающие за счет энергии прилива. В наши дни приливные электростанции — самые мощные среди других волновых электростанций, но, к сожалению, их можно построить не на любом участке побережья (и, как правило, не там, где особенно нужна энергия). У нас в стране, например, природа распорядилась так, что самые мощные приливы имеются вдали от промышленных центров или районов с большим потреблением энергии. В России самые мощные приливы — у берегов Камчатки, где общая энергия приливных волн равна примерно 1019 Дж в год.

Речная гидроэнергетика является наиболее развитой областью возобновляемой энергетики. Она берёт своё начало от водяных колёс и мельниц, использовавшихся человечеством на заре своего развития.

Отличительной особенностью энергоносителя – воды, является то, что его можно использовать многократно, что имеет место в каскадах гидростанций, но притом его физическая природа остаётся неизменной, в отличие от органических видов энергоносителей, которые в результате отдачи энергии изменяют своё физическое состояние, образуя в результате сгорания другие вещества.

Отсутствие процессов нагревания – охлаждения в гидростанциях даёт возможность получать высокий КПД преобразования энергии воды в электрическую, зависящий, главным образом, от КПД турбины и генератора, значение которых в лучших образцах превышает 90%.

Следующей особенностью гидростанций является то, что сооружения (плотина, здание ГЭС, водоводы и тд.) и их оборудование используются в течение 50 и более лет. Имеются ГЭС, проработавшие 100 лет. Это означает, что ГЭС, построенные в начальных экономических условиях, многократно окупившись, продолжают производить наиболее дешёвую энергию. Наиболее уязвимыми сторонами мощных ГЭС являются затопление земель, заиливание водохранилищ, цветение воды в них, изменение микроклимата, а также сравнительно высокие удельные капитальные вложения. Стоит отметить тот факт, что «отработавшая» на ГЭС вода может в дальнейшем быть использована для любых других целей, в то время, как топливо, сгоревшее на тепловых станциях, оставляет вредные выбросы в воздух, воду и почву.

2.2 Трансформация тепловой энергии океана

Последние десятилетия характеризуются определенными успехами в использовании тепловой энергии океана. Так, на Гавайях в 2012 г. созданы установки мини-ОТЕС (ОТЕС — начальные буквы английских слов Ocean Thermal Energy

Conversion, т. е. преобразование тепловой энергии океана — речь идет о преобразовании в электрическую энергию). Установка мини-ОТЕС смогла отдать в электрическую сеть 12—15 кВт, а на собственные нужды потребила около 35 кВт. Опыт, полученный при опытной эксплуатации установок мини-ОТЕС, позволил приступить к проектированию тепловых океанских станций на сотни мегаватт. Сейчас разработки новой ОТЭС при финансовой поддержке правительства США (\$600 тыс.) ведет компания Lockheed Martin.

2.3 Трансформация энергии солености

Запасы энергии градиента солености, или осмоса (греч. «толчок», «давление»), по некоторым оценкам, не уступают тепловой энергии океана. Осмотические электростанции наиболее актуальны в устьях больших рек, а около них, как правило, располагаются крупные города. Считается, что подобные станции наиболее перспективными для северных стран, таких как Россия, Канада и государства Скандинавии, при этом не стоит исключать самые южные части Африки и Америки. Глобальный потенциал «осмотической энергии» эксперты оценивают примерно в 1600-1700 ТВт·ч в год, что эквивалентно половине производимой в Европейском союзе электроэнергии.

2.4 Трансформация химической энергии воды

Один из наиболее перспективных способов использования химической энергии молекул воды – электролиз. Через воду пропускается электрический ток, в результате чего происходит химический распад. Освобождаются водород и кислород, а жидкость исчезает.

Имеются в Мировом океане и другие химические источники энергии. Например, обсуждался вопрос об использовании сероводорода — горючего газа с неплохой калорийностью. Сероводородом очень богато Чёрное море, и к тому же его количество там непрерывно возрастает. Есть сероводород и в других районах Мирового океана — общие запасы его очень велики (недостаток этого вида топлива — неприятный запах, но, возможно, будет найден способ его устранения).

2.5 Трансформация энергии биоты океана

Важнейшим энергетическим ресурсом океана является биота (совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, обитающих в мировом океане), так как дает 10 % мирового потребления первичной энергии (по оценке Комиссии по экономии энергии и энергоресурсов Мировой энергетической конференции (МИРЭК)). Ожидается, что она будет играть такую же важную роль в будущем обеспечении энергией при выработке технологического тепла и производства синтетических топлив. Синтетическое топливо из биомассы биоты можно сжигать на электростанциях, использовать на транспорте или в промыш-

ленности. Рассматривается возможность создания водорослевых энергетических плантаций, для создания которых в океане имеются очень широкие возможности, как на поверхности воды, та и на дне.

По некоторым оптимистическим оценкам [8], углеводородное топливо из водорослей может производиться по цене, меньшей мировой рыночной цены на него, при создании в океане обширных плантаций для их культивирования.

Более трети поверхности Мирового океана (130 млн. км²) имеет дно, грунт которого пригоден для выращивания быстрорастущих водорослей, из которых можно легко получить горючие газы метан и этан, широко используемые для самых разных целей. В настоящее время обращено внимание на выращивание бурой водоросли — весьма урожайной культуры (от 600 до 1000 т с гектара в сыром весе). Бурая водоросль не имеет корней, поэтому для нее не очень важен состав грунта. Растет она в толще морской воды, но в воде достаточно богатой питательными солями и в присутствии солнечного излучения.

2.6 Трансформация энергии синтеза биомассы океана

Водоросли (прежде всего, сине-зеленые) стали первыми организмами, у которых появилась в процессе эволюции способность осуществлять фотосинтез с использованием воды в качестве источника водорода и выделением свободного кислорода. Этот механизм преобразования солнечной энергии в биомассу унаследован и многоклеточными растениями. Таким образом, фотосинтез является основным источником первичной биологической энергии. Таким образом, можно сказать, что энергия, преобразуемая в тепло при сжигании ископаемого топлива (уголь, нефть, природный газ, торф) также является запасенной в процессе фотосинтеза.

Некоторые бактерии используют способ питания, при котором источником энергии для синтеза органических веществ из CO₂ служат реакции окисления неорганических соединений. Подобный вариант получения энергии используется, известен, как хемосинтез. В ходе осуществляемых этими морскими бактериями химических реакций выделяется много энергии, заменяющей в глубинах энергию лучей Солнца, а также образуется органическое вещество, из которого состоят их тела.

2.7 Трансформация энергии сырьевых ресурсов океана

Мировой океан богат минерально-сырьевыми ресурсами, которые добываются с его дна. Наибольшее значение имеет нефть и газ, которые добывают с континентального шельфа. Они составляют по стоимости 90% всех ресурсов, получаемых сегодня с морского дна. Морская добыча нефти в общем объеме составляет приблизительно 1/3. Еще одним богатством глубоководного ложа океана являются железомарганцевые конкреции, содержащие до 30 разных металлов. Они были обнаружены на дне Мирового океана еще в 70-х годах XIX века. Наибольший объем железомарганцевые конкреции занимают в Тихом океане

(16 млн. км²). Первый опыт добычи конкреций предприняли США в районе Гавайских островов.

Перспективным источником газа в ближайшие 20 лет может стать разработка океанских месторождений газовых гидратов. По некоторым оценкам, мировые запасы метана в газогидратах могут на несколько порядков превышать ресурсы всех разведанных на сегодня других горючих ископаемых.

2.8 Трансформация энергии гидротерм

Гидротермальные источники срединно-океанических хребтов (сокр. гидротермы) выбрасывают в океаны, под давлением в 250 атм., высокоминерализованную горячую воду. На дне вокруг гидротерм обнаружены в больших количествах отложения окислов марганца и железа. Кроме того, потребляя различные неорганические вещества, в изобилии имеющиеся в гидротермах, живущие там бактерии производят многочисленные органические соединения в процессе хемосинтеза. Ими питаются все животные экологических оазисов (которые возникают в теплых водах вокруг гидротерм).

3 Заключение

Выше мы рассмотрели отдельные примеры реализации используемых в мире наиболее распространенных искусственных и естественных способов преобразования энергии гидросферы. Большинство из них было открыто достаточно давно, но до последнего времени практически не применялось на практике для получения энергии из-за сложности реализации и низкой экономической эффективности. Но эти ограничения постепенно снимаются, т.к. уже сейчас современный уровень развития техники позволяет успешно преодолеть большинство из этих трудностей.

Литература

1. Энергия-Вода-Эволюция // Под общ. Ред. В.В. Бушуева, М.: ИАЦ «Энергия», 2008. 140 с.
2. В.Путин. Энергетическая безопасность: Дорога в будущее [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://civilg8.ru/884.php> (дата обращения 3.08.2010).
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Прил. к обществ.-дел. журн. "Энергетическая политика". – М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.
4. Вертинский Н.В. Энергия океана М: Наука с. 152 1986.
5. Deciding The Future: Energy Policy Scenarios to 2050. World Energy Council, 2007.
6. Alternative Policy Scenario, IEA World Energy Outlook, 2006.
7. Институт Энергетической Стратегии [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.energystrategy.ru/editions/EP.htm> (дата обращения 3.08.2010).

8. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. — М.: КолосС, 2003. — 532 с
9. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. — М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, 2009. — 88 с.
10. Шапарев Н. Я. Астафьев Н.Н. Водные ресурсы Красноярского края в показателях устойчивого развития Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» 780 <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/080.pdf>

References

1. Energy-Water-Evolution // Under the general. Ed. V.V. Bushueva, Moscow: IAC "Energy", 2008.140 s.
2. V. Putin. Energy Security: The Road to the Future [Electronic resource] .- Access mode: <http://civilg8.ru/884.php> (accessed August 3, 2010).
3. The energy strategy of Russia for the period until 2030 // App. to society. journal "Energy policy." - M.: GU IES, 2010. -- 184 p.
4. Vertinsky N.V. Ocean Energy M: Science p. 152 1986.
5. Deciding The Future: Energy Policy Scenarios to 2050. World Energy Council, 2007.
6. Alternative Policy Scenario, IEA World Energy Outlook, 2006.
7. Institute of Energy Strategy [Electronic resource] .- Access mode: <http://www.energystrategy.ru/editions/EP.htm> (accessed August 3, 2010).
8. Amerkhanov R.A. Optimization of agricultural energy plants using renewable energy. - M.: KolosS, 2003. -- 532 s.
9. Danilov-Danilyan V.I. Water resources of the world and prospects of the water-economic complex of Russia. - M.: LLC Printing House LEVKO, Institute for Sustainable Development / Center for Environmental Policy of Russia, 2009. - 88 p.
10. Shaparev N. Ya. Astafiev N.N. Water Resources of the Krasnoyarsk Territory in Sustainability Indicators Electronic Scientific Journal "RESEARCHED IN RUSSIA" 780 <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/080.pdf>

Earth's hydrosphere energy potential

Rs.I. Nigmatulin¹

¹ Scientific Center for Nonlinear Wave Mechanics and Technology,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
E-mail: info@jeees.ru

Abstract. This report discusses some examples of the implementation of the world's most common artificial and natural methods for converting hydrosphere energy. Most of them were discovered long ago, but until recently they were practically not used for energy production due to the complexity of implementation and low economic efficiency. Currently, these restrictions are gradually being removed. The current level of technological development allows us to successfully overcome most of these difficulties.

Key words: energy, hydrosphere, renewable energy, water resources

УДК 620.92(075.8).

Электромагнетизм и механика: неголономные аналогии

А.А. Соловьев ^[0000-0002-4376-1120]

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: a.soloviev@geogr.msu.ru

Аннотация. Анализируются методы описания механических и электродинамических систем с неголономными связями. Выявляется роль выбора счета времени при описании динамики систем с голономными и неголономными связями. Рассматривается возможность перехода от уравнений механики к аналогичным уравнениям электродинамики для силовых энергетических полей с измененным мероопределением времени.

Ключевые слова: счет времени, голономные, неголономные связи, уравнения Лагранжа.

1 Введение

В последние годы активизируется интерес к механике сплошных сред, электродинамике, квантовой механике систем со связями, допускающими ограничения на изменения, как обобщенных координат, так и обобщенных скоростей [1]. Такие связи по Г.Герцу [2] принято называть неголономными, в отличие от голономных связей, зависящих только от обобщенных координат. Для механических систем с неголономными связями общие уравнения механики по причине взаимной зависимости координат не приводят к уравнениям Ж.Лагранжа, свойственных системам с голономными связями. С.А.Чаплыгин показал, каким образом в результате преобразований времени можно получить уравнения движения неголономных систем, аналогичные уравнениям Лагранжа [3]. Вслед за этим начались исследования с использованием разнообразных подходов, приводящих к преобразованию уравнений движения неголономных систем в различные формы [4]. В современных исследованиях неголономных систем отмечается обилие публикаций по различным задачам неголономной динамики большинство, из которых восходит к развитию работы С.А.Чаплыгина. В числе других подходов к описанию неголономных систем отметим работу А.С. Предводителева, который обратил внимание на значимость использованного при выводе уравнений С.А. Чаплыгина приводящего временного множителя [5].

Согласно которому при описании механических систем с неголономными связями можно принять постулат о переходе к другому исчислению времени. Аналогичные идеи преобразования времени реализуются в развитии метода расчета динамических полей неголономно связанных структур [6]. С этим же связаны исследования, в которых развивается нетрадиционный подход к задачам неголономной механики и электродинамики с переходом от эвклидова пространства к метрике пространства Лобачевского Римана [7].

Основу таких подходов, нередко не укладывающихся в общепринятые представления, как правило, составляет сравнительный анализ между понятиями различных областей науки. Тем не менее к сравнительным аналогиям все же продолжают обращаться для лучшего понимания нового явления. Но не только для этого, а потому, что нередко при всем несходстве явлений их описание сводится к абстракциям, в своем математическом выражении почти тождественно повторяющим друг друга. Получается так, что, хотя явления физически разнородны, а математические алгоритмы сближают их до уровня достаточно близкого соответствия. И это происходит от того, что у каждого положения одной теории существует гомолог в другой. Поэтому задачи, решенные в одной из них, могут быть использованы в другой. Этот факт позволяет не только формально отображать одну область знания в другую, но и взаимно ускорять их развитие. Аналогии являются проверенным инструментарием, позволяющим в новом явлении усмотреть старое с дополнением новых качеств [5, 8].

Представленные суждения являются преамбулой представляемой далее статьи, иллюстрирующей возможности аналогий для распространения алгоритмов, разработанных для решения задач динамики механических систем с голономными связями, на другие системы, которые оказались в силу ряда причин неприемлемыми для систем с неголономными связями.

2 Определение времени в механике точек с неголономными связями

Мы привыкли к расчетам времени в механике настолько, что не задумываемся над тем, как происходит выбор единицы изменения времени при описании того или иного физического явления. Между тем, этот вопрос в первую очередь должен быть однозначно решен при постановке той или иной задачи. В механике в качестве образцового движения выбирается прямолинейное и равномерное движение, с которым сравниваются все остальные. Тем самым принимается, что выбор способа измерения течения времени в классической механике определяется однозначно. При построении электродинамики, выбор счета времени по образу классической механики не годится. Принято считать, что для того, чтобы уравнения электродинамики не зависели от выбора координат, а это необходимо, счет времени должен осуществляться в соответствии с группой преобразования Лоренца-Эйнштейна [9].

Но и в механике, как оказалось, далеко не всегда возможно пользоваться ньютоновским меропределением времени. Уравнения Лагранжа для движения

материальных точек, свободного с голономными связями, так составлены, что при мероопределении времени можно без уточнений пользоваться равномерным и прямолинейным движением как образцовым, с которым допустимо сравнивать все другие. Но этого сделать нельзя, если механическая система подвержена неголономным связям. В этом случае уравнения Лагранжа изменяют свой вид. Чтобы сохранить его необходимо специально выбрать счет времени в зависимости от характера неголономных связей. Именно это главная идея описания процессов в неголономной механике, на которую как на весьма важное и принципиальное положение указал впервые С.А. Чаплыгин [3]. Для пояснения значимости этого положения обратимся к рассмотрению его примера механической системы с двумя свободными обобщенными координатами q_1 и q_2 . Будем считать, что зависимые параметры, определяемые координатами x, y материальных точек системы, подчиняются следующим условиям

$$\dot{x} = a_1 \dot{q}_1 + a_2 \dot{q}_2; \quad \dot{y} = b_1 \dot{q}_1 + b_2 \dot{q}_2 \quad (1)$$

Здесь множители, a_1, a_2, b_1, b_2 суть, произвольные функции параметров q_1, q_2 , а $\dot{x}, \dot{y}, \dot{q}_1, \dot{q}_2$ обозначают производные по времени от всех параметров. Уравнения движения системы в форме Лагранжа для данного примера получаются из принципа Даламбера, и они для кинетической энергии T и потенциальной энергии U запишутся так:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} - \frac{\partial T}{\partial q_1} - \frac{\partial U}{\partial q_1} &= \dot{q}_2 S \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} - \frac{\partial T}{\partial q_2} - \frac{\partial U}{\partial q_2} &= -\dot{q}_1 S \\ S &= \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \left(\frac{\partial a_1}{\partial q_2} - \frac{\partial a_2}{\partial q_1} \right) + \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \left(\frac{\partial b_1}{\partial q_2} - \frac{\partial b_2}{\partial q_1} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

Эти уравнения отличаются от обычных уравнений Лагранжа членом S в правой части. Он будет равен нулю только в случае интегрируемости уравнений связи (1). Но оказывается всегда можно найти такое преобразование течения времени от единиц t к единицам τ , которое позволяет написанную систему уравнений движения свести к обычному виду уравнения Лагранжа. С этой целью С.А. Чаплыгин рекомендует принять следующий формат преобразования времени через множитель M , считая его некоторой функцией независимых переменных q_1, q_2 .

$$M dt = d\tau \quad (3)$$

По смыслу введения коэффициент M является множителем, переводящим один счет времени в другой. После преобразования приведенных выше уравнений к новому течению времени τ , получаем уравнения:

$$\frac{d}{d\tau} \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}'_1} - \frac{\partial(T)}{\partial q_1} - \frac{\partial U}{\partial q_1} = q'_2 R,$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}'_2} - \frac{\partial(T)}{\partial q_2} - \frac{\partial U}{\partial q_2} = -q'_1 R \quad (4),$$

$$\text{Здесь } R = M \cdot S - \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}_2} \frac{1}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial q_1} - \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}'_1} \frac{1}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial q_2} ,$$

а производные по новому времени τ обозначены штрихами q'_1, q'_2 , скобки в этих равенствах означают, что кинетическая энергия (T) берется в преобразованном виде, например.

$$M \frac{\partial T}{\partial \dot{q}'_1} = \frac{\partial(T)}{\partial q'_1}$$

Очевидно, что приводящий множитель M можно выбрать так, что при этом параметр R обратится в нуль, т.е. когда:

$$R = M \cdot S - p_2 \frac{1}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial q_1} - p_1 \frac{1}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial q_2} = 0 \quad (5).$$

Здесь введены следующие обозначения

$$p_1 = \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}'_1}, p_2 = \frac{\partial(T)}{\partial \dot{q}'_2}.$$

Итак, мы видим, что с помощью уравнения (5) можно уравнения (4) привести к обычному виду уравнений Лагранжа, т.е. всегда существует приводящий множитель M , позволяющий подобрать такой счет времени, который дает возможность использовать уравнение механики в форме уравнений Лагранжа.

3 Время в статистических системах с неголономными связями

Полученный результат с приводящим множителем для механических систем имеет первостепенное значение и для статистических систем, подверженных действию неголономных связей. Покажем, что для таких систем подбор способа измерения времени с использованием приводящего временного множителя M приводит к необходимости пользоваться теоремой Лиувилля в исправленном виде. Проанализируем доказательство этой теоремы с использованием уравнений Гамильтона, которые по существу являются лишь видоизменением уравнений Лагранжа.

Пусть U - потенциальная, а T - кинетическая энергия, W - полная энергия системы. Уравнения движения в каноническом виде такой системы можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} = \frac{dW}{dp_i}, \quad \frac{\partial p_i}{\partial t} = -\frac{dW}{dq_i}$$

Здесь q_i - обобщенные координаты, p_i - обобщенные импульсы. К этим уравнениям для вполне определенного движения следует еще присоединить условия

относительно начальных координат, импульсов и времени, которые в дальнейшем будут обозначаться штрихами.

Но можно поступить иначе, а именно начальные координаты, импульсы и время рассматривать как независимые переменные. И написать систему дифференциальных уравнений относительно $2n + 1$ этих независимых переменных. С этой целью следует воспользоваться интегралом действия

$$S = \int 2T dt.$$

Этот интеграл будет некоторой функцией координат q_i, q_i', W .

В аналитической механике [4] доказывается, что

$$\frac{dS}{dq_i'} = -p_i', \quad \frac{dS}{dq_i} = p_i, \quad \frac{dp_i'}{dq_j} = -\frac{dp_j}{dq_i}$$

К этим уравнениям присоединяются еще следующие соотношения

$$\frac{dS}{dW} = t - t'; \quad \frac{dp_i}{dW} = -\frac{dt'}{dq_i}; \quad \frac{dp_j'}{dW} = -\frac{dt}{dq_j'}$$

Пользуясь этими уравнениями можно установить следующую связь между начальным и конечным значением фазового элемента:

$$ds' d\sigma' dt' = (-1)^{n+1} ds d\sigma dt \quad (*)$$

Здесь введены такие обозначения:

$$ds = dq_1, dq_2, \dots, dq_n. \quad d\sigma = dp_1, dp_2, \dots, dp_n.$$

Принимая, что течение времени можно выбирать произвольно, то можно принять равенство начального и конечного значения времени $dt' = dt$. Тогда из равенства (*) следует $ds' d\sigma' = ds d\sigma$. В том случае если система подвержена неголономным связям, то уравнения Лагранжа, а, следовательно, и уравнения Гамильтона следует писать относительно переменной с новым счетом времени τ , а не с прежним t . Но поскольку для единиц измерения времени $d\tau'$ и $d\tau$ по отношению к dt' и dt существуют соотношения Чаплыгина, определяемые приводящим множителем M , то:

$$M(q_i) dt = d\tau; \quad M(q_i') dt' = d\tau'$$

В этом случае между фазовым элементом и его начальным значением для измененного мероопределения времени будет иметь место следующая зависимость:

$$ds' d\sigma' d\tau' = (-1)^{n+1} ds d\sigma d\tau.$$

Поэтому имеем:

$$ds' d\sigma' M(q_i') dt' = (-1)^{n+1} ds d\sigma M(q_i) dt$$

Так как $dt' = dt$, то это приводит к такому равенству начального и конечного значения фазового объема согласно теореме Лиувилля

$$ds' d\sigma' M(q_i') = ds d\sigma M(q_i)$$

Или

$$dq_1' dq_2' \dots dq_n' dp_1' dp_2' \dots dp_n' M(q_i') = dq_1 dq_2 \dots dq_n dp_1 dp_2 \dots dp_n M(q_i)$$

С учетом того что имеет место равенство $M(q'_i) = M(q_i)$, после несложных вычислений можно получить следующее соотношение для функции распределения числа частиц находящихся в фазовом объеме :

$$N(b) = N \frac{\left[\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \right]^{3n'}}{\Gamma\left(\frac{3n'}{2}\right)} (m_1, m_2, \dots, m_n)^{3/2} [2W - 2U]^{-\frac{3n'-2}{2}} db_1 db_2 \dots db_n \quad (6)$$

Здесь величины (m_1, m_2, \dots, m_n) являются массами частиц; $N(b)$ выражает число частиц статистической системы, заключенных в фазовом объеме $db_1 db_2 \dots db_n$, тогда как моменты могут иметь любые значения, совместимые с уравнением энергии.

Символом Γ обозначена гамма -функция, символ n' обозначает число материальных частиц в системе, поэтому имеем: $n=3n'$. Для числа систем с конфигурацией (b) , для которых один из моментов, например, p_n заключен в интервале a и $a_n + da_n$, получаем :

$$N(b, a_n) = N \frac{\left[\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \right]^{n-1}}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} (m_1, m_2, \dots, m_n)^{3/2} \left[W - U - \frac{1}{2} m_n a_n^2 \right]^{\frac{n-2}{2}} m_n^{1/2} da_n db_1 db_2 \dots db_n \quad (7)$$

Зная два числа систем по соотношениям (6) и (7) легко найти меру числа таких систем, для которых p_n лежит между b и $a_n + da_n$.

Эта мера будет совпадать с функцией распределения. Итак, будем иметь

$$\frac{N(b, a_n)}{N(b)} = \frac{\left[\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \right] \left[W - U - \frac{1}{2} m_n a_n^2 \right]^{\frac{n-3}{2}} m_n^{1/2} da_n}{\sqrt{2} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \Gamma\left[\frac{n-1}{2}\right] [W - U] \cdot \frac{n-2}{2}}$$

Для бесконечно большого числа n , полученная формула вырождается в Максвелловское распределение.

$$f(N) = \frac{4}{\sqrt{\pi\beta}} e^{-\beta E}.$$

Из приведенного краткого изложения вывода распределений Максвелла явствует, что только в одном случае функция распределения останется неизменной для неголономных систем. Именно, тогда, когда при интегрировании отношение $M(q_i)/M(q'_i)$ получает одинаковое значение в обеих формулах (4) и (5).

4 Электродинамическая аналогия уравнений движения материальной точки с неголономными связями общего типа

Выше велись рассуждения о движении материальной точки с неголономными связями при условии, когда в линейных уравнениях связей отсутствовал свободный член. Посмотрим, как изменятся уравнения Лагранжа для неголономных связей следующего типа:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a_0 + a_1\dot{q}_1 + a_2\dot{q}_2 + a_3\dot{q}_3 \\ \dot{y} &= b_0 + b_1\dot{q}_1 + b_2\dot{q}_2 + b_3\dot{q}_3 \\ \dot{z} &= c_0 + c_1\dot{q}_1 + c_2\dot{q}_2 + c_3\dot{q}_3\end{aligned}\quad (8)$$

Обобщим написанные уравнения и в другом смысле. Будем считать, что производные в этих уравнениях относятся не к течению времени по Ньютону, а к течению времени, измеряемому с помощью функции $t' = t'(t)$.

Тогда уравнения (8) по отношению к течению времени по Ньютону можно переписать так:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= e_0\dot{t}' + e_1\dot{q}_1 + e_2\dot{q}_2 + e_3\dot{q}_3 \\ \dot{y} &= f_0\dot{t}' + f_1\dot{q}_1 + f_2\dot{q}_2 + f_3\dot{q}_3 \\ \dot{z} &= c_0\dot{t}' + c_1\dot{q}_1 + c_2\dot{q}_2 + c_3\dot{q}_3\end{aligned}$$

Уравнения Лагранжа для рассматриваемой задачи можно получить, исходя из принципа Даламбера.

Опуская несложные математические выкладки, запишем только окончательный результат:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} &= Q_i + \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} E_i + \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} F_i + \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} C_i \right] \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{t}'} - \frac{\partial T}{\partial t'} &= Q_0 + \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} E_0 + \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} F_0 + \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} C_0 \right]\end{aligned}\quad (9)$$

Здесь:

$$\begin{aligned}E_i &= \left(\frac{\partial e_i}{\partial t'} - \frac{\partial e_0}{\partial q_i} \right) t' + \left(\frac{\partial e_i}{\partial q_1} - \frac{\partial e_1}{\partial q_i} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial e_i}{\partial q_2} - \frac{\partial e_2}{\partial q_i} \right) \dot{q}_2 + \left(\frac{\partial e_i}{\partial q_3} - \frac{\partial e_3}{\partial q_i} \right) \dot{q}_3 \\ F_i &= \left(\frac{\partial f_i}{\partial t'} - \frac{\partial f_0}{\partial q_i} \right) t' + \left(\frac{\partial f_i}{\partial q_1} - \frac{\partial f_1}{\partial q_i} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial f_i}{\partial q_2} - \frac{\partial f_2}{\partial q_i} \right) \dot{q}_2 + \left(\frac{\partial f_i}{\partial q_3} - \frac{\partial f_3}{\partial q_i} \right) \dot{q}_3 \\ C_i &= \left(\frac{\partial c_i}{\partial t'} - \frac{\partial c_0}{\partial q_i} \right) t' + \left(\frac{\partial c_i}{\partial q_1} - \frac{\partial c_1}{\partial q_i} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial c_i}{\partial q_2} - \frac{\partial c_2}{\partial q_i} \right) \dot{q}_2 + \left(\frac{\partial c_i}{\partial q_3} - \frac{\partial c_3}{\partial q_i} \right) \dot{q}_3\end{aligned}\quad (10)$$

Уравнения (9) вместе с тождествами (10) являются решением поставленной задачи. Полученные уравнения движения материальной точки с неголономными связями можно обобщить на любую систему материальных точек.

Уравнения Лагранжа будут справедливы и для системы точек с неголономными связями, если постоянные e_i, f_i, c_i и e_0, f_0, c_0 выбраны так, что обращают в нуль выражения в квадратных скобках в уравнениях (9). Это будет тогда, когда коэффициенты при производных в тождествах (10) обращаются в нуль. Но в этом случае связи становятся интегрируемыми.

Рассмотрим один частный вид неголономных связей; именно положим

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial e_1}{\partial q_2} - \frac{\partial e_2}{\partial q_1} \right) \dot{q}_2 + \left(\frac{\partial e_1}{\partial q_3} - \frac{\partial e_3}{\partial q_1} \right) \dot{q}_3 &= 0 & E_1 &= \left(\frac{\partial e_1}{\partial t'} - \frac{\partial e_0}{\partial q_1} \right) t' \\ \left(\frac{\partial e_2}{\partial q_1} - \frac{\partial e_1}{\partial q_2} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial e_2}{\partial q_3} - \frac{\partial e_3}{\partial q_2} \right) \dot{q}_3 &= 0 & E_2 &= \left(\frac{\partial e_2}{\partial t'} - \frac{\partial e_0}{\partial q_2} \right) t' \\ \left(\frac{\partial e_3}{\partial q_1} - \frac{\partial e_1}{\partial q_3} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial e_3}{\partial q_2} - \frac{\partial e_2}{\partial q_3} \right) \dot{q}_2 &= 0 & E_3 &= \left(\frac{\partial e_3}{\partial t'} - \frac{\partial e_0}{\partial q_3} \right) t' \end{aligned} \quad (11)$$

Кроме этих соотношений должны быть справедливы еще два соотношения с производными по t' именно:

$$\left(\frac{\partial e_0}{\partial q_1} - \frac{\partial e_1}{\partial t'} \right) \dot{q}_1 + \left(\frac{\partial e_0}{\partial q_2} - \frac{\partial e_2}{\partial t'} \right) \dot{q}_2 + \left(\frac{\partial e_0}{\partial q_3} - \frac{\partial e_3}{\partial t'} \right) \dot{q}_3 = 0; \quad E_0 = 0 \quad (11a)$$

Соотношения алогичные составленным для функций можно записать и для функций f_i, f_0, c_i, c_0 . Если значения величины E_i рассматривать, как компоненты вектора электрической напряженности \vec{E} , значения величин e_i как компоненты векторного потенциала $\vec{e} \equiv \vec{A}$ электромагнитного поля, а скалярную функцию e_0 как скалярный потенциал ϕ электромагнитного поля, то одну группу из равенств (11) можно записать в векторном виде так:

$$\vec{E} = \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t'} - \nabla \phi \right) t' \quad (11b)$$

Из второй группы равенств (11) следует

$$\frac{\left(\frac{\partial e_1}{\partial q_2} - \frac{\partial e_2}{\partial q_1} \right)}{\dot{q}_3} = \frac{\left(\frac{\partial e_3}{\partial q_1} - \frac{\partial e_1}{\partial q_3} \right)}{\dot{q}_2} = \frac{\left(\frac{\partial e_2}{\partial q_3} - \frac{\partial e_3}{\partial q_2} \right)}{\dot{q}_1} = \frac{1}{\lambda_e}$$

Здесь через λ_e обозначена некоторая постоянная. Последнее равенство можно записать в виде одного векторного равенства, если величины $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3$ рассматривать как компоненты вектора $\vec{q} \equiv \vec{H}$, который в общепринятых обозначениях соответствует вектору напряженности магнитного поля \vec{H} . Тогда последнее равенство, представляя вектор \vec{e} как векторный потенциал \vec{A} можно записать так

$$\vec{H} = \lambda_e \text{rot} \vec{A} \quad (11c)$$

Полученные уравнения (11b) и (11c) аналогичны уравнениям Максвелла, выраженным через векторный \vec{A} и скалярный ϕ потенциалы. Аналогия будет совершенно полной, если производную i' приравнять постоянной величине $1/c$.

5 О множителях, сводящих электромагнитную аналогию к тождеству

Допустим, что существует такой множитель μ_e , который превращает уравнения (11b) и (11c) в уравнения Максвелла, т.е. положим, что имеют место такие равенства:

$$\mu_e \vec{q} = -\vec{B}_e; \quad \mu_e \lambda_e \vec{e} = -\vec{A}_e \quad (12)$$

$$c \mu_e \lambda_e \vec{E} = \vec{D}_e \quad c \mu_e \lambda_e \phi = c \phi_e; \quad \mu_e \lambda_e e_o = \phi_e c$$

При этих условиях уравнения (11b) и (11c) переходят в следующие:

$$\vec{D}_e = -\left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}_e}{\partial t} + \text{grad} \phi_e \right) \quad \text{или} \quad \vec{D}_e = -\left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}_e}{\partial t} + \vec{\nabla} \phi_e \right) \quad (12a)$$

$$\vec{B}_e = \text{rot} \vec{A}_e$$

Здесь принято во внимание также условие $ct' = t$. Существование условия (11a) позволяет утверждать, что вектора \vec{D}_e и \vec{B}_e взаимно ортогональны.;

Подобные уравнения можно написать и для функций f_i и c_i . Таким образом, неголономные связи в форме дифференциальных уравнений (9) могут играть роль анизотропного поля Максвелла.

Однако, ограничимся частным случаем изотропного поля, когда имеют место равенства:

$$\begin{aligned} \mu_e &= \mu_f = \mu_c = \mu \\ \mu \lambda_e \vec{e} &= \mu \lambda_f \vec{f} = \mu \lambda_c \vec{c} \\ \mu \lambda_e \phi_o &= \mu \lambda_f \phi_o = \mu \lambda_c c_o \end{aligned}$$

Эти равенства вместе с условиями (12) позволяют уравнения для неголономных связей (8) представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \frac{1}{\lambda_e \mu^2} (\vec{A}_e \cdot \text{rot} \vec{A}_e) + \frac{\phi_e}{\mu \lambda_e} i' \\ \dot{y} &= \frac{1}{\lambda_f \mu^2} (\vec{A}_e \cdot \text{rot} \vec{A}_e) + \frac{\phi_e}{\mu \lambda_f} i' \\ \dot{z} &= \frac{1}{\lambda_c \mu^2} (\vec{A}_e \cdot \text{rot} \vec{A}_e) + \frac{\phi_e}{\mu \lambda_c} i' \end{aligned} \quad (13)$$

С помощью найденных уравнений для неголономных связей формула для преобразований кинетической энергии будет выглядеть так:

$$2T = \frac{m}{\mu^2} \left(\frac{1}{\lambda_a^2} + \frac{1}{\lambda_b^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} \right) \left[\frac{1}{\mu} (\vec{A}_e \cdot \text{rot} \vec{A}_e) + \frac{\phi_e}{2} \right]^2$$

Обозначая :
$$\tilde{S}^2 = \left(\frac{1}{\lambda_e^2} + \frac{1}{\lambda_f^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} \right)$$

Тогда для кинетической энергии получаем:

$$2T = \frac{m\tilde{S}^2}{\mu^2} \left[\frac{1}{\mu} (\vec{A}_e \cdot \text{rot} \vec{A}_e) + \frac{\phi_e}{2} \right]^2$$

Из этого соотношения можно вывести ряд любопытных следствий. В частности, при выбранном варианте неголономной связи, характерном для электромагнитных систем типа электрических генераторов с ветровыми ресурсами возобновляемой энергии [10] для описания процессов электрогенерации можно использовать аналог уравнения Лагранжа с параметрами $\Lambda = m\tilde{S}^2/4\mu^2$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial(\Lambda\phi^2)}{\partial q_1'} - \frac{\partial(\Lambda\phi^2)}{\partial q_1} = 0$$

Это означает, что расчет параметров генерации электрической энергии электромагнитной системы с неголономными связями удовлетворяет решению модифицированного уравнения Лагранжа, с кинетической энергией, определяемой T потенциалом электродвижущей силы. В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что видоизмененные аналоги уравнений неголономной механики в случае неголономных электродинамических систем могут быть использованы для формирования общих подходов к теоретическому рассмотрению инновационных технологий возобновляемой энергетики.

6 Заключение

Несмотря на ограниченные возможности метода сравнительных аналогий физически различных явлений, которому не стоит придавать большого значения. Тем не менее, в некоторых частных случаях, о чем свидетельствуют приведенные расчеты, следует обращаться к уточнениям выбора счета времени для преобразования неголономных систем различной физической природы к аналогам динамических уравнений Лагранжа в видоизмененной форме. Представленные результаты следует рассматривать как часть исследований направленных на объединение аналитических методов механики и электродинамики применительно к расширенному описанию нелинейных энергетических процессов.

Литература

1. Manuel de León A historical review on nonholonomic mechanics// 2012 Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A, Matemáticas (RACSAM) V.106,P.191–224. (DOI: 10.1007 / s13398-011-0046-2)
2. Hertz, Н., Gesammelte Werke: Vol. 3. Die Prinzipien der Mechanik, Leipzig: Barth, 1894.
3. Чаплыгин С.А. Исследования по динамике неголономных систем. М.-Л.: ГИТТЛ,1949-112 с.
4. Alexey V. Borisov, Ivan S. Mamaev, Ivan A. Bizyaev Historical and critical review of the development of nonholonomic mechanics: the classical period| //Regular and Chaotic Dynamics. 2016, volume 21, P.455–476.(DOI:10.1134/S1560354716040055).
5. Предводителев А.С. Математический счет и наше познание // История и методология естественных наук , 1965 , вып.3,Физика.С.13-152.
6. Подосенов С.А. Пространство, время и классические поля связанных структур. _ М.: Спутник 2000 -.445 с.
7. Подосенов С.А., Потапов А.А., Фоукзон Дж., Менькова Е.Р.Неголономные, фрактальные и связанные структуры в релятивистских сплошных средах, электродинамике, квантовой механике и космологии: Кн. 2. М.: Издательство Ленанд, 2016 .- ,440 с.
8. Макки, С. Практические инструменты для новых идей / С. Макки // Intelligent Enterprise/. 2004. №5. - С.24-26.
9. Мёллер К. Теория относительности, М.: Атомиздат, 1975.
10. Неймарк Ю. И., Фуфаев Н. А. Динамика неголономных систем. М.: Наука, 1967.

Reference

1. Manuel de Leon A historical review on nonholonomic mechanics// 2012 Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas. Físicas y Naturales. Serie A. Matematicas (RACSAM) V.106.P.191–224. (DOI: 10.1007 / s13398-011-0046-2)
2. Hertz. Н.. Gesammelte Werke: Vol. 3. Die Prinzipien der Mechanik. Leipzig: Barth. 1894.
3. Chaplygin S.A. Issledovaniya po dinamike negolonomnykh sistem. M.-L.: GITTL.1949-112 s.
4. Alexey V. Borisov, Ivan S. Mamaev, Ivan A. Bizyaev Historical and critical review of the development of nonholonomic mechanics: the classical period| //Regular and Chaotic Dynamics. 2016, volume 21, P.455–476.(DOI:10.1134/S1560354716040055).
5. Predvoditelev A.S. Matematicheskiy schet i nashe poznaniiye // Istoriya i metodologiya estestvennykh nauk . 1965. vyp.3.Fizika. S.13-152.
6. Podosenov S.A. Prostranstvo. vremya i klassicheskiye polya svyazannykh struktur. _ М.: Sputnik 2000 -.445 s.
7. Podosenov S.A.. Potapov A.A.. Foukzon Dzh.. Menkova E.R.Negolonomnyye. fraktalnyye i svyazannyye struktury v relyativistskikh sploshnykh sredakh. elektrodinamike. kvantovoy mekhanike i kosmologii: Kn. 2. М.: Izdatelstvo Lenand. 2016 .- .440 s.
8. Makki. S. Prakticheskiye instrumenty dlya novykh idey / S. Makki // Intelligent Enterprise/. 2004. №5. - S.24-26.
9. Meller K. Teoriya otnositelnosti. М.: Atomizdat. 1975.
10. Neymark Yu. I.. Fufayev N. A. Dinamika negolonomnykh sistem. М.: Nauka. 1967.

ELECTROMAGNETISM AND MECHANICS: NONHOLONOMIC ANALOGY

A.A. Solovyev

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: a.soloviev@geogr.msu.ru

Abstract. Analogies are revealed that combine nonholonomic structures in mechanics and electrodynamics. The possibility of transition to the study of power energy fields with modified measure time is considered. The purpose of the article is to analyze the features of mechanics and electrodynamics of medium structures with the nonholonomic connection. A method for determining the time associated with inertial and noninertial reference systems, which are practically not used in existing systems for converting wind and solar energy, is proposed and implemented. The results presented in this work are part of research aimed at combining analytical methods of mechanics and electrodynamics as applied to an extended description of renewable energy processes.

Keywords: time estimation, holonomic mechanics, nonholonomic constraints, Lagrange equations